



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**



MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATADO SOLAR DE MANGO Y PAPAYA
EN EL ESTADO DE GUERRERO: ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO
SUSTENTABLE**

Por

ING. ANA CONSUELO BAHENA ORTEGA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. NATIVIDAD DELFINA HERRERA CASTRO

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO, MÉXICO, JULIO DE 2024

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de la **ING. ANA CONSUELO BAHENA ORTEGA** la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



Dra. Natividad Delfina Herrera Castro
Directora de Tesis



Dra. Ana Rosa Garcia Angelmo
Co-Directora de Tesis



Dr. Elías Hernández Castro
Asesor



Dr. José Luis Valenzuela Lagarda
Asesor



Francisco Palenón Alberto
Asesor

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
DEDICATORIA	6
RESUMEN GENERAL	7
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	8
II. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Particulares.....	11
III.- HIPÓTESIS.....	11
3.1. Hipótesis General.	11
3.2. Hipótesis Específicas.....	11
IV. JUSTIFICACION	12
V. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE PAPAYA DESHIDRATADA EN SECADOR SOLAR DIRECTO.....	13
6.1 RESUMEN	13
6.2. INTRODUCCIÓN	14
6.3. PARTE EXPERIMENTAL.....	15
6.3.1. MATERIA PRIMA	15
6.3.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	15
6.3.3 CURVAS DE SECADO	16
6.3.4. CAMBIO DE COLOR DEL MESOCARPIO	16
6.3.5. ÍNDICE DE REHIDRATACIÓN.....	16
6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
6.4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS	17
6.5. CONCLUSIONES	20
6.5. AGRADECIMIENTOS.....	20
6.6. REFERENCIAS.....	20
VII. EFECTO DEL TIPO DE DESHIDRATADOR SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE RODAJAS DE MANGO CV. 'ATAULFO'	23
7.1 Resumen.....	23
7.2 Introducción	24
7.3. Materiales y métodos.....	25
7.3.1 Recolección de mango.....	25

7.3.1 Preparación de la muestra y medición de parámetros fisicoquímicos	25
7.3.2. Curvas de secado	26
7.3.3. Porcentaje de rehidratación	27
7.3.4. Porcentaje de encogimiento.....	27
7.3.5. Diferencia de color	28
7.3.6. Diseño de experimento y análisis estadístico	28
7.4. Resultados y discusión.....	28
7.5. Conclusiones.....	35
7.6. Agradecimientos.....	35
7.7. Bibliografía	36
CONCLUSIONES GENERALES.....	38

AGRADECIMIENTOS

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero que aportó a través de su beca gracias a la cual fue posible realizar mis estudios de maestría.

A la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero por darme la oportunidad de formar parte de sus estudiantes y obtener el grado de Maestro en Ciencias.

A mi directora de tesis la Dra. Natividad Delfina Herrera Castro por sus enseñanzas y aportaciones.

A mi codirectora la Dra. Ana Rosa García Angelmo por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y aportaciones, su disponibilidad y paciencia, durante este proceso de investigación.

A mi asesor Dr. José Luis Valenzuela Lagarda por su apoyo, sus aportaciones y su disponibilidad durante el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Francisco Palemón Alberto por ser mi asesor, por sus observaciones y aportaciones durante la investigación.

A mi asesor el Dr. Elías Hernández Castro por apoyo incondicional desde el principio de este proceso, por sus aportaciones, enseñanzas, consejos, paciencia y disponibilidad, por sus palabras de aliento y por estar siempre y en cada momento.

A quienes aportaron de su tiempo y colaboración durante las pruebas experimentales: Fausto, Yadi, Andrés, Víctor y demás compañeros que estuvieron conmigo en el laboratorio.

Al Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande de la Costa Chica de Guerrero, por permitirme realizar mis pruebas experimentales en las instalaciones de sus laboratorios.

DEDICATORIA

A mi padre el Sr. Pastor Bahena Romero† a quien llevo en mi corazón, por creer en mí y que con sus sabias palabras siempre alentó cada uno de mis proyectos, sé que estarías orgulloso de mi, hasta el cielo Papá.

A mi abuelito Jesús Ortega Salinas† quien con sus sabios consejos siempre alimento mi esperanza de superación, por siempre en mi corazón Abue.

A mis hermanos Cesar Bahena Ortega y Alicia Bahena Ortega por no dejarme durante este proceso, por escucharme y aconsejarme, por estar siempre en las buenas y en las malas.

A mis sobrinos porque en mis momentos de estrés y desesperación sus platicas y risas sirvieron de calma, gracias Marco.

A Carmelo por estar conmigo desde que inicie con este proyecto, por motivarme a seguir adelante, por apoyarme a alcanzar esta meta, gracias por tu amor, amistad y paciencia.

A cada una de las personas que estuvieron conmigo en esta etapa apoyándome con sus palabras y que no dejaron que me diera por vencida infinitas gracias.

RESUMEN GENERAL

México es uno de los países con mayor diversidad de especies vegetales, destacando los frutos tropicales, dentro de los cuales se encuentra el mango y la papaya. El Mango (*Mangifera indica* L.) es un fruto de alto valor biológico, además de ser de los más consumidos a nivel mundial. A nivel mundial México se localiza como el principal exportador de este fruto, siendo su principal mercado de venta el de EEUU, siendo los estados de Sinaloa, Guerrero y Nayarit los que producen más del 50 % del total nacional (SIAP, 2021). Por su parte, la papaya (*Carica papaya* L.) tiene su origen en Mesoamérica y se distribuía desde el sureste de México y hasta Costa Rica y es uno de los principales frutos tropicales producidos en el mundo. Los bajos precios a los que se enfrenta el mango Guerrerense muchas veces ocasionan que los frutos no salgan de las huertas y con ello se genere un riesgo de salud para los productores y las huertas propias y vecinas (Astudillo-Miller et al., 2020). Unas de las tecnologías más utilizadas para la conservación de alimentos es los deshidratados, debido a que su uso no requiere de maquinaria costosa, y se pueden elaborar a nivel casero gracias a las cualidades que poseen los productos obtenidos, cuando se habla de productos deshidratados se buscan características tales como buena rehidratación en la boca, color apetecible y textura deseable (De Michelis y Ohaco, 2015), por otra parte una de las consideraciones que se presentan en la tecnología en sí, es la velocidad de secado y el encogimiento de las muestras, la primera se mide gracias a las cinéticas de secado, la cual se describe como una función de tiempo con respecto a un contenido de humedad (X) utilizando el peso inicial de las muestras (W_i) y el peso final (W_f) de la muestra, la cual está influenciada debido a la temperatura, la velocidad del aire y el espesor de la muestra (Geankoplis, 1982). Con todo esto se propone el deshidratado como método de aprovechamiento de frutos de mango y papaya de la Costa Chica de Guerrero.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

México tiene una gran diversidad de frutos tropicales, dentro de los cuales destaca el mango y la papaya. La papaya (*Carica papaya* L.) tiene su origen en Mesoamérica y se distribuía desde el sureste de México y hasta Costa Rica (Scheldeman *et al.*, 2011), es uno de los principales frutos tropicales producidos en el mundo, siendo México el mayor exportador, con una cantidad de 160,000 t exportadas principalmente a Estados Unidos de América, se estima que en 2019 destinó el 99 % de sus exportaciones a ese país (FAO, 2020). Para México es un cultivo de mucha importancia debido a que durante 2019 se posicionó en el cuarto lugar en a nivel mundial con una producción de 1,083,133 t solo por debajo de India (6,050,000 t), Republica Dominicana (1,171,336 t) y Brasil (1,161,808 t), (FAO, 2019). La nación cuenta con una superficie sembrada de 19,858.39 ha. A nivel nacional los primeros estados productores fueron Oaxaca (323,614.43 t), Colima (192,080.34 t), Chiapas (153,392.58 t), Veracruz (112,233.67 t), Michoacán (115,567.62 t) y Guerrero (48,450.50 t), este último ocupó el 6to lugar en cuanto a producción, aportando un 4.49 % a la producción nacional total en una superficie aproximada de 1,525.50 ha (SIAP, 2019). La alta demanda de este fruto se debe a que contiene propiedades organolépticas agradables para los consumidores, además proporciona grandes aportes nutrimentales en la alimentación humana debido a que contiene minerales y vitaminas necesarias para el funcionamiento del organismo (Nwofia *et al.*, 2012). El mango (*Mangifera indica* L) es un fruto tropical originario del sureste asiático, fue introducido a América a finales del siglo XVII, es una de las frutas con mayor producción en los países tropicales, se considera uno de los frutos más finos y apreciados por los consumidores debido a sus compuestos bioactivos (Vilchez y cols., 2010). En el año 2016, México ocupó el quinto lugar de producción mundial con más de 1.88 millones de toneladas. El estado de Guerrero aporta el 23.4% de la producción nacional, ubicándolo como el primer productor de mango, lo que indica que este cultivo tiene gran importancia socioeconómica para Guerrero, ya que de esta actividad dependen directamente alrededor de 7,400 productores rurales e indirectamente, proveedores y otras personas que pueden

emplear su mano de obra (RDS AC, 2003). El municipio de San Marcos es el principal productor de mango de la Costa Chica de Guerrero, y se caracteriza por su alta producción de mango ataulfo, sin embargo, dentro de las problemáticas existentes de la cadena mango en Guerrero, se han registrado problemas referentes a la demanda de innovación y transferencia de tecnología (SAGARPA-SIAP, 2012).

