

MÉTODOS DESHIDRATANTES PARA LA PRESERVACIÓN DE FRUTOS CARNOSOS PROVENIENTES DE PLANTAS ANGIOSPERMAS

Carmen Laura Chirinos Rivas

carmenlauraxd@gmail.com

**Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”
Extensión Costa Oriental del Lago, Sede Ciudad Ojeda**

Resumen

La generosidad de la naturaleza tropical se manifiesta en la explosión de sabor, aroma y nutrición de los frutos carnosos. Sin embargo, su naturaleza altamente perecedera ha sido fuente de pérdidas económicas y materiales en la cadena agroalimentaria. En procura de aportar solución a la problemática existente se realizó la investigación expuesta en el presente artículo, a objeto de evaluar los métodos deshidratantes usados para la preservación de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas. A los fines consiguientes se aplicó la metodología propia de la investigación descriptiva, en la cual el uso de elementos inherentes a los diseños de carácter documental, de campo y experimental, permitió identificar las características de frutos carnosos pertenecientes a la especie Manguífera Indica (mango), Musa x Paradisiaca (banana) y Carica Papaya (papaya), así como sobre los métodos deshidratantes más apropiados para evitar deterioros microbianos o fisiológicos que puedan alterar sus características iniciales y reducir su vida útil. En tal sentido, el empleo de la deshidratación osmótica y por microondas de manera unificada, fundamentándose, entre otros aspectos, en los modelos fenomenológicos de Crank y Azuara, posibilitaron la obtención de resultados favorables y efectivos en cuanto a remoción acuosa, permanencia de compuestos volátiles de interés, alteraciones aceptables sobre características físico químicas, organolépticas, sensoriales y aumento de períodos de preservación. De ahí que el público participante de manera circunstancial en la investigación, haya expresado su aceptación a los frutos deshidratados pues mantuvieron un sabor, olor y consistencia agradables. Por ello se recomienda efectuar estudios con nuevas combinaciones de métodos deshidratantes, optimizar metodología procedimental, determinar el valor energético y nutricional de estos frutos, y divulgar la efectividad de tales métodos.

Palabras clave: métodos deshidratantes, preservación, frutos carnosos, plantas angiospermas, osmótica, microondas.

DEHYDRATION METHODS FOR PRESERVATION OF FLESHY FRUITS FROM ANGIOSPERM PLANTS

Abstract

The bounty of tropical nature is evident in the explosion of flavor, aroma, and nutrition of fleshy fruits. However, their highly perishable nature has been a source of economic and material losses in the agri-food chain. Seeking to address this problem, the research presented in this article was conducted to evaluate the dehydration methods used for preserving fleshy fruits from angiosperm plants. To this end, a descriptive research methodology was applied, employing elements inherent to documentary, field, and experimental designs. This allowed for the identification of the characteristics of fleshy fruits belonging to the species *Mangifera indica* (mango), *Musa x paradisiaca* (banana), and *Carica papaya* (papaya), as well as the most appropriate dehydration methods to prevent microbial or physiological deterioration that could alter their initial characteristics and reduce their shelf life. In this regard, the unified use of osmotic and microwave dehydration, based, among other aspects, on the phenomenological models of Crank and Azuara, enabled the achievement of favorable and effective results in terms of water removal, retention of volatile compounds of interest, acceptable alterations to physicochemical, organoleptic, and sensory characteristics, and increased preservation periods. Consequently, the participants in the research expressed their acceptance of the dehydrated fruits, as they retained a pleasant taste, aroma, and consistency. Therefore, it is recommended that studies be conducted with new combinations of dehydration methods, that procedural methodology be optimized, that the energy and nutritional value of these fruits be determined, and that the effectiveness of these methods be disseminated.

Keywords: dehydration methods, preservation, fleshy fruits, angiosperm plants, osmotics, microwave.

