



CINÉTICAS DE SECADO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA HARINA ELABORADA A PARTIR DE RESIDUO DE JACA (*CARTOCARPUS HETEROPHYLLUS* LAM.) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ

Ángel Efraín Rodríguez Rivera¹, Leticia Mónica Sánchez Herrera², Rosendo Balois Morales³, Raúl Delgado Delgado⁴, Héctor Adrián García Martínez⁵ y Antonio Hidalgo Millán⁶

¹Universidad Autónoma de Nayarit (UAN),
Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias
(CBAP)

^{2,3} Universidad Autónoma de Nayarit,
Laboratorio de Tecnología en Alimentos,

^{4,6} Universidad Autónoma de Nayarit,
Área de Ciencias Básicas e Ingenierías (ACBI),
Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N,
colonia Los Frenos, Tepic, Nayarit, México,
63155.

⁵Instituto Tecnológico Superior de la Ciudad
Hidalgo. Av. Ing. Carlos Roja Gutiérrez 2120,
Fraccionamiento valle de la herradura, Ciudad
Hidalgo, Michoacán, México, 61182.



antonio.hidalgo@uan.edu.mx

Recibido: Octubre 31, 2016.

Recibido en forma revisada: Junio 21, 2017.

Aceptado: Enero 08, 2018.

Resumen: Nayarit es el estado con mayor producción del fruto de jaca en México, siendo destinada al mercado extranjero. Los frutos fuera de los estándares de exportación son desechados, causando contaminación al ambiente y pérdidas económicas al productor. En este trabajo se propone usar el residuo para elaborar una harina, con el fin de aprovechar y dar valor agregado a los frutos sin comercializar. El residuo se secó a temperaturas de 40°C, 45°C y 50°C encontrando tiempos de secado de 48 a 72 horas y porcentajes de humedad de 74.806% - 87.185%, con estos resultados se calculó la difusividad del material obteniendo valores de 0.8917×10^{-8} a 4.542×10^{-8} m²/s para este residuo. La caracterización fisicoquímica determinó que sus componentes más importante son los carbohidratos (33.20% - 42.34%), seguido de los lípidos (7.45% - 10.79%) y proteínas (5.49% - 6.48%). El aporte de carbohidratos lo hace en forma de fibra por lo que es muy adecuado para ser adicionado a otro alimento.

+ Palabras clave: Jaca, residuo de jaca, harina del residuo de jaca, secado y caracterización fisicoquímica.

Abstract: Nayarit is the state with the greatest production of Jackfruit in Mexico. The most part is destined for the US market. The fruit out export standards is discarded causing pollution to the environment and

economic losses to the producer. This paper intends to use this waste to produce a flour with added value, as an alternative to reap the fruits without a market. Initially, the residue is dried at temperatures of 40°C, 45°C and 50°C finding drying times of 48 to 72 hours and moisture percent of 74.806 % -87.185%. With these results, material diffusivity was calculated obtaining 0.8917×10^{-8} - 4.542×10^{-8} m²/s for this residue. The physicochemical characterization determined that its most important components are carbohydrates (33.20% - 42.34%), followed by lipids (7.45% -10.79%) and proteins (5.49% -6.48%). The contribution of carbohydrates is in the form of fiber, so it is very suitable to be added to another food.

+ Keywords: Jackfruit residue, jackfruit residue flour, drying, and physicochemical characterization.

Introducción

La *Artocarpus heterophyllus* Lam., perteneciente a la familia de las moráceas, es conocida popularmente como Jackfruit (jaca). Esta se distribuye principalmente en la parte oriental del continente Asiático, prosperando en elevaciones que van desde los 0 hasta los 1,600 m.s.n.m. creciendo en climas cálidos y húmedos (Jagtap, Panaskar y Bapat, 2010). El fruto de la jaca puede alcanzar pesos que oscilan entre los 10 a 25 kilogramos (Prakash, Kumar, Mishra y Gupta 2009), incluso se han reportado casos de frutos con más de 45 kilogramos de peso, por lo que es considerado el fruto más grande del mundo (Muralidharan, Ganapathy, Velayudhan y Amalraj, 1997), el fruto es apreciado por su sabor y textura, considerado como un rico manjar por la población de origen Asiático. En México, el cultivo de jaca fue introducido en el año de 1984 en el poblado del Llano en el municipio de San Blas en el estado de Nayarit, con un área de cultivo de 2 hectáreas y una producción de 5 toneladas de fruta al año (datos de COFUPRO, 2010). Hoy en día la producción nacional asciende a 18 mil 610 toneladas de jaca al año, de las cuales el estado de Nayarit aporta más de 17 mil toneladas (reportes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2016).

Tan solo el municipio de San Blas cuenta con una superficie de siembra de 639 hectáreas con una producción superior a las 13 mil toneladas por año, cultivando variedades como Musimeci, Spear, Agüitada, Buchona y Virtud, siendo frutos de alta aceptación en el mercado internacional. Cabe mencionar que la mayor parte de la producción de jaca en el estado de Nayarit es destinada a la exportación, dirigida a los mercados de Estados Unidos de América y algunos países de Asia y Europa. Durante el proceso de selección de frutos para la exportación se deja fuera una gran cantidad de frutos que no cumplen con las especificaciones y estándares de calidad para su exportación. Una pequeña parte de estos frutos es comercializada en fresco en la localidad y lo demás es desechado, generando gran cantidad de residuos que causan contaminación al medio ambiente, fomentando la proliferación de plagas nocivas para el ser humano causando pérdidas económicas a los productores. Estos frutos desechados contienen mayor cantidad de nutrientes esenciales, comparados con otros frutos tropicales como el plátano, piña, mango, papaya y naranja (Piña, Quiroz, Magaña y Ochoa, 2010). Sin embargo, la jaca contiene un alto contenido de agua (Bhatia, Siddapa y Lal, 1955), en los frutos verdes se tiene entre el 76.5% al 85.2 % y en los frutos maduros contiene entre el 72% al 94 % de su peso en agua (Manjeshwar, Arnadi, Raghavendra, Jerome y Harshith, 2011). Por lo que el fruto de jaca es considerado un

producto óptimo para ser procesado mediante la operación del secado, para la preservación de sus nutrientes.