La deshidratación es uno de los procesos más antiguos de preservación de frutas, debido a la mínima actividad de agua, los microorganismos no pueden proliferar y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas que pueden alterar a las frutas; El agua es uno de los componentes principales e importantes en la mayoría de los productos alimenticios. La deshidratación es una de las técnicas más antiguas de la historia para la conservación de alimentos; el deshidratado sobre todo en las zonas rurales, Es una técnica tradicional y además el equipo puede ser de bajo costo La calidad de una fruta deshidratada se evalúa por la cantidad de degradaciones físicas y bioquímicas que ocurren en ellas y depende de la temperatura, el tiempo de deshidratado y de la actividad de agua.

La deshidratación es una operación unitaria que combina el intercambio de calor y masa, teniendo como objetivo la reducción del agua disponible en el alimento, permitiendo así alargar la vida de anaquel de los alimentos. Diversos estudios, señalan que el proceso de deshidratación es una estrategia adecuada para la preservación de frutos, incluidos el mango, sin embargo, es necesario desarrollar estudios que permitan determinar el efecto del espesor del fruto sobre las propiedades sensoriales del alimento deshidratado.

La deshidratación solar es una técnica ancestral que utiliza la radiación solar para reducir el contenido de agua en los alimentos, prolongando así su vida útil sin comprometer sus nutrientes y propiedades sensoriales. Según estudios, esta práctica no solo preserva la calidad nutricional de los alimentos, sino que también minimiza el riesgo de contaminación microbiana, asegurando la seguridad alimentaria durante períodos prolongados de almacenamiento (Kader, 2003).

Desde tiempos antiguos, diversas civilizaciones han empleado métodos de deshidratación solar para asegurar el abastecimiento de alimentos en climas áridos y durante estaciones de escasez (Herrero, 2010). Este proceso se basa en el principio de aprovechar la energía solar para evaporar el agua de los alimentos de manera controlada, utilizando dispositivos simples como bandejas expuestas directamente a la luz solar (Hansen, 2017).

La deshidratación solar no solo es una técnica eficiente y de bajo costo para la preservación de alimentos, sino que también promueve prácticas sostenibles al reducir la dependencia de métodos convencionales de conservación que consumen energía (Arjona, 2015). A medida que aumenta la conciencia sobre la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, la deshidratación solar emerge como una opción viable para comunidades rurales y urbanas interesadas en la autosuficiencia y la reducción del desperdicio alimentario (Rincón et al., 2020).

En este contexto, este trabajo explora los principios, aplicaciones y beneficios de la deshidratación solar de alimentos, destacando su relevancia tanto histórica como contemporánea en la búsqueda de soluciones alimentarias sostenibles y accesibles para todos, por tal motivo con la siguiente tesis, se realiza un estudio comparativo de la deshidratación convencional con la deshidratación solar, para evaluar la eficiencia de cada uno de ellos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del proceso de deshidratación solar sobre las características nutrimentales y sensoriales del mango y la papaya en el estado de Guerrero para generar alimentos con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región.

2.2 Objetivos Particulares

1. Evaluar el efecto del proceso de deshidratación solar sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de mango y papaya del estado de Guerrero
2. Determinar la vida de anaquel y aceptación de mango y papaya deshidratada en las regiones de la costa chica y zona norte del estado de Guerrero.
3. Desarrollar y socializar metodología sobre la deshidratación solar de mango y papaya en el estado de Guerrero.

III.- HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General.

Mediante el proceso de optimización es posible encontrar las condiciones del proceso de deshidratación que proporcione las mejores las características nutrimentales y sensoriales del mango y papaya en el estado de Guerrero, contribuyendo así, a generar alimentos con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región.

3.2. Hipótesis Específicas.

1. El proceso de deshidratación de mango y papaya del estado de Guerrero genera un alimento con propiedades fisicoquímicas y sensoriales aceptables.
2. El mango y papaya deshidratado poseerá una vida de anaquel y aceptación por el consumidor adecuada en las regiones de la costa chica y zona norte del estado de Guerrero.
3. Es factible el desarrollar y socializar la metodología sobre la deshidratación solar de mango y papaya en el estado de Guerrero.

IV. JUSTIFICACION

El estado de Guerrero es el segundo productor de mango y el 6to de papaya en México, por su alto contenido de agua estos frutos tienen poca vida de anaquel lo cual conlleva a que sean productos que se desperdician en gran cantidad.

El estado de Guerrero cuenta con una irradiación solar promedio de 5.5 kW h/m²día (Rivera Martínez, et. al. 2018) es considerado como una gran cantidad de recurso solar que puede ser aprovechado para la deshidratación sin que esto genere altos costos.

Uno de los problemas que sufre la sociedad es el desperdicio de alimentos es por ello que la deshidratación solar se presenta como un proceso apropiado, eliminando total o parcialmente la humedad interior de los alimentos, también es uno de los más factibles pues los alimentos conservan la mayoría de los nutrientes, su sabor se concentra y se pueden conservar por mayor tiempo.

En el estado de Guerrero aún no existe un proceso estandarizado para la deshidratación solar de mango y papaya y es importante llevar a cabo estudios orientados hacia la obtención de métodos que sean sencillos de implementar, relativamente rápidos, económicos que contribuyan con la conservación de los alimentos.

VI. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE PAPAYA DESHIDRATADA EN SECADOR SOLAR DIRECTO

Ana Consuelo Bahena-Ortega^{a*}, José Luis Valenzuela-Lagarda^{a,b}, Elías Hernández-Castro^a, Yamilet Rodríguez-Lazcano^c, Enue Barrios-Salgado^c

^aMaestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la UAGro, Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

^bCentro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande, Carretera Cruz Grande-Ayutla de los Libres SN, Florencia Villarreal, Guerrero, México.

^cUniversidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" S/N, C.P. 63155, Tepic, Nayarit, México.

*E-mail de autor responsable: 21250121@uagro.mx

Recibido 15 de marzo 2022, Aceptado 28 de marzo 2022

6.1 RESUMEN

El estado de Guerrero es uno de los principales productores de mango, coco y papaya en México, gran parte de estos frutos no se comercializan por diversos factores como: la sobre producción, problemas fitosanitarios, bajo precio y falta de canales de comercialización, implicando grandes pérdidas económicas a los productores. Existen diversas alternativas de procesamiento como: la congelación, el enlatado y la deshidratación, este último, es una operación unitaria que consiste en la transferencia simultánea de calor y masa, que permite alargar la vida útil de los alimentos mediante la reducción de su contenido de agua. Dentro de las virtudes de este proceso se encuentra el preservar la calidad nutrimental del alimento, su versatilidad y reducir costos de almacenamiento y distribución. El objetivo del presente trabajo es deshidratar rebanadas de papaya (*Carica papaya L.*) con madurez de consumo de 4 mm y 6 mm mediante deshidratación solar directa, se evaluaron los siguientes parámetros físicos: curvas de secado y porcentaje de rehidratación y parámetros químicos como: pH, sólidos solubles totales (° Brix) y acidez titulable del producto en fresco. La papaya para deshidratar con madurez de consumo tuvo un pH de 5.2 ± 0.29 , sólidos solubles totales 9.68 ± 0.82 y una acidez titulable de 0.1536 %. La muestra que se deshidrató fue de 1 kg de producto en fresco, obteniéndose una pérdida de masa de casi el 90 % en el deshidratador solar directo el cual estaba expuesto a una radiación solar promedio de 514.98 W/m^2 y una máxima de 1153 W/m^2 ; con una temperatura media de $51 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 9 horas. El índice de rehidratación del producto deshidratado fue de $42.61 \pm 1.19 \%$ para la muestra de 4 mm y de $33.86 \pm 0.91 \%$ para la de 6 mm de espesor, las curvas de secado en deshidratadores solares demuestran que los tiempos de deshidratación son adecuados para efectuar este proceso, la deshidratación solar podría generar una calidad de producto aceptable a un costo relativamente bajo.

Palabras clave: deshidratación solar, madurez de consumo, porcentaje de rehidratación.