Introducción

En eras primitivas el ser humano satisfacía sus necesidades alimenticias cazando animales y recolectando frutas y raíces, teniendo esta última actividad una marcada evolución derivada de su relativa simplicidad para realizarla. De esta manera el hombre utilizó diversas especies vegetales como alimento, distinguiéndose las plantas angiospermas monocotiledóneas como dicotiledóneas por proporcionar frutos carnosos como banana, limón, manzana, mango, naranja, papaya, patilla y otros, y frutos secos (arvejas, avellanas, frijoles, garbanzos, maní, por ejemplo), de características sensoriales atractivas para las personas, fomentando su consumo y comercio. En la actualidad, diversos estudios han determinado que los frutos carnosos de plantas angiospermas como las referidas son fuente de sustancias bioactivas beneficiosas y vitales para la salud humana, siendo agua, ácido ascórbico, calcio, carotenos, fósforo, hierro, niacina, riboflavina, tiamina, las más destacadas. Esto trajo como consecuencia el incremento, a nivel mundial, de los cultivos frutales, alcanzando volúmenes de producción muy elevados que según cifras aportadas en 2016 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) fue de 2.000 millones de toneladas en frutas cosechadas; en tanto la producción para América Latina la estima en 390 millones de toneladas.

No obstante, lo anterior, cuando se estudia lo referente a pérdidas y desperdicios de alimentos, las frutas ocupan un lugar relevante ya que son altamente perecederas. Al respecto, Benítez (2018) expone tal situación en artículo online, y refiere lo siguiente: “la FAO estima que el 6% de las pérdidas mundiales de alimentos se dan en América Latina”, traducándose esto en 127 millones de toneladas en pérdidas alimenticias donde las frutas representan mayores porcentajes por incumplir los estándares de calidad debido a alteraciones nutricionales, higiénicas, sensoriales u organolépticas provenientes del uso de técnicas y ambientes inadecuados para su cultivo, riego, cosecha, manejo, transporte, almacenaje y comercialización. Ahora bien, Venezuela se encuentra inmersa en dicha problemática, pues las

actividades agroindustriales están siendo afectadas por diversos factores como: insumos escasos, dificultad para movilizar cosechas debido al deterioro de las unidades de transporte y a la deficiente planificación. Tal situación impide tratar, distribuir y vender adecuadamente frutos carnosos durante períodos postcosecha, haciéndose énfasis en rubros frutales más cultivados dentro del país como son bananas, mangos y papayas, pese a tener 424.649, 153.904, y 178.740 toneladas producidas respectivamente, según datos estadísticos aportados en 2017 por la Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agrícolas.

Resulta importante destacar que, según Fundación Empresas Polar (s.f.), el estado Zulia produce los frutos carnosos referidos. Sin embargo, frecuentes fallas del servicio eléctrico, inflación desmedida, escaso poder adquisitivo, y otros factores dificultan las actividades de almacenamiento y de mercantilización, reflejando déficits para aprovechar bananas, mango y papayas, pues su composición, contenido de agua, pH, respiración, epicarpio o mesocarpio significativamente débiles, y producción de etileno, conforman factores susceptibles a daños microbianos o químicos. Por tal motivo en tales frutos se aceleran procesos de descomposición, causando cambios fisicoquímicos manifestados por alteraciones del color, olor, sabor, consistencia, textura, tenacidad, dureza, generando posteriores descartes por reducciones tanto en niveles de calidad como de vida útil.

Se hace necesario, por tanto, implementar técnicas que permitan aumentar períodos de conservación en bananas, mangos y papayas, evitando así pérdidas económicas y materiales durante procesos agroindustriales. Respecto a esto último diversas investigaciones acentúan la preservación como una solución a esta problemática puesto que al exponer tales frutas a tratamientos basados en altas-bajas temperaturas, adicionar compuestos, reducir contenido de agua, se logra retardar, ralentizar o eliminar, microorganismos y reacciones químicas. Por otra parte, dado que estos frutos carnosos son sumamente susceptibles, se deben considerar aquellas técnicas con mínimo impacto sobre sus características sensoriales, teniendo

como opción viable los métodos deshidratantes por ser tecnologías amigables y cuidadosas aprobadas para estos rubros. Bajo tales perspectivas las bananas, mangos y papayas deshidratadas, representan productos de calidad con altos porcentajes de sustancias bioactivas fundamentales para la salud humana, debido a que son necesarias para desarrollar eficientemente funciones vitales, así como también para prevenir enfermedades asociadas al déficit de éstas. Cabe resaltar que al aplicar métodos deshidratantes en rubros como los mencionados, a nivel agroindustrial como doméstico, se logrará disminuir pérdidas materiales, aumentar el rendimiento de las frutas mencionadas, ofrecer mayor disponibilidad y diversidad en mercancía, así como reducir costos en almacenamiento, empaque y transporte.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar los métodos deshidratantes aplicados para la preservación de frutos carnosos especialmente seleccionados, provenientes de plantas angiospermas.