Proceso de secado

Las operaciones de secado consisten básicamente en retirar el agua contenida en los materiales de proceso para la obtención de productos con mayor facilidad de manejo, almacenamiento y transporte (Resende, Arcanjo, Siqueira y Rodrigues, 2009). Esta operación unitaria, es usada a menudo como técnica de preservación en los alimentos, debido a que los microorganismos que provocan la descomposición de la materia alimenticia no se pueden desarrollar ni multiplicar en ausencia de agua, además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en los alimentos inhabilitan sus funciones en ausencia de agua (Geankoplis, 2002). Por ejemplo los microorganismos se inactivan cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para mantener su sabor y su valor nutritivo permitiendo así preservar alimentos con alto contenido de humedad tal como las frutas y hortalizas, cuyo contenido de humedad es típicamente superior al 90%. (Ochoa, Ornelas, Ruiz, Ibarra, Pérez, Guevara y Aguilar, 2012).

La eficacia del secado de un alimento está determinada por la resistencia interna del tejido al movimiento del agua y por una resistencia externa, que se presenta entre la superficie sólida y el fluido deshidratante, el cual en la mayoría de los casos es aire (Muratore, Rizzo, Licciardello y Maccarone, 2008) este proceso es realizado a temperaturas entre los 45°C hasta los 60°C siendo la temperatura de 45°C la recomendada comúnmente para la deshidratación de los alimentos, debido a que a temperaturas superiores a los 65°C, se produce el pardeamiento del alimento ya sea por la reacción de Maillard o por acción de la enzima polifenoloxidasas, teniendo degradación de los nutrientes y la caramelización de los azúcares lo que ocasiona la pérdida del sabor y el deterioro de los alimentos (Rajkumar, Kulanthaisami, Raghavan, Gariépy y Orsat, 2007). Los alimentos deshidratados pueden almacenarse durante periodos bastante largos lo que facilita su transporte y manejo, por ejemplo la molienda de los alimentos secos permite obtener harinas, las cuales son productos de fácil manejo y con mayor tiempo de vida en anaquel. Por lo que en este sentido, el presente trabajo propone dar un uso al residuo de jaca para la elaboración de una harina derivada de este subproducto la cual le dará un valor agregado, lo que permitirá a los productores tener una alternativa para aprovechar los frutos sin comercializar y adicionalmente incrementar sus ingresos.

Aplicaciones del secado en alimentos

Se han realizado estudios para la obtención de tiempos óptimos en la deshidratación de alimentos mediante el uso de cinéticas de secado. En el caso del tomate, se presenta un alto contenido de humedad entre el 80% al 90% (Ochoa, Ornelas, Ruiz, Ibarra, Pérez, Guevara y Aguilar, 2012) por lo que requiere de una operación de secado para su preservación. Empleando un secador solar Sacilik, Keskin y Elicin (2006) reportaron que el secado del tomate requiere de 82-96 horas siendo menor en comparación al secado solar en la intemperie que es de 106-120 horas. Sin embargo, Doymaz (2007) reportó una disminución en los tiempos de secado de hasta 24 horas a una temperatura de 70°C utilizando flujos de aire caliente en el secador. La desventaja en este método utilizado, fue la formación de olores desagradables como consecuencia de la aparición de

la reacción de Maillard (Botsoglou, Grigoropoulou, Botsoglou, Govaris y Papageorgiou, 2003).

Estudios realizados por Euripedes, Pedroza, Meira, Cambuy, Damasceno y Tavares (2012) sobre la cinética de secado del café con un contenido de humedad del 60%, a temperaturas de 30°C, 40°C y 45°C reportan tiempos de secado de 108, 78 y 52 horas respectivamente con lo cual calcularon los coeficientes de difusión de 1.908×10^{-11} a 3.721×10^{-11} m²/s, obteniendo un producto que conservo adecuadamente las propiedades organolépticas del café siendo adecuadas para el consumidor. Estudios realizados por Valencia, Rodríguez y Giraldo (2011), sobre el secado de manzana (85% humedad), utilizando tres diferentes métodos de secado (Convectivo, Microondas y Vacío) a temperaturas de 45°C y 60°C encontraron que el secado por convección se obtenían tiempos de secado de 250 y 180 minutos para las temperaturas de 45°C y 60°C, en contraste en el secado al vacío los tiempos disminuyeron a 220 y 150 min respectivamente. Sin embargo el secado por microondas, redujo el tiempo de secado hasta 180 y 120 minutos para las temperaturas de 45°C y 60°C respectivamente, esto debido a que el calor generado dentro del producto ocasiona una más fácil evaporación del agua almacenada en el interior del fruto. Además evaluaron la textura de las manzanas después de secarse, encontrando un aumento en la resistencia al corte en comparación a las manzanas frescas, debido a que al retirar el agua de la manzana, las células tienden a adherirse presentando una mayor resistencia mecánica al corte. Al final del secado obtuvieron productos en donde la humedad fue menor al 5%, con lo cual se incrementó el periodo de vida en anaquel de esta fruta. Otros estudios realizados por Salcedo Mercado, Vanegas, Fernández y Vertel (2014) sobre el secado de la yuca con flujo de aire caliente a velocidad constante de 3.0 m/s a temperaturas de secado de 34°C, 45°C y 55°C, encontraron un coeficiente de difusión de 1.261×10^{-11} a 4.137×10^{-9} para tiempos de secado entre 4.5 a 6 horas. Estudios hechos por López, Virseda y Abril en 1995 sobre el secado de láminas de papa de 2.5 mm a una temperatura de 60°C, reportaron tiempos de secado de 2 horas y un coeficiente de difusión de 1.21×10^{-8} m²/s. Otras investigaciones hechas por Fernández, Muñiz, García, Cervantes y Fernández en el 2015 encontraron que al someter previamente la papaya a deshidratación osmótica se obtuvieron tiempos de secado de 5 horas a una temperatura de secado de 60°C, reduciendo el tiempo de 10 horas en las muestras que no fueron sometidas a la deshidratación osmótica.