6.2. INTRODUCCIÓN

Perteneciente a la familia de las caricáceas, la papaya (*Carica papaya L.*) es originaria de las zonas tropicales de México y Centroamérica, crece y se desarrolla mejor en zonas cálidas y húmedas. Esta es fruto de los papayos, una planta herbácea de tallo carnoso, frágil, esponjoso y hueco de la parte central, llegando a medir hasta 9 m de altura y sus hojas hasta 80 cm de longitud [1]. Por sus cualidades médico-gastrointestinales es uno de los frutos de mayor demanda a nivel mundial, el cual se consume normalmente en fresco en rebanadas, sola o en coctel con otras frutas [2], [3].

México el cuarto productor de este fruto con 1 118 000 toneladas y principal exportador mundial. Los estados de mayor producción son Oaxaca, Colima, Chiapas, Veracruz, Michoacán y en el sexto lugar el estado de Guerrero con una producción anual de 48,444 toneladas en 2020, siendo el 57 % de cultivo por riego [3].

Entre las variedades más conocidas de este fruto están la Maradol, la amarilla, la roja y la amameyada; de forma periforme casi cilíndrica (10-25 cm o más de largo y 7-15 cm o más de diámetro), grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior, de color verde amarillento o anaranjado cuando esta madura, con numerosas semillas de color negro en su interior [1], [4]. En la papaya Maradol uno de los procesos de transformación puede ser el deshidratado para obtener papaya deshidratada como producto final o como materia prima seca para obtener otros productos como yogurt, mermeladas, cereales, etc. El procesamiento de este fruto es una alternativa para aprovechar cualquier exceso de producción, dando valor agregado al producto, al igual que se generarían empleos e ingresos [5].

El deshidratado se ha utilizado para mejorar la vida útil, reducir los costos de empaque, reducir los pesos de envío, mejorar la apariencia, encapsular el sabor original y mantener el valor nutricional [6], [7].

El deshidratado solar se vuelve una alternativa de conservación de alimentos reduciendo el riesgo de crecimiento de microorganismos, previene la infección por insectos y la contaminación por agentes extraños como el polvo, además de permitir conservar las

propiedades organolépticas de los alimentos como el color, sabor y apariencia de los productos [8].

Debido a la alta demanda de este fruto y a los altos costos de almacenamiento y distribución, en este trabajo se estudian las características fisicoquímicas de la papaya deshidratada en deshidratadores solares directo.

6.3. PARTE EXPERIMENTAL

6.3.1. MATERIA PRIMA

Se seleccionaron papayas (*Carica papaya L.*, cv Maradol) de acuerdo con el color del epicarpio, peso (1.5-2.5 kg) de forma alargada y buena condición física. Los frutos se cosecharon en el municipio Florencio Villarreal, Guerrero (16°41'05.2" Latitud Norte y 99°08'07.4" Longitud Oeste); directamente de la planta mediante la percepción visual del color del epicarpio (50 % rojo-naranja) y se cuantificaron las características fisicoquímicas correspondientes al estado de madurez de consumo (RST5) [9]. Para cada uno de los experimentos se utilizó una muestra de 1000 g de rodajas con espesores de 4 y 6 mm por triplicado.

6.3.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las papayas fueron lavadas con agua y jabón, después enjuagadas con agua clorada al 5 %, posterior a ello se eliminó el exceso de agua empleando papel secante. Se almacenaron a 25 °C hasta alcanzar un estado de madurez de consumo RST5.

Las papayas maduras fueron peladas de manera manual, se partieron a la mitad y se le quito toda la semilla, posteriormente se empleo una rebanadora eléctrica (Torrey RB-300), para rebanar la papaya en rodajas de 4 y 6 mm de espesor, estas fueron colocadas en rejillas para su deshidratación en un secador solar directo con circulación de aire forzada fabricado en el Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande de la Universidad Autónoma de Guerrero.

6.3.3 CURVAS DE SECADO

Las rodajas de papaya fueron colocadas en las rejillas para ser deshidratadas en el deshidratador solar directo, los parámetros de temperatura y radiación solar fueron medidos durante la deshidratación. Para generar las curvas de secado se registró la pérdida de masa de la muestra cada 30 min, durante 9 horas. La curva de secado se evaluó con la siguiente ecuación [6 capítulo 2], :

$$X = \frac{m_{sw} - m_s}{m_s} \quad \text{Ecuación 1}$$

Esta correlación indica que, con un conocimiento de la masa húmeda seca (m_{sw}) en función del tiempo [$m_{sw} = m_{sw}(t)$] y de la masa completamente seca de la muestra (m_s), es posible trazar el contenido de humedad de la muestra. en función del tiempo.

6.3.4. CAMBIO DE COLOR DEL MESOCARPIO

Para medir los cambios de color en las muestras frescas y deshidratadas se usó un colorímetro triestímulo marca CHN Spec modelo CS-10. Se realizaron las mediciones en el sistema LAB a 3 muestras en fresco tomando medidas en tres puntos diferentes: en el centro y en los dos lados opuestos de la rodaja de papaya; registrando los valores de L, a y b; los mismos parámetros fueron evaluados en las mismas muestras deshidratadas. El cambio de color en el producto deshidratado se expresó como el diferencial de color con ayuda de la siguiente ecuación [10]:

$$\Delta E = \sqrt{[(L_s - L_f)^2 + (a_s - a_f)^2 + (b_s - b_f)^2]} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde ΔE es la diferencia de color; L_s y L_f luminosidad en muestra seca y fresca; a_s y a_f coordenada verde-rojo en muestra seca y fresca; b_s y b_f coordenada azul-amarillo en muestra seca y fresca.

6.3.5. ÍNDICE DE REHIDRATACIÓN

Las rodajas de papaya deshidratadas fueron sumergidas en agua caliente (50 °C) durante 10 min, se retiraron y colocaron en papel secante para retirar el exceso de agua. Para

determinar el porcentaje de agua absorbida se utilizó la siguiente ecuación [11]:

$$\% R = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde m_i es masa inicial deshidratada y m_f masa final hidratada.

6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.4.1. PARÁMETROS QUÍMICOS

El pH de la papaya utilizada fue de 5.2 ± 0.29 , el cual es un valor menor al neutral indicando características acidas de la fruta; este valor varía dependiendo de la maduración de la fruta en un rango de 4.3-6.0 [9], [12].

Los sólidos solubles totales en la fruta a deshidratar fue de 9.68 ± 0.82 , para papayas silvestres se ha reportado un rango de 8.0-13.5 y para la Maradol de 8-11.5 de sólidos solubles totales [12].

La acidez titulable de la pulpa de la papaya fue de 0.15 ± 0.01 %, en general esta varía de 0.12-0.15 % y se recomienda para personas con gastritis y úlceras gástricas [12]. La acidez titulable aumenta con la maduración del fruto, siendo su punto máximo hasta que la papaya tiene un 75 % de piel amarilla-naranja y después empieza a disminuir [9].

6.4.2. PARÁMETROS FÍSICOS

Las curvas de secado de las rodajas de papaya se muestran en la figura 1, donde se muestra el contenido de humedad de las muestras para los espesores de 4 y 6 mm, se observa que el proceso de deshidratación es más rápido en las rodajas de 4 mm, como se esperaba por ser de un espesor menor. Después del periodo de adaptación de la muestra en el secador, las curvas de secado presentan la deshidratación a tasa constante desde las 9:00 am a las 12:00 pm y de las 9:00 am a las 12:30 pm para la muestra de 4 y 6 mm respectivamente, con $X = 2.3$ y 2.53 . Enseguida se observa el primero y segundo periodo a tasa decreciente, tal como lo describe Geankoplis [13].

Ocoró-Zamora y Ayala-Aponte presentan un resultado similar en deshidratado por tecnología de ventana de refractancia (RW^{TM}) de puré de papaya con distintos espesores (2, 3 y 4 mm) [14]. El contenido de humedad inicial del puré de papaya que ellos presentaron fue de $8.2262 \pm 0.4519 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$, mientras que para las rodajas de papaya en este estudio fue de $9.9457 \pm 0.23 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$ para ambos espesores. En cubos de papaya de 1 cm, secado con secadores con bomba de calor con diferentes atmosferas (N_2 , CO_2 y aire) reportaron un contenido de humedad inicial cerca de $10 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$ [15]; también similar para cubos de 2 cm secados al vacío por microondas [16].