Objetivos Específicos

1. Identificar las características de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas.
2. Comparar los métodos deshidratantes utilizados para la preservación de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas.
3. Aplicar metodología experimental propia de métodos deshidratantes seleccionados para la preservación de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas.
4. Determinar las características que presentan los frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas sometidos a específicos métodos deshidratantes.

Marco Referencial

Plantas Angiospermas

Las plantas angiospermas representan el grupo más avanzado y dominante del reino vegetal. Desde el punto de vista taxonómico, según la Universidad Nacional del Nordeste (2009) se las define como un “grupo monofilético de plantas vasculares” cuyos caracteres diagnósticos principales residen en su aparato reproductor; se organizan estructuralmente mediante la producción de “flores, estructuras constituidas por verticilos estériles y fértiles, donde se destacan los carpelos que encierran a los óvulos” (p. 1). Resulta importante destacar que la principal particularidad de este taxón, frente a otras plantas con semilla, radica en el destino de sus estructuras tras la polinización. En ellas, de acuerdo a Guzmán et al. (2013) el “gametofito femenino se encuentra protegido en el interior del óvulo, el cual a su vez está encerrado dentro del ovario de la flor; después de que ocurre la fecundación, los óvulos se transforman en semillas y el ovario da origen al fruto” (p. 23). De este modo, la presencia del carpelo cerrado no solo asegura la protección de las semillas en desarrollo, sino que morfológicamente se transformará en el fruto, consolidando la transición biológica propia de este grupo.

Frutos Carnosos

Una de las características de las plantas en referencia es la producción de frutos, que son definidos por Martínez et al. (2010) como ovario desarrollado, maduro, luego de la fecundación de los óvulos o rudimentos seminales que se transforman en semillas. Una vez finalizado el período fecundativo se desarrolla el pericarpio, que es una estructura fundamental para proteger semillas, y consta de tres partes (epicarpio, mesocarpio, endocarpio); cuando posee tanto consistencia como textura jugosa o tierna las frutas suelen clasificarse como carnosas. Éstas pueden provenir de una flor o de varias, otorgándole diferentes características al producto teniendo entre éstos, según Serrano et al. (2010), drupas (parte interna

leñosa cubriendo semilla); bayas indehiscentes; pepónide (superficie dura); hesperidio (exterior e interior glanduloso); y pomos (textura papirácea).

Plantas Angiospermas Monocotiledóneas y Dicotiledóneas

Las plantas centro de atención en el presente artículo, tienen la particularidad de dividirse en dos (2) grandes líneas evolutivas, diferenciadas principalmente por la estructura de su embrión y la organización de su sistema conductor: las monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Las plantas angiospermas monocotiledóneas se definen formalmente como aquellas plantas que “poseen solo un cotiledón embrionario” (Guzmán et al., 2013, p. 36), conformando un linaje que comparte rasgos anatómicos internos muy uniformes, entre los que destaca un gran número de haces vasculares dispersos en el tejido fundamental. Por su parte las angiospermas dicotiledóneas se caracterizan porque su semilla está provista de dos cotiledones embrionarios, constituyendo un grupo morfológicamente más heterogéneo donde los tejidos de conducción se organizan de forma regular, presentando un número limitado de haces vasculares primarios arreglados en forma de un anillo (Universidad Nacional del Nordeste, 2009). A pesar de que ambas plantas angiospermas comparten el mecanismo unificador donde las paredes del ovario floral maduran para dar origen a una estructura de cobertura, las monocotiledóneas y las dicotiledóneas presentan marcadas diferencias anatómicas en sus frutos carnosos en cuanto a composición y porosidad de sus pulpas. Las primeras suelen desarrollar estructuras de almacenamiento compacto y fibroso debido a la ausencia de crecimiento secundario en sus tejidos, fenómeno observable en frutos carnosos como el plátano o banano (*Musa paradisiaca*), la piña (*Ananas comosus*) y el dátil (*Phoenix dactylifera*), cuyas matrices celulares retienen el agua a través de entramados densos, ricos en almidón o azúcares concentrados.