Elaboración de harinas

Mediante la molienda de los productos secos se pueden obtener polvos de fácil manejo, transporte y almacenaje, precedentes de la molienda de cereales, tubérculos, legumbres, semillas y de otros materiales sólidos, estos productos reciben el nombre de harinas. La producción de harinas se considera un proceso sencillo y de bajo costo, la mayoría de las harinas consumidas por el ser humano están hechas a partir de cereales como el trigo, maíz, etc. Estudios realizados por Magaña, Ramírez, Platt, López, Torres y Sánchez (2009) encontraron que las propiedades fisicoquímicas de la harina de trigo estaba compuesta por un 13.68 % de humedad, 11.01% de proteínas, y un 0.442% de cenizas.

Otros estudios hechos por Bello, Osorio, Agama, Núñez y Paredes (2002), reportaron la composición de la harina de maíz nixtamalizado siendo un producto muy importante en la dieta de la sociedad mexicana utilizada ampliamente en la elaboración de tortillas, tamales, etc. Ellos re-

portaron que la harina de maíz nixtamalizado está compuesta por un contenido de 6.7%,-10.4% de humedad, un 7.5% -9.0% de proteínas, 3.7% -5.7% de grasas, 5.6% -5.7% de cenizas, y 67% de almidón. Investigaciones hechas por Contreras, Jaimez, Porras, Juárez, Añorve y Villanueva (2010), sobre la harina de amaranto, reportan un contenido de 4.62% de humedad, 2.64% de cenizas, 15.39% de proteína, 4.34% de grasa y 5.17% de fibra del análisis proximal realizado a esta harina. Compararon la harina de amaranto con la harina de maíz la cual contiene 9.71% de humedad, 2.29% de cenizas, 2.92% de proteína, 1.18% de grasa, 0.35% de fibra y con la harina de arroz que está compuesta por un 9.69% de humedad, 2.27% de cenizas, 4.24% de proteína, 0.58% de grasa, 0.86% de fibra. Los autores concluyen que la harina de amaranto contiene mejores propiedades nutrimentales que la harina de maíz y de arroz basados en la cantidad de proteínas y fibra de la harina de amaranto. Montoya, Quintero y Lucas (2014) investigaron la harina derivada del plátano sometido a un proceso de secado, Ellos cortaron el plátano en rodajas a 45°C y lo secaron durante 48 horas, posteriormente el producto fue molido hasta obtener una harina, ellos reportan que esta harina está compuesta de un 12.5% de humedad, 0.41% de proteína, 12.82% fibra, 2.26% de cenizas y 1.83% grasa, a pesar de tener un contenido nutrimental menor que las otras harinas, esta harina tiene un contenido aceptable en fibras, lípidos y minerales que pueden ser mejorados mediante la adición de otra harina para la elaboración de productos alimenticios.

Flores, Lozano, Ramos, Salgado, Guerrero, Ramírez, Bello y Zamudio (2014) estudiaron la harina de avena de la región de Cuauhtémoc en Chihuahua, reportan que la harina está compuesta por lípidos 8%, proteínas 6.4%, cenizas 1.20%, fibra 4.03%, humedad 3.5% y almidón 67.20% teniendo un contenido nutrimental adecuado para la elaboración de productos alimenticios para el ser humano. Leyva, Ortiz, Martí y Valdivié (2013), reportan que la harina del fruto del pan (*Artocarpus altalis*) está compuesta en un 88.79% de materia seca (11.21% de humedad), de un 5.80% de proteínas, un 0.71% de lípidos, 6.17% lignina, 11.13% celulosa y un 7.74% de fibra. Adicionalmente, reportan un alto contenido de carbohidratos siendo del 77.25% de su peso, los carbohidratos totales están compuestos por un 56.43% de almidón, 13.66% de sacarosa, 14.5% de glucosa y un 13% de fructosa, esta harina fue usada como alimento de cerdos.

Materiales y Métodos

Materiales

En este estudio se utilizó jaca de la variedad "Agüitada" procedente del ejido de Aticama en el municipio de San Blas, en el estado de Nayarit. Las muestras se recolectaron durante la tercera semana de junio en la estación de verano, estas consistieron de frutos verdes y frutos en madurez fisiológica. Inicialmente los frutos de jaca se lavaron con una solución al 2% de hipoclorito de sodio y posteriormente la jaca se cortó en rodajas de 1 cm de grosor con un cuchillo cubierto con una capa de aceite vegetal comestible para evitar la adherencia del látex sobre su superficie, retirando la parte comestible (cáscara y semilla) dejando únicamente el residuo no comercial.