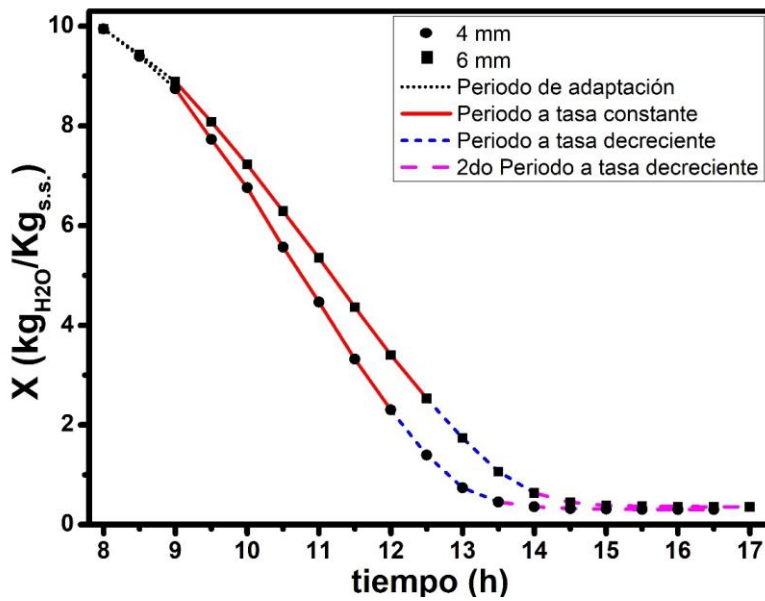


Figura 1. Curvas de secado de rebanadas de papaya

Por lo general, los procesos térmicos cambian el color original de los productos, especialmente en alimentos como frutas y verduras que contienen mucha agua, carbohidratos, proteínas y fracciones de lípidos. Estos compuestos se modifican fácilmente en condiciones de secado a alta temperatura y dan como resultado la degradación de la calidad de los alimentos [6]. El secado también cambia el sabor y, a menudo, la apariencia de un alimento. La aceptación de ese cambio varía según el usuario final.

En la Figura 2 se observan las muestras en fresco, deshidratadas y rehidratadas, en donde los cambios de color total en las rodajas de papaya deshidratadas fueron de 8.82 ± 1.93 y 5.46 ± 1.67 para los espesores de 4 y 6 mm, respectivamente. Y en muestras rehidratadas los cambios de color fueron de 9.85 ± 3.98 y 6.2 ± 3.47 , para 4 y 6 mm, respectivamente. Valores mucho más pequeños que los obtenidos en cubos de 1 cm secados con secadores con bombas de calor con atmosfera de aire en el cual el ΔE fue de 20 [15].

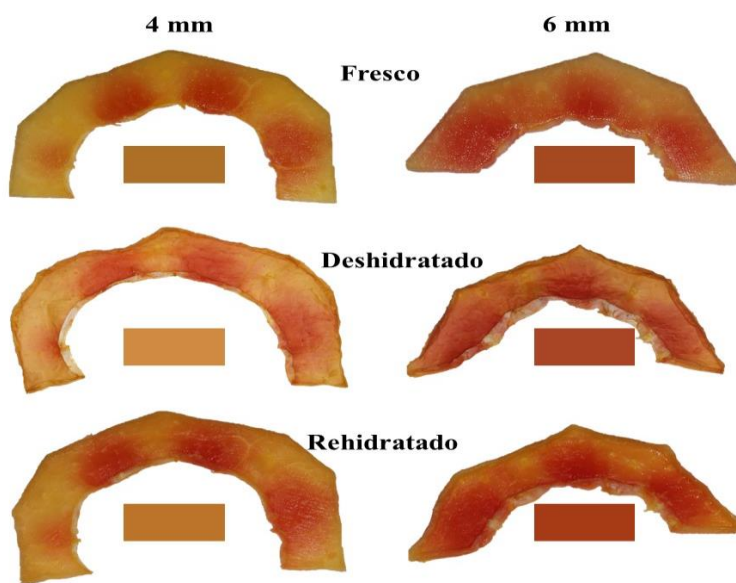


Figura 2. Rodajas de papaya en fresco, deshidratadas y rehidratadas de 4 y 6 mm de espesor.

La rehidratación es el proceso que se utiliza para restaurar las propiedades de la materia prima cuando fue deshidratada. Cuanto más porosos son los productos deshidratados más rápido se rehidratan y la velocidad cambia con respecto a la temperatura del agua [17]. La capacidad de rehidratación en papaya no se ve afectada por la temperatura [15]. En las rodajas de 4 y 6 mm el porcentaje de rehidratación a 50 °C fue de 42.61 ± 1.19 y 33.84 ± 0.91 , respectivamente. Este comportamiento puede deberse al hecho de que a espesores mayores es menor el daño celular en el alimento.

6.5. CONCLUSIONES

Las curvas de secado en deshidratadores solares demuestran que los tiempos de deshidratación son adecuados para efectuar este proceso. Las muestras con 6 mm de espesor conducen a una mejor apariencia física, debido a que el cambio de color es menor que al de la muestra de 4 mm, siendo de 5.46 ± 1.67 y 8.82 ± 1.93 respectivamente. El porcentaje de rehidratación es mayor en los espesores de 4 mm, lo que se debe a un daño celular mayor debido al proceso de secado. La deshidratación solar podría generar una calidad de producto aceptable a un costo relativamente bajo.

6.5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a los productores de papaya del Municipio Florencio Villarreal por el apoyo brindado en la recolección del fruto de papaya, al Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande por el uso de sus instalaciones para el procesamiento del fruto y a la Dra. Ana Rosa Garcia Angelmo por su apoyo en la deshidratación solar.

6.6. REFERENCIAS

- [1]S. P. Singh y D. V. Sudhakar Rao, «Papaya (*Carica papaya L.*) », en *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, Elsevier, 2011, pp. 86-126e. doi: 10.1533/9780857092618.86.
- [2]J. A. Alcántara Jiménez, C. Aguilar Carpio, S. Leyva Bautista, y Á. O. Alcántara Nazario, «Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica», *Remexca*, vol. 10, n.º 3, pp. 575-584, may 2019, doi: 10.29312/remexca.v10i3.1498.
- [3]Servicio de información agroalimentaria y pesquera, «Panorama agroalimentario 2021», Edición 2021, 2021.
- [4]C. H. Wijaya y F. Chen, «FLAVOUR OF PAPAYA (*Carica papaya L.*) FRUIT», vol. 20, n.º 1, p. 22, 2013.

[5]S. P. M. Germer, C. C. Ferrari, J. P. Lancha, S. A. G. Berbari, S. M. Carmello-Guerreiro, y C. R. G. Ruffi, «Influence of Processing Additives on the Quality and Stability of Dried Papaya Obtained by Osmotic Dehydration and Conventional Air Drying», *Drying Technology*, vol. 32, n.º 16, pp. 1956-1969, dic. 2014, doi: 10.1080/07373937.2014.924963.

[6]A. S. Mujumdar, «Handbook of Industrial Drying», p. 1279, 2006.

[7]J. Barragán-Iglesias, J. Rodríguez-Ramírez, S. S. Sablani, y L. L. Méndez-Lagunas, «Texture analysis of dried papaya (*Carica papaya L.*, cv. Maradol) pretreated with calcium and osmotic dehydration», *Drying Technology*, vol. 37, n.º 7, pp. 906-919, may 2019, doi: 10.1080/07373937.2018.1473420.

[8]K. Rajarajeswari, K. V. Sunooj, y A. Sreekumar, «Thermal Investigation and Food Quality Analysis on a Solar Tunnel Drier», *Curr Sustainable Renewable Energy Rep*, vol. 3, pp. 108-112, 2016, doi: 10.1007/s40518-016-0051-3.

[9]J. Barragán-Iglesias, L. L. Méndez-Lagunas, y J. Rodríguez-Ramírez, «Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (*Carica papaya L.* cv. Maradol) during ripening on-tree», *Scientia Horticulturae*, vol. 236, pp. 272-278, jun. 2018, doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.012.

[10]Pilar Dolz Zaera, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FRUTO EN MANZANO: ESTUDIO DE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS DE ANÁLISIS», Ingeniero Técnico Agrícola, Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina Zaragoza, 2008.

[11]S. Kerdpiboon y S. Devahastin, «Fractal Characterization of Some Physical Properties of a Food Product under Various Drying Conditions», *Drying Technology*, vol. 25, n.º 1, pp. 135-146, feb. 2007, doi: 10.1080/07373930601160973.

[12]J. R. Cabello, Y. D. Hernández, y A. P. González, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y EL RENDIMIENTO EN PAPAYA SILVESTRE (*Carica papaya L.*) DE CUBA», vol. 35, n.º 3, p. 10, 2014.

[13]C. J. Geankoplis, *Transport processes and unit operations*, 3. ed. London: Prentice-Hall Internat, 1993.

[14]M. U. Ocoró-Zamora y A. A. Ayala-Aponte, «INFLUENCIA DEL ESPESOR EN SECADO DE PURÉ DE PAPAYA (*Carica Papaya L.*) POR TECNOLOGÍA DE VENTANA DE REFRACTANCIA®», p. 8, 2013.

