

Temperatura y velocidad del aire en secado de guayaba (*Psidium guajava* L.) para harina, vitamina C y vida útil

Temperature and speed of air in drying guayaba (*Psidium guajava* L.) for flour, vitamin C and useful life utility

¹Irma Rumela Aguirre Zaquinaula ^a, ²Santos Pedraza Guevara ^b, ²Helí Humberto Aguirre Zaquinaula ^c

RESUMEN

Para determinar la influencia de velocidad y la temperatura de aire en obtención de harina de guayaba (*Psidium guajava* L.) con máximo contenido de vitamina C. Se recolectaron de Rodríguez de Mendoza frutos de dos variedades (blanca y rosada) 14.57 (índice de madurez). Se secó mesocarpio en secador de bandejas a tres temperaturas ($t_1=40$, $t_2=50$ y $t_3=60$ °C) y velocidades de aire ($v_1=3.0$; $v_2=3.5$ y $v_3=4.0$ m/s), transcurrido tres horas, se molió. La vitamina C por iodometría. Se empleó un diseño factorial en DCA (diseño completo al azar) tipo 3Ax3B con 3 réplicas, para determinar contenido de vitamina se efectuó análisis de varianza y prueba Tukey (95 % de confianza). El mayor contenido de vitamina C (168.33 mg/100 g) se obtuvo empleando temperatura de 50 °C y 3.5 m/s de velocidad, mostrando color característico. De esta harina se realizó el análisis físico-químico después de 30 días, con resultados de 11.11 % de humedad, acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico 0.201 %; pH 4.09; sólidos solubles de 4° Brix y 3.19 % de cenizas. No hubo crecimiento microbiológico a los 3, 4, 5 y 7 días de incubación; a los 9 días mostró un crecimiento de 2.5×10 UFC/g de mohos y 2.1×10^2 UFC/g de levaduras.

Palabras clave: Harina de guayaba, *Psidium guajava* L., secado, vitamina C.

ABSTRACT

To determine the influence of speed and temperature of air in obtaining guayaba flour (*Psidium guajava* L.) with maximum vitamin C content. Fruits of two varieties (white and pink) 14.57 (maturity index) Were collected from Rodríguez of Mendoza . The mesocarpio was dried in trays with three temperatures ($t_1=40$, $t_2=50$ and $t_3=60$ °C) and speeds of air ($v_1=3.0$; $v_2=3.5$ and $v_3=4.0$ m/s), after three hours, was grounded. Vitamin C was measured with iodometria. A factorial design in DCA was used (complete design at random) 3Ax3B type was used with 3 rep, analysis of variance and Tukey test (95% of confidence). The greater vitamin content C (168.33 mg/100 g) was obtained using 50 °C and 3.5 m/s of speed. Showing a characteristic color. Was a physical-chemical analysis was wade from flour after 30 days, with results of 11.11% of humidity, title able acidity in percentage of citric acid 0.201%; pH 4.09; 4 soluble solids of °Brix and 3.19% of ashes. There was no microbiological growth to the 3, 4, 5 and 7 days of incubation; the 9 days one was to a growth of 2.5×10 ufc/g of moulds and 2.1×10^2 ufc/g of yeast.

Keywords. Guava flour, *Psidium guajava* L., drying, vitamin C.

¹Universidad Nacional de Jaén. Cajamarca, Perú.

² Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

^a Ingeniero Químico, ^bIngeniero Agroindustrial, ^c Ingeniero Industrial

INTRODUCCIÓN

En el Perú existen frutos tropicales de variadas características para ser aprovechados industrialmente, naranjas, melones, limones, guayabas, etc., sobre los cuales es necesario realizar estudios para dar un valor agregado.

Desde el descubrimiento de las vitaminas básicas y sus múltiples formas, se ha generado y publicado información sobre su retención en los alimentos tras la manipulación, post-recolección, procesado comercial, distribución, almacenamiento y preparación (Fennema, 2000).

El ácido ascórbico (AA) es un nutrimento esencial para humanos, una baja ingesta causa enfermedad, por deficiencia, conocida como escorbuto, además, que es un producto dietético para la obesidad y medicinal (úlceras gástricas). Este ácido está presente en forma natural en muchas frutas y verduras, además, estos alimentos son ricos en vitaminas antioxidantes, compuestos fenólicos y carotenos; su determinación por técnicas sensibles y rápidas, es importante para evaluar su estabilidad en diferentes alimentos.

Actualmente la búsqueda de fuentes naturales de AA, reviste gran interés por las características antioxidantes de la vitamina. La guayaba destaca por su contenido en vitamina C, concentra unas siete veces más que la naranja. Cumplen además una función antioxidante, destaca su aporte de potasio. Los frutos maduros pierden vitamina. Su aporte de fibra es elevado por lo que posee un suave efecto laxante y además “alimento” para las bacterias buenas de la flora intestinal, de tal manera que fortalece el sistema inmunológico, previene el riesgo de ciertas alteraciones y enfermedades (Brack, 2003). Es una especie nativa que crece en las regiones tropicales de América, Asia y Oceanía y su origen probablemente está entre México y Perú (CORPOICA, 2009).

Pertenece a la familia de las Mirtáceas; registra contenidos promedio 350 mg de vitamina C por 100 g de fruta comestible. Presenta valores de pH entre 3.1 a 4.1; este parámetro favorece la estabilidad del AA en la fruta, frente a procesos de oxidación, tratamientos térmicos, exposición a la radiación, etc. (Moreiras *et al.*, 2007).

En el Perú se cultiva mayormente en regiones tropicales con mayor relevancia el norte, también se produce en la región Amazonas, por lo que hace necesario buscar alternativas de transformación tal que obtengan productos sostenibles. Es una fruta estacionaria y sólo se produce a mediados de febrero hasta julio, observándose una mayor producción de marzo a mayo (MINAG, 2010).