En contraposición, las dicotiledóneas exhiben una diversidad morfológica notablemente mayor en sus frutos carnosos debido a la ramificación

reticulada de sus venas y a la flexibilidad de sus tejidos parenquimáticos, destacando ejemplos universales como el tomate (*Solanum lycopersicum*), el mango (*Mangifera indica*) y la manzana (*Malus domestica*), en los cuales la pulpa conforma una arquitectura tisular sumamente jugosa, elástica y porosa que experimenta un colapso físico evidente al perder humedad.

Importancia de las Plantas Angiospermas Monocotiledóneas y Dicotiledóneas

Las plantas angiospermas son consideradas pilares fundamentales sobre el cual se erige la subsistencia de las sociedades modernas pues, en concordancia con lo expuesto por la Universidad Nacional del Nordeste (2009), son el componente dominante de los ecosistemas terrestres convirtiéndolas en la principal fuente de alimentos para los seres vivos, y de una gran variedad de materias primas y productos naturales. Esta aseveración es complementada por Márquez Guzmán et al. (2013), quienes especifican que la estrecha dependencia se debe a su extraordinaria plasticidad adaptativa lo cual les permite constituir el grupo más importante para la vida y supervivencia humana.

La trascendencia de este grupo vegetal abarca el ámbito ecológico y paisajístico al funcionar como resguardo contra el viento, protección frente a la erosión del suelo y defensa ante la invasión del mar, al mismo tiempo que configuran espacios de recreación, placer y ornamentación en parques, calles y jardines. Por lo demás, su impacto alcanza la esfera cultural y social, donde ocupan un rol activo en ceremonias y cultos religiosos, además de servir de inspiración sostenida para el desarrollo del arte y la arquitectura mundial.

Según Martínez et al. (2010), la taxonomía ha sido definida como “identificación, clasificación y nomenclatura de las plantas” (p. 2). Ahora bien, para categorizar frutos carnosos como la banana, el mango y la papaya, centro de atención en la investigación llevada a efecto por la

autora del presente artículo, y en concordancia con Arias y Toledo (2010), para categorizar frutos como los mencionados se consideran las plantas angiospermas de origen, las cuales son agrupadas según la similitud de aspectos que las caracterizan, creando una sistematización eficaz, tanto para frutales como productos. Teniendo presente tales lineamientos, a continuación, se presenta la Tabla 1 en la cual se exponen datos taxonómicos sobre las frutas objeto de estudio.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de Banana, Mango y Papaya

Clasificación Taxonómica	Banana	Mango	Papaya
Reino.	Plantae.	Plantae.	Plantae.
División.	Magnoliophyta.	Magnoliophyta.	Magnoliophyta.
Clase.	Monocotiledóneas.	Dicotiledóneas.	Dicotiledóneas.
Orden.	Zingiberales.	Sapindales.	Brassicales.
Familia.	Musaceae.	Anacardiáceae.	Caricaceae.
Género.	Musa.	Manguifera.	Carica.
Especie.	M. Paradisiáca.	M. Indica.	<i>Carica Papaya.</i>

Nota. Elaborado con datos tomados de Arias y Toledo (2010).

Como puede observarse el mango, la banana, y la papaya provienen de la especie Manguifera Indica, Musa x Paradisiáca y Carica Papaya respectivamente. Esta identificación también representa sus nombres científicos; entonces, en siguientes apartados estos frutos carnosos serán nombrados por su nombre científico pertinente.