[15]M. N. A. Hawlader, C. O. Perera, M. Tian, y K. L. Yeo, «Drying of Guava and Papaya: Impact of Different Drying Methods», *Drying Technology*, vol. 24, n.º 1, pp. 77-87, feb. 2006, doi: 10.1080/07373930500538725.

[16]N. A. Zaki, I. I. Muhamad, y L. Salleh, «DRYING CHARACTERISTICS OF PAPAYA (*CARICA PAPAYA L.*) DURING MICROWAVE-VACUUM TREATMENT», *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, p. 7, 2007.

[17]M. K. Krokida y C. Philippopoulos, «Rehydration of Dehydrated Foods», *null*, vol. 23, n.º 4, pp. 799-830, abr. 2005, doi: 10.1081/DRT-200054201.

VII. EFECTO DEL TIPO DE DESHIDRATADOR SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE RODAJAS DE MANGO CV. 'ATAULFO'

Ana C. Bahena Ortega ^a, Natividad D. Herrera Castro ^b, Elías Hernández Castro ^a, José L. Valenzuela Lagarda ^a, Francisco Palemón Alberto ^c Ana R. García Angelmo ^{*d}

^a Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, C.P.41101 México.

^b Instituto de Investigación, Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Guerrero, CU Sur. Av. Lázaro Cárdenas s/n interior de Jardín Botánico, Chilpancingo, Guerrero, C.P. 39087, México.

^d Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Cruz Grande-Ayutla de los Libres SN, Florencio Villarreal, Guerrero, C.P. 41800, México.

^c Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Periférico Poniente s/n. Colonia Villa de Guadalupe, Iguala de la Independencia, Guerrero, CP.40010, México.

[@uagro.mx](mailto:info@uagro.mx)

7.1 Resumen

El estado de Guerrero ocupa el segundo lugar a nivel nacional en producción de mango, algunos productos derivados del mango son jugos, néctares, mermeladas, aceites, cremas y mango deshidratado, siendo esta última una de las alternativas más antiguas y populares de conservación de alimentos, durante este proceso se elimina parcial o totalmente el líquido de los alimentos, lo que garantiza la estabilidad del producto y minimiza los cambios químicos y físicos, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del tipo de deshidratador sobre las propiedades fisicoquímicas de rodajas de mango Ataulfo del municipio de San Marcos del estado de Guerrero, para generar un producto con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos: curvas de secado, porcentaje de rehidratación, porcentaje de encogimiento, diferencia de color, pH, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), firmeza y acidez titulable. El mango para deshidratar se encontraba en madurez de consumo con un pH de 4.7 ± 0.11 , los sólidos solubles totales fueron $17.6 \pm 2.5^{\circ}$ Brix, y tenía una firmeza de 6 ± 0.49 , y una acidez titulable de 0.179, se ocuparon 1000 g de fruta fresca como unidad experimental teniendo una pérdida promedio de 77.18% para el espesor de 4mm, 78.47% para el espesor de 6mm y 76.93% para el espesor de 8mm, el índice de rehidratación más alto fue para el espesor de 4mm en el secador solar directo teniendo un 220.65% de rehidratación los tiempos de secado fueron diferentes en los tres tipos de

secadores y para cada espesor sin embargo utilizando secadores solares se obtiene un mango seco con muy buenas características organolépticas y es una opción viable para aprovechar el mango Ataulfo generando un producto con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región Costa Chica del estado de Guerrero.

Palabras clave: Secadores solares; mango Ataulfo; curvas de secado; propiedades fisicoquímicas; rehidratación

7.2 Introducción

El mango (*Mangifera indica L.*) es originario del sureste de Asia y se ha expandido a todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo [1]. En México, las variedades más populares que se producen son Ataulfo, Kent, Keitt, Tommy Atkins, Hadde y el Manila [2]. El mango Ataulfo, es originario de México y ha destacado por su sabor, olor y textura, es succulento, de forma oval, semilla delgada y abundante pulpa [3]. Es una variedad con alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, en comparación con otras variedades puede ser considerado un alimento funcional natural, el consumo regular puede prevenir varias enfermedades crónicas, cardiovasculares y algunos tipos de cáncer [4]. En el mundo, se cultivan 40 millones de toneladas de mango y ocupa el quinto lugar en cultivos. Países como India, Brasil, China, Tailandia, Egipto, Indonesia, México, Pakistán, Filipinas y Vietnam son líderes del mercado del mango a nivel mundial [5]. En México, se produce cerca de 1.91 millones de toneladas de mango. Los principales estados productores son: Sinaloa (397, 780 t.), Guerrero (390,751 t.), Nayarit (322, 155 t.) y Chiapas (268, 374 t.) [6].

El desperdicio de frutas como el mango se debe a la alta tasa de hematomas, pérdida de agua y posterior pudrición durante el manejo poscosecha [7]. Además, su maduración se acelera durante los meses calurosos de verano [5]. En el 2017 México reporto 10.4 millones de toneladas de desperdicio alimentario del cual 5.4% fue de mango [8]. Existen varios productos derivados del mango como son jugos, néctares, mermeladas, aceites, cremas y mango deshidratado [9]. La deshidratación solar es una de las alternativas más antiguas y populares de conservación de alimentos, ha evolucionado desde sus inicios a la fecha. Durante el proceso de deshidratación, se elimina parcial o totalmente el líquido de los alimentos, lo que garantiza la estabilidad del producto y minimiza los cambios químicos y

físicos. Existen diferentes métodos de secado: sol natural, solar túnel, gabinete mecánico, liofilización, horno de secado, entre otros, algunos métodos como el de secado al vacío por microondas y liofilización son costosos debido a las altas demandas de energía. Mientras que, para el secado solar, se utilizan equipos que captan la radiación del sol. La técnica de secado solar destaca por la nula dependencia de los combustibles fósiles y se considera amigable con el medio ambiente [9] [10].

Los frutos deshidratados en secadores solares tienen mayor calidad organoléptica, lo que le confiere características de calidad al producto final [9]. Debido a la importancia económica y alimentaria del mango, en este trabajo se pretende evaluar el efecto del tipo de deshidratador sobre las propiedades fisicoquímicas de rodajas de mango Ataulfo del municipio de San Marcos del estado de Guerrero, para generar un producto con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región.

7.3. Materiales y métodos

7.3.1 Recolección de mango

Se recolectaron 30 kg de mango de la variedad Ataulfo en madurez de consumo, el peso de cada mango fue entre 150 y 250 g cada uno en cajas de madera, en una huerta ubicada en las coordenadas 16°41'17.6"N 99°15'11.0"W de la comunidad de Altos de Ventura municipio de San Marcos, Guerrero, México. Las muestras de mango Ataulfo se llevaron al laboratorio de Bioquímica del Centro Regional de Educación Superior campus Costa Chica de la UAGRO ubicado en las siguientes coordenadas 16°44'03.2"N 99°07'46.6"W para su procesamiento. Una vez en el laboratorio, se lavaron los mangos con agua de la llave y jabón, y posteriormente se desinfectaron con agua purificada y cloro al 5%, el excedente de agua se les retiró con servitoallas. Finalmente, se almacenaron a temperatura ambiente hasta que llegaron a su madurez de consumo.

7.3.1 Preparación de la muestra y medición de parámetros fisicoquímicos

Se pesaron tres kg de mango Ataulfo maduro para cada prueba de secado y medición de parámetros fisicoquímicos. Para determinar la firmeza del mango se eligieron cuatro mangos

Comentado [E1]: Especificar en qué etapa de madurez se colectaron los mangos y de qué peso aproximadamente fueron

Comentado [a2R1]:

Comentado [a3R1]:

se les realizó una incisión con un cuchillo en tres puntos diferentes. En cada incisión se introdujo un penetrómetro manual (SF-500) empleando una punta cónica.

Se eligieron cinco mangos al azar y se pelaron. A cada mango se le cortó una rebanada pequeña de 10g aproximadamente. Posteriormente, las rebanadas se colocaron en una coladera junto con una tela filtrante en un vaso de precipitado y se le extrajo jugo con una cuchara. El jugo extraído se revolvió y se colocaron de dos a tres gotas en la pantalla del refractómetro manual con apreciación 0 – 36 % Sper Scientific para medir los Sólidos Solubles Totales (SST). El jugo restante, se usó para medir el pH con un potenciómetro SM-25CW SCIENCE MED.