En nuestro país no se industrializa posiblemente por problemas de mosca de la fruta (*Anastrepha sp.*), barrenador del fruto (*Olethreutidae*); se consume poco en fresco y mayormente es consumido en conservas elaboradas de manera artesanal.

La guayaba tiene diversos usos industriales entre los que se pueden citar: confitados, jugos, néctares, purés, mermeladas, jaleas, diversos dulces, postres, etc. Es muy apreciado como saborizante de yogurt, gelatinas y helados. El fruto deshidratado se prepara en forma de polvo (Astiasarán, 2003 y Potter, 1999).

El AA es potente agente reductor, capaz de reaccionar con el oxígeno, y utilizable, por tanto, como antioxidante. También se utiliza como mejorante panario (Ordoñez *et al.*, 1998). En medios ácidos, se desfavorece la oxidación del AA, compuesto que mantiene la actividad vitamínica, siendo el intervalo de mayor estabilidad entre 2.5 y 5.5 de pH (Ordoñez *et al.*, 1998). La estabilidad de la vitamina C aumenta a medida que disminuye la temperatura, siendo máxima a temperaturas inferiores a -18°C. Las pérdidas de vitamina inducidas térmicamente, dependen de la naturaleza química del alimento

(pH, humedad relativa, metales de transición, otros compuestos reactivos, concentraciones de oxígeno disuelto, etc.) (Fennema, 2000).

La deshidratación, secado o desecación artificial se define como la extracción deliberada, bajo condiciones controladas, del agua que contienen los alimentos (Potter y Hotchkiss, 1999). Se deshidrata con el fin de:

- a) Aumentar el periodo de conservación de los alimentos: se trata de un método de conservación en el que se inhiben el crecimiento de los microorganismos, la actividad de algunas enzimas y algunas reacciones químicas, por reducción del contenido de agua por evaporación.
- b) Reducir peso y volumen: facilita y abarata costes de transporte y almacenamiento.
- c) Facilitar empleo y diversificación de oferta de productos: permite conseguir productos de más cómoda utilización.

En la deshidratación tiene lugar simultáneamente transferencia de calor (para suministrar el calor latente de vaporización del agua) y transferencia de masa (movimiento del agua o del vapor del agua a través del alimento y arrastre de vapor de agua del entorno del alimento). La transferencia de calor se hace por convección, especialmente en capas superiores donde, por lo general, el movimiento del fluido es turbulento. Se considera que la principal resistencia a la transferencia de calor proviene de una delgada capa de fluido inmediata a la superficie del producto. Esta capa límite es casi inmóvil y en ella la transferencia de calor es por conducción. En el alimento parcialmente deshidratado la conductividad térmica es de 0,022 w/mk (Treybal, 1980).

Para reducir el contenido de humedad de diversas materias, se debe estimar el tamaño de secador, diferentes condiciones de humedad y

temperatura para el aire empleado, y tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. El contenido de humedad de equilibrio del material a secarse bajo condiciones específicas de humedad y temperatura del aire, debe determinarse experimentalmente.

Las mediciones de velocidad de secado por lotes son relativamente fáciles de obtener a partir de datos experimentales y proporcionan mucha información no sólo para la operación por lotes sino también para la continua (Ibarz *et al.*, 2000).

Términos utilizados en la operación de secado.

i. *Área superficial*: el producto a desecar se corta en rodajas pequeñas para acelerar transferencia de calor y masa. Primero porque una mayor área superficial produce más contacto con las fuentes caloríficas y una superficie mayor por la que la humedad puede salir. Segundo, porque las piezas más pequeñas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer para alcanzar el centro del alimento y humedad para llegar a la superficie y escapar (Treybal, 1980).

ii. *Temperatura*: cuando mayor sea la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el alimento, mayor será la velocidad de transferencia de calor; esta diferencia es la causa de la eliminación de la humedad. El medio calorífico es el aire, la temperatura tiene un segundo efecto importante. Cuando más caliente esté el aire, más humedad retendrá antes de saturarse. Obviamente, un mayor volumen de aire también absorberá más humedad que uno menor (Treybal, 1980).

iii. *Velocidad del aire*: el aire caliente no sólo retiene más humedad que el frío, sino que al estar en movimiento, esto es, con alta velocidad, elimina la humedad de la superficie del alimento evitando que cree una atmósfera saturada. La velocidad con que se seca el producto depende, normalmente, de la rapidez con que se desarrolla la transmisión de calor y la transferencia de materia (Treybal, 1980).

iv. *Transferencia de cantidad de movimiento*: el transporte de cantidad de movimiento está relacionado con las características de los ventiladores que han de impulsar el aire de secado. Se produce como consecuencia de los gradientes de velocidad que se establecen al circular el aire a través del sólido (Barbosa, 2000; Ibarz, *et al.*, 2000).

v. *Humedad*: cuando el aire es el medio desecante, cuanto más seco esté, más rápido será el proceso. El aire húmedo está más cerca de la saturación y puede absorber y retener menos humedad adicional que el aire seco. La sequedad del aire también determina el nivel de humedad hasta el que puede desecarse el producto alimenticio. Los productos desecados son higroscópicos. Cada alimento tiene su humedad relativa de equilibrio, que es la humedad a una temperatura dada a la que ni pierde ni absorbe humedad de la atmósfera.

vi. *Evaporación y temperatura*: cuando se evapora el agua de una superficie, ésta se enfría. El enfriamiento es el principal resultado de la absorción del calor latente del cambio de estado líquido a gas que realiza el agua. Este calor se toma del aire deshidratante o de la superficie de calentamiento y del alimento caliente y, por tanto, el alimento se enfría (Barbosa, 2000; Ibarz *et al.*, 2000).

vii. *Cambios durante la deshidratación*: se puede explicar en gran parte en términos de transferencia de calor y de masa. Durante la deshidratación el producto pierde humedad de su superficie y desarrolla gradualmente una costra seca gruesa, mientras la humedad restante permanece retenida sobre todo en el centro. Como consecuencia, la capa seca exterior forma una barrera aislante frente a la rápida transferencia de calor hacia el interior del producto sobre todo porque el agua que se evapora deja tras de sí huecos de aire. Además de la disminución de evaporación causada por

menor transferencia de calor, el agua que queda en el centro debe recorrer una mayor distancia para salir del alimento que al comienzo de la desecación. De otra parte, al desecarse el alimento se aproxima a su humedad relativa en equilibrio normal. Mientras tanto, empieza a absorber moléculas de vapor de agua desde la atmósfera deshidratante tan rápidamente como las pierde. Cuando las velocidades de estos procesos son iguales cesa la desecación. Todo esto varía de acuerdo al espesor del alimento.