Secado y obtención de la harina

Para el secado de las rodajas de residuo de jaca se usó un secador convectivo marca Novatech® con un controlador de temperatura modelo BTC-9100. Las rodajas se distribuyeron cuidadosamente sobre la superficie de las charolas del secador con dimensiones de 50x50 cm realizando el secado de las muestras a temperaturas de 40°C, 45°C y 50°C, es decir se tuvo un diseño experimental factorial de 3x2 (3 temperaturas y 2 estados de madurez). Durante el secado del residuo de jaca, se verificó la pérdida de humedad mediante el peso de las rodajas en intervalos de una hora, pesando tres muestras seleccionadas (con un peso inicial de 100 g ± 5%), repitiéndose hasta no encontrar variación en el peso de las muestras durante 3 horas consecutivas. Con los datos obtenidos del proceso de secado del residuo de jaca se determinó el porcentaje de humedad, el coeficiente de difusión y el tiempo de secado de las rodajas en estas condiciones de operación. Posteriormente las rodajas del residuo de jaca fueron molidas usando un molino de mano y tamizadas hasta obtener una harina con un tamaño de partícula menor a 250 µm.

Caracterización fisicoquímica

El análisis fisicoquímico de las harinas elaboradas con el residuo de la jaca consistió en la determinación de humedad, cenizas, proteínas, extracto etéreo y carbohidratos solubles. En el caso de la humedad, esta se determinó en un horno marca Novatech® con un controlador de temperatura modelo BTC-9100 a presión atmosférica a 105°C durante 6 horas por diferencia de peso. Para la determinación de las cenizas totales de la harina del residuo de jaca se utilizó una mufla marca Novatech® con un controlador de temperatura modelo BTC-9100 a presión atmosférica a una temperatura de 500°C durante 5 horas, el porcentaje de cenizas se determinó por la disminución del peso de la muestra. La determinación de las proteínas fue realizada utilizando la técnica de micro Kjeldahl la cual consiste en la digestión, destilación y titulación de la muestra obteniendo así, el contenido proteico de la harina de residuo de jaca. Por último los carbohidratos solubles se obtuvieron utilizando el método colorímetro de Antrona y el extracto etéreo de la harina de residuo de jaca se obtuvo por pérdida de peso mediante el método de extracción de Soxhlet.

Análisis estadístico

El análisis estadístico utilizado en nuestro diseño experimental factorial de 3x2 (3 temperaturas y 2 estados de madurez) fue el de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) con el fin de validar la diferencia significativa entre los tratamientos y elegir en base a los resultados obtenidos la mejor temperatura del proceso de secado.

Resultados y discusión

Curvas de secado y difusividad del material.

El estudio realizado en este trabajo, a través de las cinéticas de secado permitió obtener el porcentaje de humedad del residuo de

jaca, el tiempo de secado y los coeficientes de difusión del residuo de jaca verde y en madurez fisiológica. En la Fig. 1 se muestran las curvas de secado correspondientes a las rodajas del residuo de jaca verde. En la gráfica se observa la variación en el contenido de humedad de las rodajas del residuo de jaca verde respecto al tiempo.

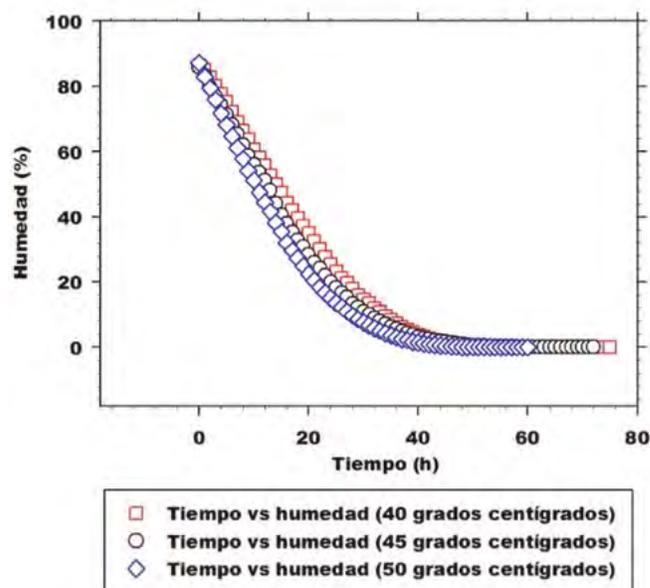


Figura 1. Cinéticas de secado del residuo de jaca verde a 40°C, 45°C y 50°C

Los tiempos del proceso de secado de las rodajas del residuo de jaca verde se muestran en la Tabla 1, con valores de 60, 56 y 48 horas para las temperaturas de 40°C, 45°C y 50°C respectivamente, estos tiempos de secado son menores a los tiempos de secado del tomate los cuales requirieron de más de 120 horas para secarse (Sacilik, keskin y Elicin, 2006). Posteriormente se determinó el contenido de humedad de las rodajas de residuo de jaca el cual se encuentra entre el 85.983% a 87.185%, siendo valores acordes a los reportados por Bhatia, Siddapa, y Lal (1955), de la cantidad de agua que posee la jaca en su totalidad (80% -95%). Asimismo, el residuo de jaca presenta un porcentaje de humedad similar a la manzana (85%) reportado por Valencia, Rodriguez y Giraldo (2011), por lo que este alto contenido de agua propicia los altos periodos de secado encontrados en este trabajo. Para calcular el porcentaje de humedad de las rodajas de residuo de jaca este se calculó mediante la Ecuación (1).

$$H = \frac{P_i - P_f}{P_i} (100) \quad (1)$$

Dónde: H = Humedad; P_i = Peso inicial de las rodajas; P_f = Peso final de las rodajas.