Para medir la Acidez Titulable (AT) se pesaron 10g de muestra de los mangos y se molieron con 50 ml de agua neutralizada con NaOH, posteriormente en un embudo y con una tela se filtró

el líquido resultante. Enseguida, se colocaron 25 ml del jugo en dos matraces junto con 3 gotas de fenolftaleína, seguido de una titulación con NaOH al 1N. El contenido de ácido se reportó en % de ácido cítrico y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Ácidoz Titulable} = \frac{(\text{ml gastados de NaOH})(\text{normalidad del NaOH})(0.064)}{\text{ml de jugo utilizado}} * 100$$

Ecuación 1

7.3.2. Curvas de secado

Se realizaron pruebas de secado utilizando rebanadas frescas de mango con espesores de 4, 6 y 8 mm. Para obtener las rebanadas de dichos espesores se utilizó una rebanadora eléctrica (Torrey RB-300) las rebanadas se colocaron en charolas para ponerse a deshidratar en tres tipos de secadores, un convencional eléctrico marca STAINLESS STEEL DEHYDRATADOR (E), un secador solar directo con circulación de aire forzada(S.D) y un secador solar indirecto(S.I), los secadores solares cuentan con un sistema integrado de medición de temperatura y radiación, los secadores solares fueron fabricados en el Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande de la Universidad Autónoma de Guerrero. Las curvas de secado se realizaron con el registro de la pérdida de peso de la

muestra cada media hora en una báscula hasta que dejaron de perder peso. Dichas curvas se evaluaron con la siguiente ecuación [11]:

$$X = \frac{m_{sw} - m_s}{m_s} \quad \text{Ecuación 2}$$

7.3.3. Porcentaje de rehidratación

Para obtener el porcentaje de rehidratación se colocaron 250 ml de agua en cada vaso de precipitado los cuales se mantuvieron a temperatura de 60 °C en un baño María (civeq HH-2), se introdujeron las rebanadas de mango deshidratadas durante 90 min, los primeros 30 min la muestra se pesó cada cinco min, los posteriores 60 se pesó cada 10 min, en cada medición las muestras se colocaron en toallas absorbentes para quitar el exceso de agua superficial. Se determinó cuánta agua absorbió cada rebanada de mango mediante la ecuación [12]:

$$\% R = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde m_i es masa inicial deshidratada y m_f masa final hidratada.

7.3.4. Porcentaje de encogimiento

Se introdujeron rebanadas de cada espesor en el secador y cada hora se retiraba una muestra de cada espesor para medir su volumen en probetas de 50 ml., El índice de encogimiento se calculó mediante la siguiente ecuación [12]:

$$IE = \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

i = Inicial (fresca)

f = Final (deshidratada)

7.3.5. Diferencia de color

Se empleó un colorímetro triestímulo marca CHN Spec (CS-10) para la evaluación de las muestras, se realizaron tres disparos en la superficie de tres rodajas frescas de mango, registrando los valores de L, a y b; se midieron los mismos parámetros en las muestras deshidratadas. Para determinar el cambio de color en la fruta se utilizó la siguiente fórmula [13]:

$$\Delta E = \sqrt{[(L_s - L_f)^2 + (a_s - a_f)^2 + (b_s - b_f)^2]} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde ΔE es la diferencia de color; L_s y L_f luminosidad en muestra seca y fresca; a_s y a_f coordenada verde-rojo en muestra seca y fresca; b_s y b_f coordenada azul-amarillo en muestra seca y fresca.

7.3.6. Diseño de experimento y análisis estadístico

El diseño experimental fue bifactorial, teniendo como F1: tipo de deshidratador (1: solar directo, 2: solar indirecto y 3: eléctrico) F2: el espesor de la muestra, con tres niveles (N1: 4 mm, N2: 6 mm y N3: 8 mm) y como variables de respuesta: velocidad de secado, color, encogimiento y rehidratación. Para cada uno de los experimentos se utilizó como unidad experimental 1000 g de muestra, con 3 repeticiones. Cuando el análisis de varianza resultó significativo ($p \leq 0.05$), se realizó una comparación de medias aplicando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$ y IC=95%), mediante el empleo de programa Excel.

7.4. Resultados y discusión

La textura del mango cambia de acuerdo con el grado de maduración es por ello por lo que la firmeza de los mangos que se utilizaron para las pruebas de secad fue de 6 ± 0.49 lib.

Los sólidos solubles totales del mango varían de acuerdo con el grado de maduración que esté presente, para las pruebas realizadas el mango a deshidratar presento $17.6 \pm 2.5^\circ$ Brix,

mientras que el pH del mango utilizado fue de 4.7 ± 0.11 y la acidez titulable de la pulpa del mango fue 0.179.

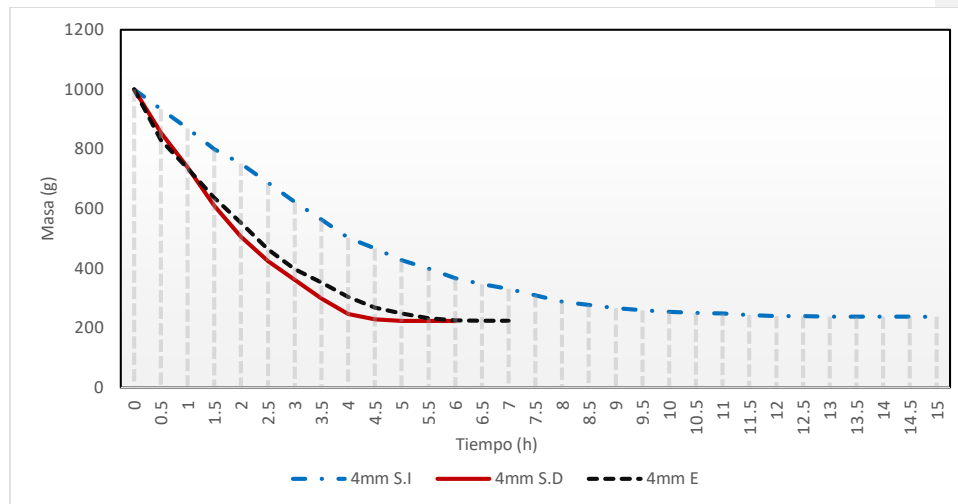


Figura 1. Curvas de secado de rebanadas de mango de 4mm de espesor en los tres tipos de secadores

En la Figura 1 se representa la variación de la pérdida de peso de las rebanadas de mango Ataulfo de 4mm de espesor en los tres diferentes tipos de secadores en función del tiempo, donde se observa que las rebanadas de mango en el secador solar indirecto (S.I) pierden el 76.26% y es a hasta las 15 horas que obtienen un peso constante, mientras que en el secador solar directo (S.D) pierden un 77.7% de peso y en seis horas y media llegan a un peso constante y en el secador eléctrico (E) se pierde el 77.6% y en siete horas mantienen un peso constante, por lo tanto se puede observar que la pérdida de peso de las rebanadas de mango es muy similar en los tres secadores, y respecto al tiempo la diferencia en el secador solar indirecto es 230% más tiempo respecto al secador solar directo y 215% más tiempo respecto al secador eléctrico.

Comentado [E4]: La norma de la revista especifica que los títulos de las figuras vayan con el tipo de letra más pequeña

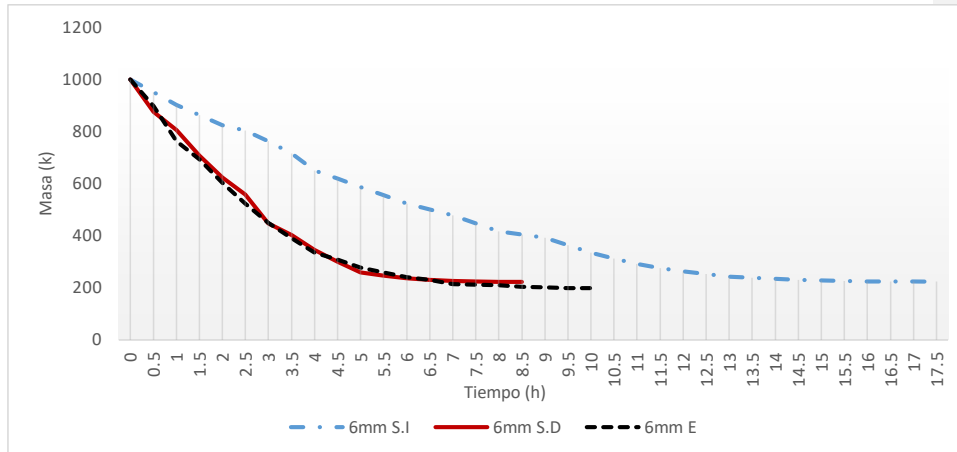


Figura 2. Curvas de secado de rebanadas de mango de 6mm de espesor en los tres tipos de secadores

En la Figura 2 se muestran los resultados de la pérdida de peso de las rebanadas de mango Ataulfo de 6mm de espesor en los tres tipos de secadores en función del tiempo, en el secador solar indirecto (S.I) se perdió un 77.63% del peso y fue hasta las 17.5 horas donde se obtuvo un peso constante, en el secador solar directo (S.D) se perdió un 77.7% de peso y fue en ocho horas y media donde se mantuvo el peso constante, mientras que en el secador eléctrico (E) se perdió un 80.1% y fue hasta las diez horas donde obtuvo peso constante, la pérdida de peso en los tres secadores es muy similar, pero en cuestión de tiempo en el solar indirecto el tiempo se prolonga 106% más respecto al solar directo y 75.5% más que en el caso del secador eléctrico.