Los factores físicos que afectan a la transferencia de calor y de masa como temperatura, humedad, velocidad de aire, área superficial, etc. son relativamente fáciles de optimizar y controlar (Treybal, 1980).

viii. *Agua ligada*: el agua sale libremente de una superficie cuando su presión de vapor es mayor que la presión de vapor de la atmósfera que está sobre ella. Pero cuando un producto se deseca y su agua libre se elimina progresivamente, la presión de vapor de la unidad de área del producto desciende. Esto se debe a que es menor el agua que queda por unidad de volumen y por unidad de área, y también porque parte del agua es retenida o ligada por fuerzas químicas y físicas a los constituyentes sólidos del alimento. El agua libre se elimina más fácilmente y es la primera en evaporarse. El resto es retenido débilmente por fuerzas de adsorción a los sólidos del alimento (Treybal, 1980; Ibarz *et al.*, 2000).

ix. *Estructura celular*: los alimentos sólidos formados por tejidos naturales tienen estructura celular y poseen humedad en el interior de las células. Cuando el tejido está vivo, las paredes y membranas celulares retienen la humedad dentro de las células. Las células están turgentes no presentan fugas ni exudados (Treybal, 1980).

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Se recolectó frutos de guayaba (*Psidium*

guajava L.) de dos variedades (blanca y rosada) 14.57 (índice de madurez fisiológica) proveniente de la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, Perú. Los análisis físicoquímicos y microbiológicos se realizaron en los laboratorios de Ingeniería, Tecnología, Biología y Microbiología de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, noviembre 2011. A continuación se describe las etapas de proceso.

Recepción: de forma aleatoria, se seleccionaron plantas de guayaba, de ellas se recolectó 30 frutos en estado pintón, sanos y limpios de cualquier materia extraña.

Selección: se pesaron frutos de guayabas en función del grado de madurez fisiológica con color amarillo verdoso en más del 50 % de la fruta, tamaño mediano (25 mm de diámetro y 30-42 mm de longitud, 35-60 g en peso), sanas y aptas para secar, con finalidad de obtener lote uniforme y cumpla con índice de madurez (°Brix/% acidez) de 14.57.

Lavado: se eliminaron contaminantes adheridos al fruto, como: tierra, arena, polvo y demás componentes indeseados en la superficie, utilizando corriente de agua clorada.

Pelado: manualmente utilizando cuchillo de acero inoxidable, se eliminó la piel o cáscara del mesocarpio de guayaba. Se separaron semillas con el objeto de obtener mesocarpio listo para realizar su análisis y secado.

Cortado: se cortó el mesocarpio de forma manual utilizando cuchillo de acero inoxidable obteniendo rodajas de 0.5 cm de espesor. Se pesaron 200 g de rodajas de mesocarpio, en tres bandejas del secador, de manera ordenada. Se pusieron las bandejas en su soporte de la cámara de secado del secador de bandejas.

Secado: por un tiempo suficiente de manera que

la curva de la gráfica de peso frente al tiempo, se realizó como monitoreo de los datos experimentales en cada corrida, tenga un comportamiento asintótico con respecto al eje X (tiempo); en el secador de bandejas hasta obtener mesocarpio deshidratado.

A continuación, se muestra el procedimiento de secado de mesocarpio de guayaba, para obtener harina de guayaba.

Se usó secador de bandejas, que emplea un soplador de aire que permite fijar cada una de velocidades de trabajo ($v_1 = 3.0$; $v_2 = 3.5$ y $v_3 = 4.0$ m/s) se midieron con un anemómetro digital en la boca de salida del aire, después de haber pasado por la cámara de secado. El soplador fuerza el aire a través del ducto mencionado en la que calienta a cada una de las temperaturas de trabajo ($t_1 = 40$ °C, $t_2 = 50$ °C y $t_3 = 60$ °C), el procedimiento fue el siguiente:

1. Se encendió el soplador del secador de bandejas y se giró la perilla de control de velocidad hasta la mitad. Se encendió las resistencias eléctricas.
2. Se preseleccionó la temperatura de trabajo (40 °C, 50 °C o 60 °C) en el controlador electrónico de temperatura del secador.
3. Se midió la temperatura a la entrada y salida de la cámara de secado (con termómetro digital) a temperatura seleccionada (40 °C, 50 °C o 60 °C), en la cabina de secado en condiciones estacionarias.
4. Se pesó el sistema soporte y bandejas. Se registró el dato **PB** (peso de bandeja).
5. Se colocó 66.67 g de rodajas de guayaba (0.5 cm de espesor) en cada una de las bandejas haciendo un total de 200 g en las 3 bandejas, y se ingresó en el secador. El peso de las 3 bandejas, el soporte y las guayabas colocadas en ellas se midió directamente con la balanza y se anotó en la columna **P1** del cuadro de resultados.

6. Durante el tiempo de secado se midió temperatura y velocidad del aire cada 5 minutos, para verificar que el secado se realice a condiciones estacionarias.

7. Se pesó el sistema de 3 bandejas, soporte y mesocarpio de guayaba; cada 5 minutos (P_1 al tiempo t).

8. Se apagó el secador cuando la diferencia entre una pesada y otra fue muy pequeña. Finalmente se trasladó las bandejas con su contenido a la estufa para secar completamente las rodajas, es decir hasta peso constante (P_C) a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, para determinar el peso seco (S).