Posteriormente usando la segunda ley de Fick (Ecuación 2) expresada en términos de humedad se calcularon los coeficientes de difusión entre las rodajas del residuo de jaca y el aire en el secador.

$$\frac{dH}{dt} = D_{AB} \frac{\partial^2 H}{\partial Z^2} \quad (2)$$

Para resolver esta ecuación diferencial, se usaron las siguientes condiciones de frontera:

$$H_M = H_0; \text{ en } t=0 \text{ en toda } Z.$$

$$H_M = H_S; \text{ en } z=0 \text{ en todo } t.$$

$$H_M = H_0; \text{ en } z \text{ en todo } t.$$

La solución para la segunda ley de Fick se obtiene a partir de manipulaciones matemáticas y cambios de variables, la solución de esta ecuación diferencial es demostrada en varias literaturas (Welty, 1998).

$$\frac{H_x - H_0}{H_S - H_0} = 1 - f_{error} \left(\frac{Z}{2\sqrt{D_{AB}t}} \right) \quad (3)$$

Donde H_x - Humedad al centro; H_0 - Humedad Inicial, H_M - Humedad de la muestra H_S - Humedad del aire, Z - Espesor de las rodajas, D_{AB} - Difusividad o coeficiente de difusión, t - Tiempo de secado. Para el cálculo del coeficiente de difusión se consideró el porcentaje de humedad de la harina obtenida de la molienda, como la humedad en el centro de las rodajas del residuo de jaca, la humedad del aire en el secador fue determinada en cartas psicométricas usando las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo del proceso de secado.

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	Humedad (%)	Difusividad (m ² /s)
40	60	86.186	2.825 x 10 ⁻⁸
45	56	85.983	3.857 x 10 ⁻⁸
50	48	87.185	4.542 x 10 ⁻⁸

Tabla 1. Tiempo de secado, porcentaje de humedad y difusividad para las rodajas del residuo de jaca verde secadas a 40°C, 45°C y 50°C.

A partir de los datos de la Tabla 1, se calculó la difusividad entre las rodajas del residuo de jaca verde y el aire. Encontrando en el caso de las rodajas de residuo de jaca verde, una dependencia de la difusividad con respecto a la temperatura de acuerdo a la última columna de la Tabla 1. En este caso, el valor de la difusividad se incrementó al aumentar la temperatura del proceso de secado, debido a la intensificación del movimiento de las moléculas de agua y aire causado por la elevación en la temperatura favoreciendo el proceso de difusión. Para el caso de la cinética de secado correspondiente a las rodajas del residuo de jaca maduro, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2. En este gráfico se observa, una tendencia de las curvas de humedad contra tiempo de secado similar a la encontrada para el residuo de jaca verde. Sin embargo, se encontró un menor contenido de humedad y un mayor tiempo de secado en las muestras, sujetas a las mismas condiciones de operación.

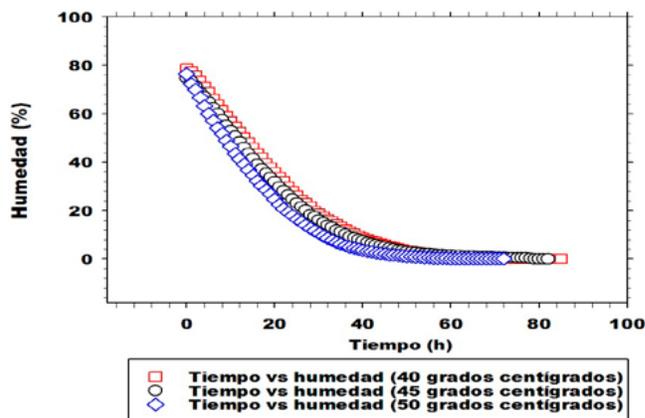


Figura 2. Cinéticas de secado del residuo de jaca en madurez fisiológica secadas a 40°C, 45°C y 50°C

En la Tabla 2, se muestran los tiempos de secado obtenidos para las rodajas del residuo de jaca en madurez fisiológica. Se obtuvieron tiempos de secado de 72, 66 y 60 horas para las temperaturas de 40°C, 45°C y 50°C respectivamente. El rango de contenido de humedad de las rodajas del residuo de jaca maduro fue de 74.806% a 78.625%, el porcentaje de humedad fue calculado a partir de la Ecuación (1) y la difusividad con la segunda ley de Fick (Ecuación 2). En este caso al igual que en las rodajas del residuo de jaca verde, se encontró que la difusividad es dependiente de la temperatura (El coeficiente de difusión de las rodajas del residuo maduro mantuvo la tendencia de incrementarse con la temperatura, sin embargo, este disminuyó considerablemente en comparación con los coeficientes de difusión calculados para las rodajas de fruto verde, relacionando esta difusividad más baja con los mayores tiempos de secado obtenidos para el secado de las rodajas de residuo de jaca maduro.

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	Humedad (%)	Difusividad (m ² /s)
40	72	78.625	0.8917 x 10 ⁻⁸
45	66	74.806	1.208 x 10 ⁻⁸
50	60	76.375	1.738 x 10 ⁻⁸

Tabla 2. Tiempo de secado, porcentaje de humedad y difusividad para las rodajas del residuo de jaca madura secadas a 40°C, 45°C y 50°C.