Actividad Acuosa. La actividad acuosa (aw) representa un parámetro sumamente importante puesto que, según Wais (2011), mide proporción de agua sin interaccionar quedando ésta disponible para propiciar, junto con la humedad relativa ambiental, actividades químicas enzimáticas, oxidantes y crecimiento microbiano, perjudicando la estabilidad fisicoquímica,

organoléptica y sensorial de un producto frutícola y, por ende, reduciendo su vida útil. Por otra parte, diversos autores, entre ellos Mera (2015), consideran esta variable como la “relación entre la presión parcial (p) del agua del alimento y la presión de vapor de agua pura (po) a la misma temperatura” (p. 11), por tanto, tiene valores comprendidos entre cero (0) - uno (1) que variarán según el contenido acuoso de cada fruto carnoso en específico.

Sobre dicho factor es importante resaltar lo siguiente: altas magnitudes en aw (0,6 - 1) representan ambientes propicios para hospedar microorganismos patógenos y desarrollar reacciones metabólicas químicas y/o enzimáticas de deterioro. Por esto Alzamora et al. (2010) recomiendan que las frutas han de poseer valores cercanos o iguales a 0,30. Ahora bien, obtener tal cantidad se puede lograr empleando diversos métodos que permitan disminuir el contenido acuoso en frutos carnosos, como la deshidratación.

Métodos Deshidratantes de Frutos Carnosos

Soto (2018) define los métodos deshidratantes como “extracción del agua contenida en los alimentos por medios físicos”. (p. 29). Al respecto, las técnicas que se utilizan son consideradas operaciones unitarias que combinan procesos de evaporación y transferencia másica para reducir contenidos acuosos, a niveles cercanos al ocho por ciento (8%), teniendo como variables operacionales temperatura, presión, y porcentaje de agua. Además, Alzamora et al. (2011) explican que diversos alimentos, entre éstos los frutos carnosos, son sometidos a procedimientos de tal naturaleza para evitar deterioros microbianos o fisiológicos que puedan alterar sus características iniciales y reducir su vida útil. De esta manera, se definen los métodos deshidratantes para frutos carnosos como aquellos procedimientos donde se reduce el contenido acuoso de las frutas en cuestión y, dependiendo de sus características y las del producto final esperado, se seleccionan las diferentes operaciones de deshidratación a las cuales serán sometidas para obtener un alimento bajo en niveles de agua, pero con alta vida de anaquel

y propiedades microbiológicas, nutricionales y organolépticas aceptables, adecuadas para el consumidor.

En la investigación llevada a efecto, los tipos de deshidratación aplicada fueron: por microondas y osmótica.

Deshidratación por Microondas

La deshidratación por microondas se define como un procedimiento donde se utiliza un equipo que produzca radiaciones no ionizantes, logrando excitar las moléculas de agua para generar movimiento, calor y su evaporación. Como lo indica Wais (2011), esta tecnología es la “respuesta de las moléculas polares del material frente a un campo magnético variable, que rotan y se desplazan lateralmente millones de veces por segundo tratando de alinearse con las líneas de fuerza del campo. Esta interacción genera calor en el material” (p. 3), facilitando extraer agua del alimento. Deshidratar frutos mediante microondas permite, según Rodríguez (2015), mantener la calidad de los productos y asegurar una eficiente distribución del calor en su estructura.

En síntesis, un campo magnético variable emite radiaciones no ionizantes que son captadas por moléculas con estructura de dipolos eléctricos, ocasionando su rápida oscilación pues buscan igualar las líneas de fuerza provenientes del generador electromagnético. Se deduce que entre las partículas existen choques, lo cual aumenta uniformemente la temperatura del alimento y crean un gradiente en presión de vapor facilitando desplazamiento del agua hacia el ambiente circundante donde finalmente se difunde.

Deshidratación Osmótica

La deshidratación osmótica es un método que posibilita el intercambio del lugar que ocupa el agua en la estructura del alimento, por un agente

diluido en una solución. De esta manera, según Rodríguez (2015), representa “deshidratación parcial de los materiales a través del proceso de ósmosis, lo cual implica la inmersión de los frutos durante un determinado tiempo en una solución hipertónica, frecuentemente en soluciones con azúcares tales como sacarosa, glucosa, fructosa, entre otras” (p. 7). El procedimiento general utilizado es, en concordancia con Yupanqui (2010) “traslado de agua desde la disolución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica)” (p. 18), finalizando al igualar valores.