9. Se calculó peso de la guayaba seca al tiempo t : ($P_2 = P_1 - P_B$).

10. Se calculó humedad residual: $Y_r = (P_2 - S)/S$.

11. Se calculó velocidad de secado: $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1})/(t_i - t_{i+1} + 1)$.

12. Se calculó humedad promedio: $Y_m = (Y_i + Y_{i+1})/2$.

13. Se graficó peso de las rodajas de guayaba (P_2) Vs tiempo.

14. Se graficó humedad residual (Y_r) Vs tiempo.

15. Se determinó gráficamente el tiempo crítico de secado.

16. Se graficó dY/dt Vs humedad promedio (Y_m).

17. Se determinó gráficamente Y_c y Y_{eq} .

Molienda: en un molino de granos manual.

Tamizado: se empleó zaranda de malla 100, con lo que se logró obtener harina fina y suave.

Envasado y etiquetado: fueron envasadas en bolsas de polietileno de cierre hermético.

Almacenado: las bolsas conteniendo harina se almacenaron a sombra, a temperatura ambiente, evitando que estuvieran expuestas a olores fuertes. Figura 1 muestra las etapas del flujograma.

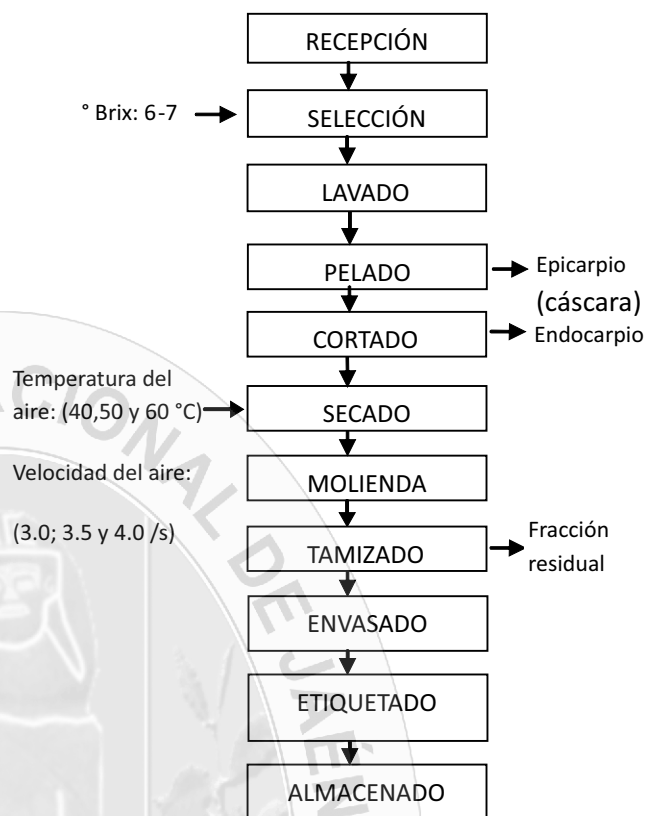


Figura 1: Flujo experimental para obtención de harina de guayaba.

Evaluación físicoquímica y microbiológica de harina

Se realizó el análisis de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) para harina común, norma del CODEX para la harina de yuca (*Manihot sculenta*) comestible, harina de lúcuma (*Pouteria lúcuma* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*).

El análisis físico-químico en el fruto fresco y en la harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C, siguiendo métodos oficiales para determinar: humedad, pH, acidez titulable, cenizas y vitamina C. Asimismo, a los 30 días de almacenada se realizó la evaluación microbiológica para determinar mohos y levaduras en la harina de guayaba con máximo contenido de vitamina C.

Determinación de vitamina C

Se empleó la iodometría según NTP-INDECOPI (AOAC 967.21).

El I_2 (iodo) en solución acuosa es un oxidante suave, oxida al ácido ascórbico a ácido deshidroascórbico, usando como indicador una solución de almidón. Durante la titulación, mientras la muestra contenga ácido ascórbico se mantendrá incolora; cuando se haya oxidado todo el ácido ascórbico, recién la muestra tomará color azul-negro debido a la reacción del almidón con el I_2 .

Determinación de la humedad

El método más generalizado para esta determinación se basa en la pérdida de peso que sufre una muestra por calentamiento, hasta obtención de peso constante, en una estufa de 105 a 130 °C. NTP-205.037: 1975. Método gravimétrico (AOAC, 1970).

Determinación de pH

(NTP-205.039: 1975). Método AOAC, 1984. (potenciómetro).

Acidez titulable

(Método AOAC, 1970).

Determinación de cenizas

(NTP-205.038:1975) (AOAC, 1975).

Presencia de hongos

Técnica por difusión (Parkinson 1986, citado por Muntañola *et al.*, 1999; Ahmed y Carlstrom 2006). Para determinar la presencia de levaduras se empleó el método de conteo en placa. (Norma Oficial Mexicana. NOM-111-SSA1-1994; y Muntañola *et al.*, 1999; Ahmed y Carlstrom, 2006).

Diseño experimental

Se empleó un experimento factorial del tipo 3Ax3B en un Diseño Completamente al Azar (DCA), siendo el factor A temperatura de secado de la guayaba ($t_1=40$, $t_2=50$ y $t_3=60$ °C), y el factor B velocidad de secado de la guayaba ($v_1=3.0$; $v_2=3.5$ y $v_3=4.0$ m/s), para las tres

repeticiones. Se utilizó la prueba Tukey para determinar la temperatura y la velocidad del aire, que permitió obtener harina de guayaba con máximo contenido de vitamina C.

RESULTADOS

1.1 Contenido de vitamina C

La Tabla 1 y Figura 2, muestran resultados del contenido de vitamina C en harina de guayaba, obtenida a cada temperatura y velocidad del aire de secado evaluadas.