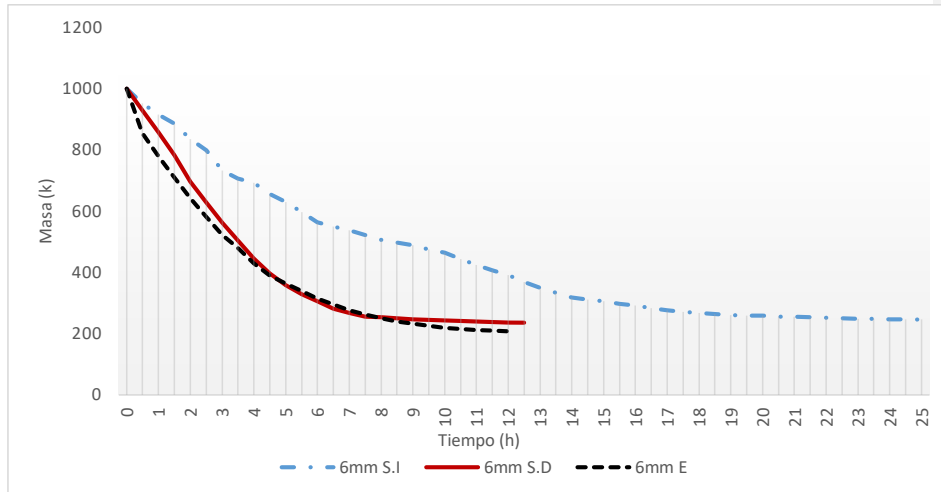


Figura 3. Curvas de secado de rebanadas de mango de 8mm de espesor en los tres tipos de secadores

En la Figura 3 se presentan los resultados de la pérdida de peso de las rebanadas de mango Ataulfo de 8mm de espesor en los tres tipos de secadores en función del tiempo, y se puede observar que en el secador solar indirecto (S.I) el peso de las rebanadas disminuyó un 75.39% de peso llegando a un peso constante en 25 horas, en el secador solar directo perdieron un 76.4% de peso y en 12.5 horas llegaron a su peso constante, mientras que en el secador eléctrico perdieron un 79% de su peso y en 12 horas llegaron a un peso constante, la pérdida de peso en este espesor de rebanada es muy similar en los tres secadores lo que se observa nuevamente es la prolongación del tiempo en el secador solar indirecto donde se observa un 195% más respecto al secador solar directo y un 209% más en comparación con el secador eléctrico.

De acuerdo a los resultados mostrados en las Figura 1, 2 y 3 donde se muestran las variaciones del peso de la muestra de 1000 g de mango Ataulfo en los diferentes espesores y en cada tipo de secador durante el experimento se observa que el peso comienza a disminuir de forma progresiva en cada muestra hasta que alcanza la humedad de equilibrio y el peso se mantiene constante como lo menciona [14] en su publicación del 2017 donde realizó un experimento

con una muestra de 21.2 g de mango Aaulfo donde a partir de las 14:00 h las disminuciones son más pequeñas, hasta que a las 17:00 h se alcanza la humedad de equilibrio y el peso se mantiene constante.

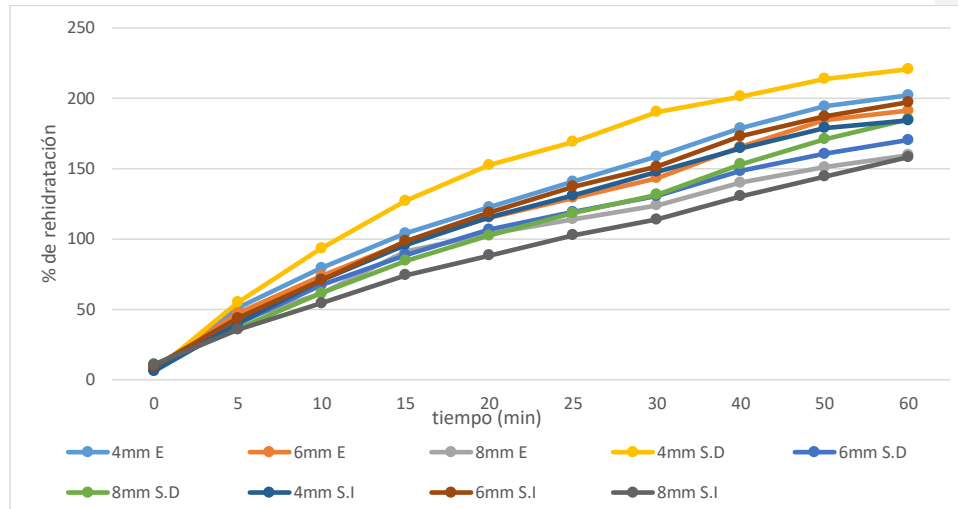


Figura 4. Porcentaje de rehidratación de rebanadas de mango Aaulfo de 4, 6 y 8 mm de espesor en los tres tipos de secadores

En la Figura 4 se observa la el porcentaje de rehidratación de las rebanadas de mango de 4, 6 y 8 mm de espesor en los tres diferentes tipos de secadores que se utilizaron y se observa que el espesor que mayor porcentaje de rehidratación es el de 4mm del solar directo teniendo un 220.65% de rehidratación, seguido del espesor de 4mm en el secador eléctrico con 202.13%, y el espesor que menor porcentaje tuvo fue el de 8mm en el secador solar indirecto siendo 158.16% lo cual crea una diferencia de 135.5% entre el espesor con mayor porcentaje de rehidratación.

En el estudio realizado por [15] donde evalúan el comportamiento del coeficiente de rehidratación del mango deshidratado con varios tratamientos donde obtuvieron un bajo porcentaje de rehidratación comparado con los resultados que se obtuvieron en este trabajo y se coincide que la rehidratación es mayor en los productos secados con aire caliente sin

pretratamiento debido a que las muestras osmodeshidratadas y sometidas a secado presentan una menor porosidad.

Tabla 1. porcentaje de encogimiento de las rebanadas de mango Ataulfo en los espesores de 4, 6 y 8 mm en los tres diferentes tipos de secadores

	Espesor de la rebanada	Porcentaje de encogimiento
Solar directo	4	23.9
	6	28.89
	8	25.41
Solar indirecto	4	21.72
	6	17.95
	8	24.17
Eléctrico	4	20
	6	23.81
	8	25

El porcentaje de encogimiento en las diferentes muestras realizadas concuerda con los resultados obtenidos por [16] donde menciona que la pérdida de volumen se atribuye a la pérdida de humedad durante el secado lo que genera que la pérdida de agua y el calentamiento causan estrés en la estructura celular de los alimentos, lo que genera un cambio en la forma y disminución en la dimensión.

Tabla 2. Color de la pulpa de mango Ataulfo al momento del proceso, en rebanadas de 4, 6 y 8mm de espesor en los tres tipos de secadores

4mm secador eléctrico	4mm secador solar directo	4mm secador solar indirecto

parámetro	fresco	seco	fresco	seco	fresco	seco
L	32.34 ± 2.5	28.05 ±2.7	52.56±4.72	55.91±4.25	57.82 ±4.33	55.72 ±4.53
a	21.85 ±3.33	29.93 ±2.65	13.13±2.08	21.09±1.94	13.47 ±0.83	18.01 ±2.10
b	18.87 ±1.91	20.18 ±2.43	60.58±5.33	55.52±5.72	59.70 ±5.048	54.78 ±6.70
6mm secador eléctrico			6mm secador solar directo		6mm secador solar indirecto	
parámetro	fresco	seco	fresco	seco	fresco	seco
L	31.97 ± 2.86	28.39 ± 2.5	55.37±3.95	52.45±4.65	59.37 ±2.32	53.91 ±4.39
a	19.09 ± 2.39	29.62 ± 2.42	14.92±1.26	20.58±1.73	14.47 ±1.19	19 ±1.67
b	18,59 ± 2.74	22.44 ± 3.47	64.26±4.54	49.37±8.68	62.77 ±3.08	50.97 ±6.69
8mm secador eléctrico			8mm secador solar directo		8mm secador solar indirecto	
parámetro	fresco	seco	fresco	seco	fresco	seco
L	36.42 ± 1.51	30.61 ± 2.34	52.93±5.85	48.77±5.24	57.86 ±4.95	52.96 ±5.97
a	16.78 ± 1.48	25.79 ± 2.26	13.60±2.14	21.02±2.46	13.04 ±2.42	20.84 ±2.74
b	22.24 ± 2.3	23.12 ± 2.03	59.51±5.57	49.69±10.10	57.38 ±4.04	49.73 ±7.78

En la Tabla 2 se presentan los resultados de color de las rebanadas de mango en fresco y en seco en los tres espesores y en los tres tipos de secadores y se puede observar que el color varía dependiendo el espesor tanto en fresco como en seco

De acuerdo a lo publicado por [15] donde menciona que el color es un fenómeno que depende del observador y de las condiciones en que se mira, y donde se midieron los mismos parámetros L, a y b se menciona que para los parámetros (L y a) no existe diferencia significativa en los tratamientos que se utilizaron en sus muestras y en el parámetro (b) existen diferencias significativas entre pretratamientos y temperaturas, mientras que para los resultados obtenidos en este trabajo se observa que los parámetros (L, a y b) varían de acuerdo al espesor de la rebanada puesto que en este caso no se aplicó ningún tratamiento.