El hecho de obtener un mayor valor en la difusividad en las rodajas de los residuos de los frutos verdes que en los maduros, puede estar relacionado a la respiración celular de los frutos verdes, ya que los frutos verdes tienen un metabolismo más elevado que el de los frutos en madurez fisiológica lo que libera mayor cantidad de CO₂ y vapor de H₂O como consecuencia de una pared celular más delgada (Kader, 2011). Esta característica permite una mayor transferencia de masa del agua procedente del fruto hacia el aire, favoreciendo el proceso de secado. Con esto se puede explicar la razón de obtener menores tiempos de secado en los frutos verdes que en los frutos maduros. Los coeficientes de difusión encontrados para el residuo de jaca son mayores que los encontrados por Euripedes, Pedroza, Meira, Cambuy, Damasceno y Tavares (2012), para los granos de café (1.908x10⁻¹¹ a 3.721x10⁻¹¹ m²/s); mayores a los reportados por Salcedo Mercado, Vanegas, Fernández y Vertel en 2014, para la difusividad del secado de los tubérculos como la yuca (1.261x10⁻¹¹-4.137x10⁻⁹); mayores a los reportados por Zogzas, Maroulis y Marinos en (1996), en cereales como el maíz (0,11 x 10⁻¹⁰ a 5,3 x 10⁻¹⁰ m²/s); el trigo (5,1 x 10⁻¹⁰ a 2,2 x 10⁻⁹ m²/s); y el arroz (1,3 x 10⁻¹⁰ a 3,2x 10⁻⁹ m²/s) y mayores que en frutas como la fresa (4.528 x

10^{-10} a $9,631 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) estudiada por Akpınar, Bicer y Yildis (2003). Sin embargo, los valores son similares a los reportados para la papa por López, Virseda y Abril (1995) ($1.21 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$).

Caracterización Físicoquímica de la harina

En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los resultados de la caracterización físicoquímica de la harina del residuo de jaca verde y en madurez fisiológica respectivamente. La harina del residuo de jaca verde contiene un 8.21% -8.45% de humedad, 7.26% -7.50% de cenizas totales, 9.73% -10.79% de extracto etéreo, 6.25% -6.48% de proteínas y 33.20% -34.65% de su peso en carbohidratos solubles. La caracterización de la harina del fruto maduro determinó un contenido de 8.99% -11.36% de humedad siendo mayor al de la harina de jaca verde, la cantidad de cenizas aumento a 8.33% -8.43%, así como los carbohidratos solubles siendo aquí donde se presentó el mayor cambio llegando hasta un 40.86% -42.34% de su peso, en la harina de jaca madura se vio disminuido el contenido de extracto etéreo y de proteínas siendo de 7.45% -8.69% y 5.49% -5.65% respectivamente.

Temperatura de secado (°C)	Análisis de Humedad (%)	Determinación de Cenizas (%)	Extracto Etéreo (%)	Cantidad de Proteínas (%)	Carbohidratos solubles (%)
40	8.45±0.245 ^A	7.26±0.410 ^A	10.79±0.167 ^A	6.48±0.090 ^A	33.27±0.355 ^A
45	8.21±0.282 ^A	7.50±0.489 ^A	9.87±0.750 ^B	6.25±0.054 ^{AB}	34.65±0.484 ^A
50	8.40±0.294 ^A	7.53±0.249 ^A	9.73±0.971 ^A	6.33±0.421 ^B	33.20±0.312 ^A

Tabla 3. Caracterización físicoquímica de las rodajas del residuo de jaca verde secadas a 40°C, 45°C y 50°C.

El análisis estadístico determinó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para el análisis de humedad, determinación de cenizas y carbohidratos solubles en la harina del residuo de jaca verde secado a diferentes temperaturas, pero si existe diferencia significativa en la cantidad de proteínas y el extracto etéreo, por lo que se eligió la temperatura de 45°C como la mejor temperatura de secado ya que a esta temperatura se encuentra en conjunto la mayor la cantidad de proteínas e intermedia en el extracto etéreo.

Temperatura de secado (°C)	Análisis de Humedad (%)	Determinación de Cenizas (%)	Extracto Etéreo (%)	Cantidad de Proteínas (%)	Carbohidratos solubles (%)
40	11.36±0.364 ^A	8.33±0.368 ^A	8.01±0.605 ^B	5.65±0.216 ^A	42.34±0.138 ^A
45	10.46±0.253 ^A	8.43±0.329 ^A	8.69±0.468 ^B	5.49±0.143 ^A	40.86±0.325 ^A
50	8.99±0.274 ^A	8.53±0.250 ^A	7.45±0.233 ^A	5.50±0.235 ^A	42.17±0.793 ^A

Tabla 4. Caracterización físicoquímica de las rodajas del residuo de jaca verde secadas a 40°C, 45°C y 50°C.

Respecto al análisis estadístico de la harina del residuo de jaca maduro se encontró al igual que en la harina del fruto verde, que no existe diferencia significativa entre el análisis de humedad, la determinación de cenizas, el extracto etéreo, la cantidad de proteínas y los carbohidratos solubles, por lo que se eligió nuevamente la temperatura de 45°C como la mejor temperatura en el secado del residuo de jaca maduro. Comparada con la harina de trigo, la humedad en la harina del residuo de jaca es menor, ya que la harina de trigo tiene un 13.68% de humedad, pero se tuvo una menor cantidad de proteínas ya que esta contiene un 11.01% de proteínas. En lo referente al porcentaje de cenizas en esta harina se encontró que es menor conteniendo solo un 0.442% (Magaña, Ramírez, Platt, López, Torres y Sánchez, 2009). Así mismo, al comparar la harina de residuo de jaca con la harina de maíz nixtamalizado esta última contiene un mayor porcentaje de humedad siendo de 10.4%, mayor en cantidad de proteínas ubicado entre 7.5% -9.0%, pero posee menor cantidad de extracto etéreo 3.7% -5.5% y

menor cantidad de cenizas que van del 5.6% -5.7% en comparación a la harina de residuo de jaca verde (Bello, Osorio, Agama, Núñez y Paredes, 2002). Por otra parte, la harina de amaranto contiene un mayor contenido de humedad 4.62%, tiene menor cantidad de cenizas y de extracto etéreo con un 2.64% y un 4.39% respectivamente, el contenido de proteínas de la harina de amaranto es mayor al de la harina de residuo jaca, con un 15.39% reportado por Contreras, Jaimez, Porras, Juárez, Añorve y Villanueva (2010). La harina del residuo de jaca tiene menor contenido de humedad que la harina de arroz que tiene 9.68% pero con mayor cantidad de proteínas, debido a que esta contiene solo un 4.24%, el extracto etéreo es de un orden de magnitud menor con solo 0.58%.