En base a la comparación de tratamientos podemos decir que existen ocho grupos con resultados de diferencia homogéneos. El grupo de menor valor, es decir el que posee el menor contenido de vitamina C (29.86 mg/100 g harina) es el tratamiento t_3 (v_2). Temperatura del aire de 60 °C y la velocidad del aire de 3.5 m/s.

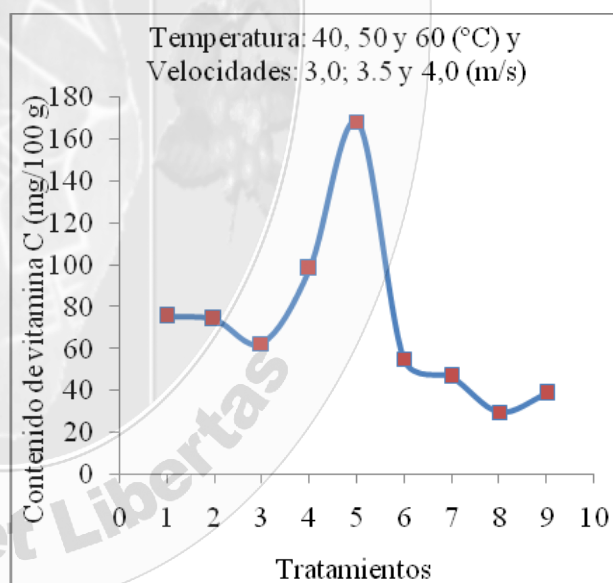


Figura 2: Contenido de vitamina C (mg/100 g de harina de guayaba) obtenidas por tratamiento estudiado.

El grupo de mayor valor, es decir el que posee el mayor contenido de vitamina C (168.33 mg/100 g harina) es el tratamiento t_2 (v_2). Temperatura del aire de 50 °C con la velocidad del aire de 3.5 m/s; por lo que será el recomendado y además da el color característico de la guayaba.

Tabla 1 Contenido de vitamina C en 100 g de harina de guayaba obtenidas por tratamiento

Tratamientos		Repeticiones			\bar{X} Contenido de Vit. C (mg/100 g)	Significancia (0.05)
Temperatura	Velocidad	1	2	3		
40 ° C	3.0 m/s	86.90	46.75	93.50	75.72	ecdefg
	3.5 m/s	67.10	73.15	82.50	74.25	Ecdef
	4.0 m/s	60.50	67.10	60.50	62.70	ebcde
50 ° C	3.0 m/s	120.27	78.10	96.98	98.45	efg
	3.5 m/s	154.75	163.73	186.51	168.33	h
	4.0 m/s	48.75	83.49	33.00	55.08	abcd
60 ° C	3.0 m/s	52.25	61.60	26.11	46.65	abc
	3.5 m/s	44.00	15.40	30.19	29.86	a
	4.0 m/s	55.00	41.25	19.99	38.75	ab

1.2 Cinética de secado

Tabla 2 Cinética de secado, rodajas de mesocarpio de guayaba temperatura de 50 °C y velocidad de aire de 3.5 m/s. Peso Bandeja: PB= 836.45g Peso Seco: S = 32.75g

T		P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g guayabas secas) Yr	Velocidad de secado (g agua/g ss.min)	Humedad promedio (g agua/g guayabas secas)
1	0	1036.88	200.43	5.12	0.042	5.015
2	5	1030.00	193.55	4.91	0.056	4.770
3	10	1020.83	184.38	4.63	0.140	4.280
4	15	997.91	161.46	3.93	0.062	3.775
5	20	987.76	151.31	3.62	0.040	3.520
6	25	981.21	144.76	3.42	0.076	3.230
7	30	968.76	132.31	3.04	0.020	2.990
8	35	965.49	129.04	2.94	0.086	2.725
9	40	951.40	114.95	2.51	0.044	2.400
10	45	944.20	107.75	2.29	0.046	2.175
12	55	930.12	93.67	1.86	0.040	1.760
13	60	923.57	87.12	1.66	0.026	1.595
14	65	919.31	82.86	1.53	0.032	1.450
15	70	914.07	77.62	1.37	0.034	1.285
16	75	908.50	72.05	1.20	0.040	1.100
17	80	901.95	65.50	1.00	0.006	0.985
18	85	900.97	64.52	0.97	0.024	0.910
19	90	897.04	60.59	0.85	0.014	0.815
20	95	894.75	58.30	0.78	0.018	0.735
21	100	891.80	55.35	0.69	0.006	0.675
22	105	890.82	54.37	0.66	0.006	0.645
23	110	889.83	53.38	0.63	0.004	0.620
24	115	889.18	52.73	0.61	0.018	0.565
25	120	886.23	49.78	0.52	0.006	0.505
26	125	885.25	48.80	0.49	0.014	0.455
27	130	882.96	46.51	0.42	0.010	0.395
28	135	881.32	44.87	0.37	0.004	0.360
29	140	880.66	44.21	0.35	0.004	0.340
30	145	880.01	43.56	0.33	0.004	0.320
31	150	879.35	42.90	0.31	0.004	0.300
32	155	878.70	42.25	0.29	0.004	0.280
33	160	878.04	41.59	0.27	0.006	0.255
34	165	877.06	40.61	0.24	0.004	0.230
35	170	876.41	39.96	0.22	0.006	0.205
36	175	875.42	38.97	0.19	0.008	0.170
37	180	874.11	37.66	0.15	0.004	0.140
38	185	873.46	37.01	0.13	0.002	0.125

La Figura 3 muestra la tendencia de humedad residual frente al tiempo de las corridas experimentales a 50 °C y velocidad de 3.0; 3.5 y 4.0 m/s. Se aprecia que la humedad crítica (Y_c) fue 1.25 g de agua/g guayaba seca y la humedad de equilibrio (Y_{eq}) fue 0.13 g de agua/g guayaba seca, valores que no han variado a pesar de aplicar tres diferentes velocidades del aire de secado, a la misma temperatura; lo que no ocurre con el tiempo crítico (T_c) el cual disminuye conforme aumenta la velocidad del aire de secado. La harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C se ha obtenido por secado de mesocarpio de este fruto con aire a 50 °C y velocidad de 3.5 m/s cuyo tiempo crítico (T_c) fue de 71 minutos.