7.5. Conclusiones

Se realizaron pruebas experimentales en rebanadas de mango Ataulfo en espesores de 4, 6 y 8mm de espesor en tres diferentes tipos de secadores para evaluar el efecto del tipo de deshidratador sobre las propiedades fisicoquímicas de rodajas de mango Ataulfo las pruebas experimentales fueron de 1000g por espesor en cada tipo de secador y siendo los resultados diferentes para cada muestra determinado que el secador solar directo tiene una eficiencia en tiempo de secado similar al secador eléctrico, las rebanadas de mango de 4mm de espesor son las que menor tiempo tardan en deshidratarse, y siendo ese mismo espesor en el secador solar directo el que alcanza un mayor porcentaje de rehidratación, las rodajas con menor porcentaje de encogimiento fueron las deshidratadas en el secador solar directo, lo cual hace que se obtenga un mango seco con muy buenas características organolépticas y es una opción viable para aprovechar el mango Ataulfo generando un producto con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región Costa Chica del estado de Guerrero.

7.6. Agradecimientos

A la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local por permitirme realizar mis estudios en sus instalaciones, a CONACyT por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría, al Centro Regional de Educación Superior de la Costa Chica por su apoyo en el uso de las instalaciones para la realización de las pruebas experimentales y a los productores de mango del municipio de San Marcos Guerrero por la donación de la materia prima.

7.7. Bibliografía

- [1] V. Pérez , M. Herrero y J. I. Hormaza, «Different factors involved in the low fruit set of mango (*Mangifera indica*),» *Acta Horticulturae*, vol. 1231, n° 8, pp. 43-48, 2019.
- [2] «Secretaría de agricultura y desarrollo rural,» 3 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico>.
- [3] C. Mendoza Hernández , R. Rosas Quijano, A. Vazquez Ovando y D. Gálvez López , «Retos y controversias del mango Ataulfo,» *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, vol. 11, n° 7, 2020.
- [4] A. E. Quirós Saucedo, C. Y. Oliver Chen, J. B. Blumberg, H. Astiazaran García , A. Wall Medrano y G. A. González Aguilar, «Processing 'Ataulfo' Mango into Juice Preserves the Bioavailability and Antioxidant Capacity of Its Phenolic Compounds,» *Nutrients*, vol. 10, 2018.
- [5] S. HJ, . P. HK, K. DR, P. ND, P. JS y V. DK, «Evaluation of medium to large sized varieties of mango,» *The Pharma Innovation*, vol. 11, n° 2, pp. 95-98, 2022.
- [6] «Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera,» 4 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/siap/articulos/mango-rey-de-las-frutas-tropicales>.
- [7] E. NJT y A. OM, «Quality Attributes of Jams and Marmalades Produced from Some Selected Tropical Fruits,» *Journal of Food Processing & Technology*, vol. 10, n° 5, 2019.
- [8] L. A. García Ledesma, «Evaluación de la aplicación del método de ventana refractiva en la deshidratación de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.),» *Ingeniería y región*, 2018.
- [9] N. A. Salazar Camacho, L. A. Sanchez Echeverri, F. J. Fonseca, V. Falguera, D. Castro Bocanegra y N. J. Tovar Perilla, «Mango (*Mangifera indica* L.) Dehydration as a Women Entrepreneurship Alternative in Vulnerable Communities,» *Sustainability*, vol. 14, n° 14, 2022.

- [10] S. Messina , F. González , C. Saldaña, G. R. Peña Sandoval , H. Tadeo, C. R. Juárez Rosete y P. K. Nair, «Solar powered dryers in agricultural produce processing for sustainable rural development worldwide: A case study from Nayarit-Mexico,» *Cleaner and Circular Bioeconomy*, vol. 3, 2022.
- [11] M. Arun S., «Handbook of Industrial Drying,» 2006, p. 1279.
- [12] S. Kerdpi boon y D. Sakamon , «Fractal Characterization of Some Physical Properties of a Food Product under Various Drying Conditions,» *Drying Technology* , n° doi.org/10.1080/07373930601160973, pp. 135-146, 2007.
- [13] A. H. M. N., P. C. O., T. M. y Y. K. L., «Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods,» *Drying Technology*, vol. 24, n° 1, pp. 77-87, 2006.
- [14] R. Iglesias Díaz, R. A. José Gómez, O. Lastres Danguillecourt, P. López de Paz, N. Farrera Vazquez y G. R. Ibáñez Duharte, «Diseño, construcción y evaluación de un secador solar,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, n° 8, pp. 1719-1732, 2017.
- [15] J. D. Zuluaga, M. Cortes Rodríguez y E. Rodríguez Sandoval, «Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, n° 0798-4065, 2010.
- [16] S. Guevara Guerrero y J. López Rodríguez, «Biblioteca digital,» Universidad del Valle, 28 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/11368>. [Último acceso: Enero 2023].

CONCLUSIONES GENERALES

El proceso de deshidratación permite el aprovechamiento del fruto de mango y papaya, permitiendo así generar un alimento deshidratado con características sensoriales adecuadas.

En el proceso de deshidratación solar, las curvas de secado en deshidratadores solares demuestran que los tiempos de deshidratación son adecuados para efectuar este proceso. Las muestras con 6 mm de espesor conducen a una mejor apariencia física, debido a que el cambio de color es menor que al de la muestra de 4 mm, siendo de 5.46 ± 1.67 y 8.82 ± 1.93 respectivamente. El porcentaje de rehidratación es mayor en los espesores de 4 mm, lo que se debe a un daño celular mayor debido al proceso de secado. La deshidratación solar podría generar una calidad de producto aceptable a un costo relativamente bajo.

El espesor tiene un efecto significativo sobre el proceso de deshidratación de mango observando menores tiempos de proceso en espesores de 4 mm, el secador solar directo tiene una eficiencia en tiempo de secado similar al secador eléctrico, las rebanadas de mango de 4mm de espesor son las que menor tiempo tardan en deshidratarse, y siendo ese mismo espesor en el secador solar directo el que alcanza un mayor porcentaje de rehidratación, las rodajas con menor porcentaje de encogimiento fueron las deshidratadas en el secador solar directo, lo cual hace que se obtenga un mango seco con muy buenas características organolépticas y es una opción viable para aprovechar el mango Ataulfo generando un producto con valor agregado y contribuir al desarrollo sustentable de la región Costa Chica del estado de Guerrero.

El proceso de deshidratación solar resulta ser una alternativa viable para la deshidratación de mango y papaya en el estado de Guerrero.

Anexos



Figura 1.- Imágenes de la recolección de la papaya y el mango en las respectivas huertas.



Figura 2.- Imágenes del proceso de lavado y desinfección de los frutos dentro del laboratorio



Figura 3.- proceso de rebanado de los frutos en los diferentes espesores, utilizando una rebanadora eléctrica



Figura 4.- proceso de deshidratación solar de los frutos, cada media hora se retiraban las muestras para pesarlas y llevar el control de pérdida de peso, de donde se obtuvieron las curvas de secado.



Figura 5.- proceso de medición de color en rebanadas de papaya y mango utilizando un colorímetro, las mediciones se realizaron cada media hora y con ellas se obtuvieron los datos de cambio de color.



Figura 6.- proceso de Rehidratación de las rebanadas de fruta deshidratada, utilizando vasos de precipitado, agua a una temperatura constante de 60°C, papel absorbente y una bascula digital, donde cada 5 minutos se retiraban las rebanadas del agua para pesarlas y obtener el índice de Rehidratación



Figura 7.- imágenes de los tres tipos de secadores utilizados para las diferentes pruebas de deshidratación de papaya y mango, secador solar directo, secador solar indirecto y secador eléctrico