En resumen, a nivel molecular diversos alimentos poseen estructuras celulares que permiten movimientos selectivos (membranas semipermeables). Por tanto al someter los productos a soluciones hipertónicas de solutos compatibles (alcohol, sales, azúcares), se generan diferencias en concentración, presión osmótica, a_w , forjando gradientes de potencial químico entre elementos y facilitando doble transferencia másica: desplazamiento del agua, arrastrando algunas sustancias disueltas, desde comestible hasta disolución y viceversa, pero se transportan compuestos constituyentes de mezcla. Procede acotar que esta tecnología permite deshidratar solo un 40 por ciento del contenido acuoso.

Solución Hipertónica. Rodríguez (2015) expresa que la deshidratación osmótica es posible mediante la transferencia másica entre el producto y una mezcla denominada solución hipertónica formulada con disolvente común (agua), y soluto específico de acuerdo al alimento a deshidratar (alcohol, sales, azúcares). Ahora bien, para la formulación de la solución hipertónica deben considerarse los grados Brix ($^{\circ}$ Brix), pues éstos indican la cantidad de sólidos solubles presentes lo que permite cuantificar la ganancia y pérdida másica que tendrá el alimento, recordando que durante este proceso ocurre una doble transferencia entre la disolución y el producto en cuestión.

Por tanto, en términos de frutas y específicamente de Manguífera Indica, Musa x Paradisiaca, y Carica Papaya, la solución hipertónica debe

contener cantidad suficiente de sacarosa a objeto de obtener rangos de °Brix necesarios para incrementar los gradientes de concentración e impulsar la transferencia másica de agua y sólidos solubles. Sin embargo, los rangos de °Brix deben ser seleccionados cuidadosamente pues, aunque favorezcan la pérdida de agua, y a su vez la preservación, también permiten la ganancia de azúcares que afectarían la textura y sabor final del fruto deshidratado.

Modelos Fenomenológicos

Como refiere Arballo (2013), los modelos fenomenológicos agrupan características sobre fenómenos de transporte o transmisión desarrolladas en un proceso único, replicando y sirviendo como referencia entre sistemas reales e ideales. Ahora bien, además de basarse en transferencias, estas relaciones también consideran, de acuerdo con Arias et al. (2017), el principio de conservación de cualquier propiedad balanceable que mediante resoluciones de balances pueden aportar variables relevantes e indispensables en cualquier operación.

Considerando lo expresado, para métodos deshidratantes se desarrollan modelos fenomenológicos específicos utilizados como guías para describir fenómenos de transporte generados dentro del proceso, siendo los más representativos: transmisión de calor desde una fuente hasta el alimento y evaporación o desplazamiento del agua. Estos eventos están regidos mediante ecuaciones, leyes, fórmulas, relaciones matemáticas válidas que permitirán predecir cinética, parámetros y requisitos para reproducir como aplicar deshidratación con confiabilidad, exactitud, y margen de error aceptable.

Marco Metodológico

Modalidad de Investigación

Según Arias (2016), cualquier proceso investigativo científico se

orienta a la generación de conocimientos teóricos, mediante la exploración y recolección de datos iniciales con posterior análisis, siguiendo procedimientos sistemáticos como metódicos, obteniendo conocimientos nuevos, verdaderos, objetivos, tangibles, y comprobables. En el contexto de tal lineamiento, la investigación ejecutada se enmarca bajo la modalidad científica pues se desarrolló mediante procesos lógicos, logrando datos fidedignos basados en experiencias y principios veraces, que permitieron determinar cuáles métodos deshidratantes para la preservación de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas garantizarían las características fisicoquímicas y organolépticas de calidad en frutos como la *Manguifera Indica*, *Musa x Paradisiaca* y *Carica Papaya*.