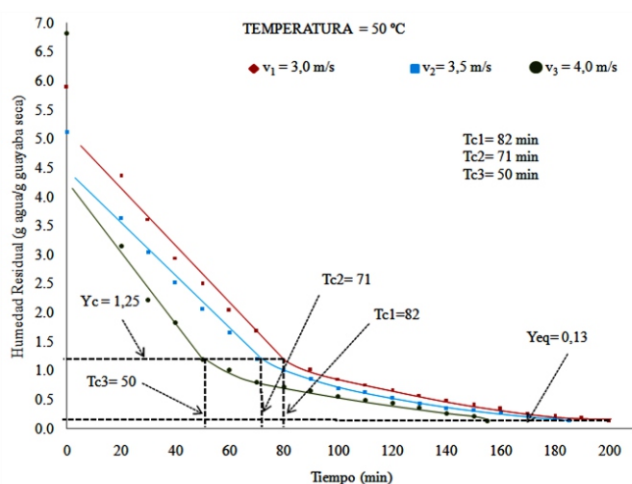


Figura 3: Humedad residual en función del tiempo ($t = 50\text{ °C}$; $v_1 = 3.0\text{ m/s}$; $v_2 = 3.5\text{ m/s}$; $v_3 = 4.0\text{ m/s}$), de Tabla 2.

Para determinación de la velocidad de secado se graficó (dy/dt) en función del contenido de humedad promedio, como se muestra en la Figura 4 para temperatura de 50 °C y velocidades del aire 3.0 m/s; 3.5 m/s y 4.0 m/s. Para velocidad de aire 3.5 m/s, la velocidad de secado fue de 0.15 g agua/g guayaba seca/min.

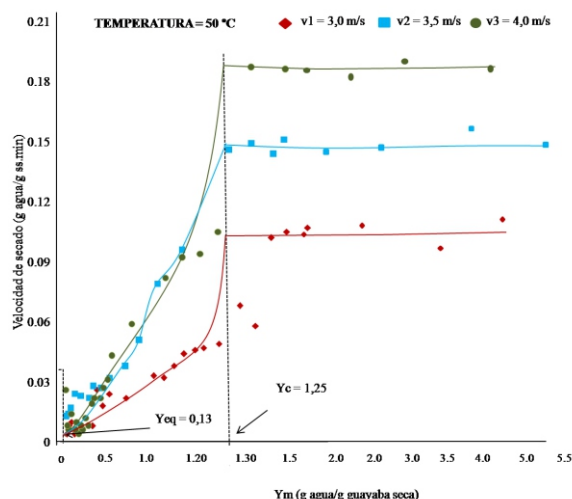


Figura 4: Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($t = 50\text{ °C}$; $v_1 = 3.0\text{ m/s}$; $v_2 = 3.5\text{ m/s}$; $v_3 = 4.0\text{ m/s}$), de Tabla 2.

Rendimiento en harina de guayaba

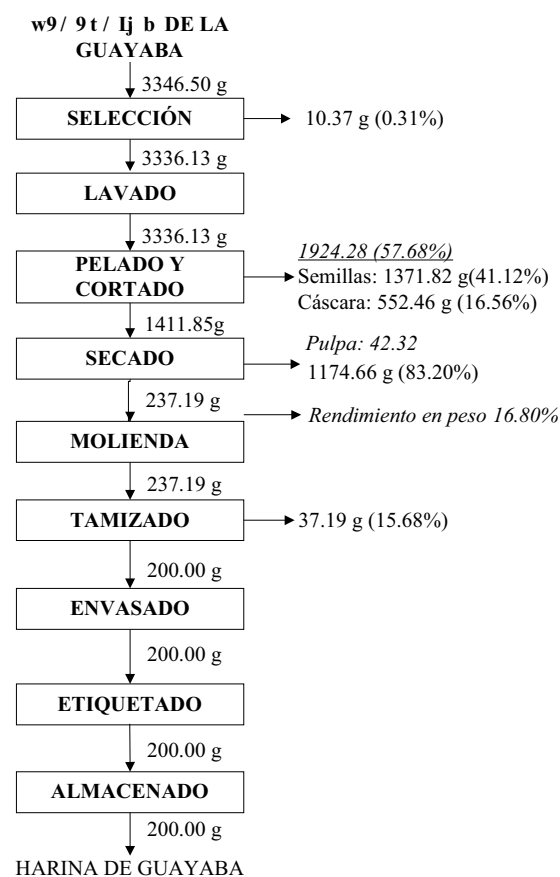


Figura 5: Balance de materia para obtener 200.00 g de harina de guayaba

En la figura 05 de balance de materia, se muestra el rendimiento promedio de rodajas de mesocarpio de guayaba en estado de madurez sazón listo para secar fue del 42.32 %. El 41.12% es pulpa y semillas y el 16.56% es cáscara.

El rendimiento de mesocarpio seco fue del 16.50 % de harina de guayaba.

Con respecto a la fruta entera, el rendimiento de harina fue del 6.98 % (16.5 g de harina en 100 gramos de mesocarpio).

Características físicoquímicas de guayaba sazón y harina de guayaba

Se realizó el análisis de fruta fresca y de harina con mayor contenido de vitamina C obtenida a temperatura de 50 °C y velocidad del aire de 3.5 m/s, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Análisis de fruta fresca y harina de guayaba.

Característica	Fruta sazón (\bar{x}^{**})	Harina de guayaba (\bar{x}^{**})
* Humedad (%)	80.05	11.11
pH	3.394	4.098
Acidez titulable (%)	0.446	0.201
° Brix (sólidos solubles)	6.50	4.00
Cenizas (%)	0.3175	3.1949
Sólidos totales (%)	19.65	88.77
Vitamina C (mg /100 g)	487.44	168.33 [®] 0.26

* (Base húmeda).