En comparación con la harina de plátano, estudiada por Montoya, Quintero y Lucas (2014) esta contiene menor cantidad de proteínas siendo apenas del 0.41%; su contenido de cenizas y grasa es menor, posee 2.26% y 1.83% respectivamente solo se tiene reportado mayor contenido de humedad con 12.5%. Para el caso de la harina de avena estudiada por Flores, Lozano, Ramos, Salgado, Guerrero, Ramírez, Bello y Zamudio (2014), esta contiene un contenido de proteínas y extracto etéreo similares al de la jaca, siendo del 8.0 y 6.4% respectivamente, su humedad es menor del orden del 3.5% pero su contenido de almidón es de 67.20%. Por último, Alonso, García, González y Benavente (2014), estudiaron las propiedades físicoquímicas de la harina de papa. Los autores reportan un contenido de 4.10-4.5% de humedad, 2.84% -3.35% de cenizas, 0.0474% -0.0380% proteínas y 0.53% -0.60% de extracto etéreo. En estos cuatro parámetros la harina del residuo de jaca tiene un mayor contenido. Sin embargo, la harina de papa es rica en carbohidratos conteniendo del 92.56%-93.03% de carbohidratos totales. Al comparar la harina del residuo de jaca verde de este estudio con la harina de *Artocarpus altilis* estudiada por Leyva, Ortiz, Martí y Valdiviá (2013), se encontró que la harina de residuo de jaca de la región de Nayarit, tiene un 3% menos de humedad, 1% mayor cantidad de proteínas, pero tiene el doble de carbohidratos, dado que esta contiene el 77.25% de su peso en carbohidratos siendo el 56.43% de los carbohidratos en forma de almidón. Con estos resultados, la harina del residuo de jaca demostró ser un producto con una cantidad moderada de proteínas, humedad y extracto etéreo, además de tener un alto contenido de carbohidratos solubles y cenizas. De aquí se desprende la idea de utilizar el residuo de jaca verde y maduro en la elaboración de productos alimenticios.

Conclusión

La temperatura de 45°C usada en el secado del residuo de jaca en diferentes estados de madurez es la que presenta tiempos de secado, coeficientes de difusión y pérdidas de humedad adecuadas en el proceso de deshidratación del residuo de jaca. El valor de la difusividad para el sistema agua-aire contenido en la pasta de la jaca es dependiente de la temperatura, aumentando al incrementar la temperatura en el secador. De acuerdo al análisis estadístico realizado, se determinó que a esta temperatura de 45°C, no existe diferencia significativa en la mayoría de los análisis físicoquímicos de la harina de jaca por lo que es adecuado el uso de esta temperatura en el proceso de secado. La harina del residuo de jaca en diferentes estados de madurez demostró ser un producto con una moderada cantidad de nutrientes por lo que puede ser usada para su implementación como un alimento, lo cual traerá beneficio al productor de este fruto el poder darle un uso a este residuo reduciendo así las pérdidas económicas generadas por este subproducto agrícola.

- H - Humedad de la muestra al finalizar el proceso de secado (%)
 H_0 - Humedad inicial de la muestra (%)
 H_s - Humedad del aire del secador (%)
 H_x - Humedad al centro de la muestra (%)
 P_i - Peso inicial de la muestra (g)
 P_f - Peso final de la muestra (g)
 Z - Grosor de la muestra (cm)
 D_{AB} - Difusividad entre la muestra y el aire del secador (m²/s)

Al Sr. David Montoya por su amabilidad y por la facilitación de las jacas con las que se realizó el presente trabajo de investigación. Al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias (CBAP) y al Área de Ciencias Básicas e Ingenierías (ACBI) pertenecientes a la Universidad Autónoma de Nayarit por las facilidades y apoyo otorgados para el desarrollo de este proyecto.