** Promedios de tres repeticiones.

Análisis microbiológico de harina de guayaba

Harina con mayor contenido de vitamina C, almacenada por 30 días. Se incubó las placas Petri sembradas a 37 °C durante 9 días. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Análisis microbiológico de la harina de guayaba obtenida por secado con aire a 50 °C y 3.5 m/s de velocidad.

Temperatura de incubación de la muestra	Mohos	Levaduras
37° C (temperatura ambiente)	2.5x10 ¹⁰ ufc/g	2.10x10 ² ufc/g

ufc: unidades formadoras de colonias

DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de mesocarpio de guayaba blanca-rosada (recolectada en estado sazón con un índice de madurez de 14.57) fue de 42.32 %. El 41.12 % correspondió a pulpa y semillas, y el 16.56 % fue cáscara. Con respecto a la fruta entera, el rendimiento en harina fue de 6.98 %. Similar rendimiento (mesocarpio 49 %; cáscara, pulpa y semillas 51 %) encontró Vargas (2004) en guayaba blanca; sus estudios determinaron que el contenido mayoritario de vitamina C se encontró en el mesocarpio. La cáscara le confiere otro color y sabor, las semillas tienen otros componentes (aceites), y la pulpa puede tener mosca de la fruta.

Las rebanadas de mesocarpio de guayaba secadas en secador de bandejas a temperatura de 50 °C y una velocidad del aire de 3.5 m/s, tienen el mayor contenido de vitamina C en la harina obtenida por molienda de este mesocarpio seco. La operación de secado a una temperatura de 60 °C y a tres velocidades ensayadas no permite conservar un buen contenido de vitamina C en el mesocarpio seco, debido a la sensibilidad del ácido ascórbico a altas temperaturas. El secado a 40 °C requiere mayor tiempo de secado, esto hace que la fruta se exponga al medio, se oxide y provoque pérdida de vitamina C. De acuerdo a Fennema (2000), las pérdidas de vitamina inducidas térmicamente dependen de la naturaleza y entorno químico del alimento (pH, humedad relativa, metales de transición, otros compuestos reactivos, concentraciones de oxígeno disuelto, etc.). El procesado afecta significativamente al contenido de vitamina, pero resulta conveniente desde el punto de vista tecnológico o de conservación (Ordóñez *et al.*, 1998).

En el secado de alimentos realizados con el mismo equipo empleado en el presente trabajo de investigación y en el mismo laboratorio, trabajando a diferentes temperaturas y

velocidades del aire, Cruzalegui (2009) determinó que para secar hojuelas de plátano (*Musa paradisiaca*, variedad inguiri) de 0.5 cm de espesor aproximadamente, se debe trabajar con temperatura de 50 °C y velocidad de 3.5 m/s. Iguales condiciones, Barrena *et al* (2009) secó rodajas de lúcuma (*Pouteria lucuma* L.) de 0.3 cm de espesor aproximadamente, obteniendo harina de lúcuma de color similar a la pulpa de lúcuma fresca. En la presente investigación, con esos mismos valores de temperatura y velocidad del aire se obtuvo harina de mesocarpio de guayaba con mayor contenido de vitamina C.

En las Figuras 3 y 4, se observa que a una temperatura de secado de 50 °C y una velocidad de 3.5 m/s, se empleó 3.05 horas en promedio, para alcanzar la humedad de equilibrio (Y_{eq}) de 0.13 g de agua/g guayaba seca, la humedad crítica (Y_c) fue de 1.25 g de agua/g guayaba seca, la que se alcanzó a los 71 minutos. Ambos valores de humedad no han variado a pesar de aplicarse tres diferentes velocidades del aire de secado a la misma temperatura, lo que no ocurre con el tiempo crítico (T_c), el cual disminuye conforme aumenta la velocidad del aire de secado; esto se debe a que una mayor masa de aire permite el rápido retiro de la humedad, y concuerda a lo descrito por Vernon (2000) y lo encontrado por Cruzalegui (2008) y Barrena *et al* (2009). Según Ordoñez *et al* (1998), el secado de alimentos se podrá realizar hasta llegar a un equilibrio entre la interacción de la temperatura y la velocidad del aire de secado, lo cual resulta ventajoso en costo de operación, tiempo y condiciones de secado.

El mayor contenido de vitamina C fue de 168.33 mg/100 g de harina de guayaba, obtenida a partir de mesocarpio de guayaba blanca-rosada secada a 50 °C y velocidad de 3.5 m/s, durante 100 minutos para llegar a una humedad final de 11.11% en base húmeda (Tabla 3). Además, la harina de guayaba tuvo un pH de 4.098 y acidez

de 0.201 % en términos de ácido cítrico. Ordoñez (1998), señala que en medios ácidos, se desfavorece la oxidación del ácido ascórbico, compuesto que tiene la actividad vitamínica, siendo el intervalo de mayor estabilidad entre 2.5 y 5.5 de pH.

El contenido de cenizas de la harina de guayaba determinada en la presente investigación fue de 3.19 %. Como no existen NTP ni extranjeros para harina de guayaba, se tomó como referencia la harina de quinua (*Chenopodium quinoa*)-Norma Técnica Boliviana, harina de lúcuma (*Pouteria lúcuma* L.)-MINAG, 2010 y harina de yuca (*Manihot sculenta*) comestible-CODEX, encontrándose que el contenido de cenizas de la harina de guayaba está dentro del rango permitido para las harinas mencionadas.

Para Lewis (1993); Potter y Hotchkiss (1999), la cantidad de humedad de un alimento establece cuáles microorganismos tendrán oportunidad de crecer. Los hongos pueden crecer en sustratos alimenticios con humedad tan baja como el 12 %; las bacterias y levaduras requieren niveles de humedad más altos, sobre el 30 %; la harina de guayaba se encuentra con humedad del 11.11 %; es por eso que se encontraron levaduras en un orden de 2.1×10^2 ufc/g y 2.5×10 ufc/g para mohos; ésta baja contaminación fúngica, puede deberse a hongos procedentes del ambiente durante el procesamiento de la harina o en su posterior almacenamiento. La harina de lúcuma debe contener mohos < 100 ufc/g y levaduras < 1000 ufc/g (MINAG, 2010); tomando ésta referencia, la harina de guayaba tiene mohos y levaduras menor a estos valores, después de 30 días de almacenamiento, por lo que su consumo como alimento no representa un riesgo potencial a la salud humana y se puede emplear en la industria de alimentos debido a sus propiedades físicoquímicas y sensoriales (Brack, 2003).

CONCLUSIONES

El rendimiento promedio de mesocarpio de guayaba blanca-rosada (recolectada en estado sazón con un índice de madurez de 14.57) fue del 42.32 %. El 41.12 % pulpa y semillas, y el 16.56 % cáscara. Con respecto a la fruta entera el rendimiento de harina fue del 6.98 %.

Con aire a 50 °C y 3.5 m/s, el tiempo de secado fue de 3.05 horas en promedio, alcanzando una humedad crítica (Yc) de 1.25 g de agua/g guayaba seca; la humedad de equilibrio (Yeq) de 0.13 g de agua/g guayaba seca y el tiempo crítico (Tc) fue de 71 minutos.

El tratamiento t_2 (v_2), temperatura del aire de 50 °C y velocidad del aire de 3.5 m/s permitió obtener mayor contenido de vitamina C (168.33 mg/100 g) en la harina de guayaba a partir del mesocarpio, registrando valores de acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico 0.201 %; pH 4.09; porcentaje de cenizas de 3.19 %; sólidos solubles 4 °Brix y humedad final en base húmeda de 11.11%.

Los microorganismos encontrados con mayor incidencia en la harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C analizada después de 30 días de almacenamiento, fueron levaduras en un orden de 2.1×10^2 ufc/g y 2.5×10 ufc/g para mohos.

La harina de guayaba, dada sus propiedades funcionales, puede ser utilizada como saborizante en productos tales como yogurt firme, ya que forma emulsiones (contiene fibra), así como en la elaboración de productos tipo postre, bebidas instantáneas, se sugiere en helados (Astasarián, 2003).

AGRADECIMIENTOS

A los encargados de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por facilitarnos los

laboratorios y los medios necesarios para la ejecución del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED E. Yousef y CARLSTROM Carolyn (2006). “*Microbiología de los alimentos: Manual de laboratorio*”. Editorial Acribia, S.A. 90p.

AOAC-Association of Official Analytical Chemist (1990). “*Official Methods of Analysis*”. Vol. 1, Chapter 4, 15th edition. Edited by Kenneth Helrich, Virginia, U.S.A. p. 69, 79p.

ASTIASARÁN, Iciar y MARTÍNEZ, Alfredo J. (2003). “*Alimentos: composición y propiedades*”. Editorial Interamericana, Mc Granw-Hill. 2^{da} edición Mc Graw-Hill, México. 140p.

BARBOSA CÁNOVAS, Gustavo V. (2000). “*Deshidratación de alimentos*”. Editorial Acribia S.A. España. 130p.

BRACK EGG, Antonio (2003). “*Frutas del Perú*”. Editorial veritas, Lima. 300p.

CRUZALEGUI FERNANDEZ Robert. J. (2008). “*Efecto de la temperatura y velocidad del aire de un secador de bandejas en la cinética de secado de hojuelas de plátano (Musa acuminata) variedad Inguiri*”. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 100p.

FENNEMA, Owen R. 2000. Química de los alimentos. Acribia, S.A., 2^{da} edición, Zaragoza-España. 174p.

IBARZ RIBAS, Alberto; BARBOSA CÁNOVAS, Gustavo V.; GARZA GARZA, Salvador; GIMENO AÑÓ, Vicente (2000). “*Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria*”. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza-España. 350p.

LEWIS M. J. 1993. Propiedades de los alimentos y de los sistemas de procesado. Acribia, S.A., Zaragoza. 80p

MOREIRAS, Olga; CABRERA, Luisa; CUADRADO, Carmen (2007). “*Tablas de composición de alimentos*”. Ediciones Pirámide, 11^{ava} edición, Madrid. 75p.

MUNTAÑOLA, María e INGLADA (1999). “*Guía de los hongos microscópicos*”. Editorial Omega, Barcelona-España. 50p.

ORDOÑEZ PEREDA, Juan A., CAMBERO, Isabel; FERNÁNDEZ, Leónides y GARCÍA DE FERNANDO, Gonzalo (1998). Tecnología de los Alimentos: Componentes de los alimentos y procesos. Volumen I. Síntesis, S.A., Valle Hermoso-Madrid. 310p.

POTTER, Norman N. y HOTCHKISS, Joseph H. (1999). “*Ciencias de los alimentos*” Editorial Acribia, S.A., 2^{da} edición, España. 782p.

VARGAS BOGRÁN, José Luis (2004). “*Caracterización física y química de la guayaba blanca tailandesa (Psidium guajava L.) en tres etapas de madurez*”. Proyecto presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado Académico de Licenciatura, Honduras: Zamorano Carrera de Agroindustria. 120p.

VERNON C., J. (2000). “*Laboratorio de operaciones unitarias*”. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México. 80p.

MINAG-Ministerio de agricultura (2012). “*Estadística agraria-ejecución y perspectivas: campaña agrícola de la guayaba en la región Amazonas años (2006-2009)*”.

NORMA del CODEX (2013) para harina de yuca comestible (*Manihot sculentum*). 160p.

TREYBAL, Robert. E. (1980). “*Operaciones de transferencia de masa*”. Editorial Mc Craw-Hill 2da edición, México. 1120.

CORRESPONDENCIA

Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

Jr. Condorcanqui N° 2345 - La Esperanza - Trujillo - La Libertad - Perú

irmarumela@hotmail.com