Bibliografía

- + Akpınar E.; Bicer Y. y Yildis C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 59, 99-104. ISSN # 0260-8774.
- + Alonso J.; García K.Z.; González K. y Benavente M. (2014), producción de harina de papa para puré instantáneo. *Nexo*, 27, 99-114. ISSN# 1818-6742.
- + Bello-Pérez, L. A.; Osorio-Díaz, P.; Agama-Acevedo E.; Carmen Núñez-Santiago, C. y Paredes-López, O. (2002) Chemical, physicochemical and rheological properties of masas and nixtamalized corn flour. *Agrociencia*, 36, 319-328. ISSN # 1405-3195.
- + Bhatia, B. S.; Siddapa, G. S.; y Lal, G. (1955). Composition and nutritive value of jackfruit. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 25, 303-306. ISSN # 0019-5022.
- + Botsoglou, N.A.; Grigoriopoulou, S.M.; Botsoglou, E.; Govaris, A. y Papageorgiou, G. (2003). The effects of dietary oregano essential oil and α -tocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. *Meat Science*, 65, 1193-1200. ISSN # 0309-1740.
- + Contreras-López, E.; Jaimez-Ordaz, J.; Porras Martínez, G.; Juárez-Santillán, L.F.; Javier Añorve-Morga J. y Villanueva-Rodríguez, S. (2010), Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto, *Archivos latinoamericanos de nutrición* 60, 184-191. ISSN # 0004-0622.
- + Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 78, 1291-1297. ISSN # 0260-8774.
- + Euripedes-Alves, G.; Pedroza-Isquierdo, E.; Meira-Borém, F.; Cambuy-Siqueira, V.; Pedro Damasceno-Oliveira, P. y Tavares-Andrade, E. (2012) drying kinetics of natural coffee for different temperature and low relative humidity, *Coffee Science*, 8, 226 - 236. ISSN # 1809-6875
- + Fernández Valdés, D.; Muñiz Becerá, S.; García Pereira, A.; Cervantes Beyra, R., y Fernández Valdés, D. (2015). Kinetic of drying papaya fruit (*Carica papaya* L., cv. Maradol Roja) by means osmotic dehydration and hot air flow. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24, 22-28. ISSN #1010-2760.
- + Flores-Peña, F.F.; Lozano-Quezada, F.; Ramos-Martínez, A.; Salgado-Delgado, R.; Guerrero-Prieto, V.M.; Ramírez-Mancinas S., Bello-Pérez, L.A., y Zamudio-Flores P.B. (2014), Physicochemical, rheological and functional characterization of oat flour (*Avena sativa* L. cv Bachiniva) cultivated in the region of Cuauhtemoc, Chihuahua, *tecnociencia*, 8, 152-162. ISSN # 1870-6606.
- + Geankoplis Christie J. (2002) *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, México D.F: CECOSA. ISBN # 9702408563.
- + Jagtap, U. B.; Panaskar, S. N. y Bapat, V. A. (2010). Evaluation of antioxidant capacity and phenol content in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) fruit pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65, 99-104. ISSN# 1573-9104
- + Kader, A. (2011) *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*, México D.F: Universidad de California, ISBN # 978-1-60107-744-8.
- + Leyva, C.; Ortiz A.; Martí, O. y Valdiviév, M. (2013), Inclusion of meal from *Artocarpus altilis* fruit in diets for pre-fattening pigs. *Pastos y forrajes*. 468-473. ISSN # 0864-0394
- + López, A.; Virseda, P. y Abril, J. (1995), Modelización de la cinética de secado de patata cortada en láminas, *alimentaria*, 43, 43-48. ISSN #0300-5755.
- + Magaña-Barajas, E.; Ramírez-Wong, B.; Platt-Lucero, L. C.; López-Ahumada, G. A.; Torres, P.I. y Sánchez-Machado, D.I (2009). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología ciencia y educación*, 24, 12-22. ISSN # 2444-250X.
- + Manjeshwar Shrinath Bhaliga, Arnadi Ramachandrayya Shivashankara b, Raghavendra Haniadka, Jerome Dsouza y Harsith P. Bhat (2011) *Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of Artocarpus heterophyllus Lam (jackfruit): A review*, *Food Research International* 44, 1800-1811. ISSN# 0963-9969.
- + Montoya, J.; Quintero, V.D. y Lucas, J.C. (2014) thermal and rheological evaluation of flour and starch from banana dominico hartton (*musa paradisiaca abb*), *Temas agrarios*, 19, 214-233. ISSN#

0122-7610.

+ Muralidharan, V. K.; Ganapathy, M. M.; Velayudhan, K. C. y Amalraj, V. A. (1997). Collecting jackfruit germplasm in Western Ghats. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, 10, 227–231. ISSN# 0971-8184

+ Muratore, G.; Rizzo, V.; Licciardello, F. y Maccarone, E. (2008). Partial dehydration of cherrytomato at different temperature, and nutritional quality of the products. *Food Chemistry*, 111, 887-891. ISSN # 0308-8146

+ Piña, G.; Quiroz, J.; Magaña L. y Ochoa, A. (2010). Caracterización Físicoquímica de Frutas Frescas de Cultivos no Tradicionales en Venezuela. *Agronomía tropical*. 35-42. ISSN# 0002-192X.

+ Prakash, O.; Kumar, R.; Mishra, A. y Gupta, R. (2009). *Artocarpus heterophyllus* (Jackfruit): An overview. *Pharmacognosy Reviews*, 3, 353–358. ISSN# 0973-7847.

+ Ochoa-Reyes, E.; Ornelas-Paz, J.J.; Ruiz-Cruz, S.; Ibarra-Junquera, V.; Pérez-Martínez, J.D.; Guevara-Arauz, J.C. y Aguilar, C.N. (2012) *Tecnología*

de deshidratación para la preservación del tomate; *Biotecnia*, 15, 39-46. ISSN # 1665-1456.

+ Rajkumar, P.; Kulanthaisami, S.; Raghavan, G.S.V.; Gariépy, R.Y. y Orsat, V. (2007). *Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods*. *Drying Technology*. 25, 1394-1357. ISSN # 0737-3937.

+ Resende, O.; Arcanjo, R. V.; Siqueira, V. C. y Rodrigues, S. (2009) *Modelagem matemática para a secagem de clones de café (Coffea canephora) em terreiro de concreto*. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31, 189-196. ISSN # 1807-8621.

+ Sacilik, k.; keskin, R. y Elicin, A.K. (2006). *Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato*. *Journal of Food Engineering*. 73, 231–238. ISSN# 0260-8774.

+ Salcedo-Mendoza, J.; Mercado, J. L.; Vanegas, M.; Fernández A. y Vertel, M. L (2014), *Cinética de secado de la yuca (Manihot esculenta Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire*. *ION*, 27, 29-42. ISSN # 0120-100X.

+ Valencia, C. S. Y. I.; Rodríguez, H. L. F. I. y Giraldo P. G. A (2011). *Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana Granny smith, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado*, *Tumbaga*, 6, 7-16. ISSN # 2216-118X.

+ Welty, J. R. (1998) *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa, novena reimpression, México, D.F., editorial limusa*, 642-643. ISBN # 9789681858964.

+ Zogzas, N.P.; Maroulis, Z.B. y Marinou-Kouris, D. (1996) *Moisture diffusivity data compilation in foods tuffs*. *Drying Technology*. 1.:2225-53. ISSN # 0737-3937.