Diseño de Investigación

Considerando la naturaleza de la investigación y los objetivos a lograr, los diseños utilizados fueron: documental, de campo y experimental. En el primero, se utilizó la investigación de carácter bibliográfico, que permitió obtener referentes sobre alcances fundamentales relacionados, entre otros aspectos, con las características que distinguen a los frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas pertenecientes a las especies *Musa x Paradisiaca* (banana), *Manguifera Indica* (mango) y *Carica Papaya* (papaya), así como en relación a los métodos deshidratantes en cuanto a sus principios funcionales, variables operacionales, recursos necesarios, efectos secundarios y remoción de agua, posibilitando al investigador efectuar la comparación de los correspondientes métodos deshidratantes usados para la preservación de tal tipo de frutos, y seleccionar los métodos a aplicar a los mismos. Sobre esto último, el investigador escogió los métodos de deshidratación osmótica y por microondas.

El diseño de investigación de campo fue también usado, una vez seleccionados los tres (3) tipos de frutos carnosos a estudiar. Sobre tal diseño, Baptista et al. (2014) expresa que éste se aplica cuando se localizan escenarios donde se desarrollan problemáticas y se recolecta

información directamente de los mismos. Una de las principales técnicas del diseño de campo que empleó el investigador para recabar los datos que la investigación demandaba fue la observación, básicamente directa, estructurada, intencionada e intensiva, y utilizando un ambiente especial: laboratorio, con la finalidad de observar las variaciones que en los frutos carnosos escogidos se producían durante el desarrollo del estudio.

También en la investigación se utilizó el diseño experimental mediante el cual, como afirma Silva (2014), se obtiene “información de la actividad intencional realizada por el investigador” (p. 20), modificando la realidad para propiciar fenómenos bajo estudio, observándolos y midiéndolos. La aplicación de los alcances metodológicos propios de este diseño posibilitó la deshidratación de los frutos carnosos seleccionados, manejando variables involucradas como temperatura, presión, diámetro, tiempo, aw, humedad, concentración, y recopilando datos tanto antes como durante su desarrollo, determinando características de los frutos *Manguifera Indica*, *Musa x Paradisiaca*, *Carica Papaya*, así como sobre qué métodos influyen positiva o negativamente en las propiedades fisicoquímicas nutricionales y organolépticas finales de los respectivos productos.

Tipo de Investigación

A propósito de este alcance metodológico, lo referido por Silva (2014) sobre la investigación descriptiva que define como una caracterización de un fenómeno utilizando métodos analíticos, permitiendo indicar su procedencia, fundamentos, comportamientos, estructura, funcionalidad, propiedades, ofreciendo interpretaciones correctas sobre hechos investigados, fue considerado por el investigador. Por tal razón se califica el estudio como una investigación descriptiva, pues empleando revisión documental, cuadros comparativos y resolución de modelos matemáticos se profundizó sobre las características propias de *Manguifera Indica*, *Musa x Paradisiaca*, y *Carica Papaya*; así como ahondar acerca de los fundamentos inherentes a los métodos deshidratantes y establecer su metodología

experimental, considerando mecanismos de acción para implementarlos en los rubros mencionados. Seguidamente, se comprobó, mediante análisis descriptivos, ensayos de laboratorio y pruebas sensoriales, cómo inciden estas tecnologías, evaluando y detallando características fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas, junto con niveles de preservación alcanzados en dichos frutos carnosos.

Población y Muestra

Baptista et al. (2014) define población como un conjunto de personas, establecimientos, animales, objetos físicos que, conociendo o desconociendo el número exacto de unidades, contienen aquellas características a analizar y evaluar. Ahora bien, en concordancia con Silva (ob. cit.), el investigador determina quiénes, cuáles o cuántos elementos reúnen las particularidades necesarias para obtener datos verificables, veraces, fidedignos, que sustenten y avalen el estudio. En tal sentido, debido tanto al diseño como al tipo de investigación, fue necesario adquirir frutos carnosos para desarrollar su deshidratación y realizar las evaluaciones finales. Por tanto, la población escogida fueron *Mangifera Indica*, *Musa x Paradisiaca*, *Carica Papaya*, provenientes de cultivos cosechados en el Estado Zulia, del tipo Keitt-Glenn, Cavendish Valery, Cartagena Roja-Maradol.

Escogida la población de los frutos carnosos centro de estudio en la investigación, se estableció la correspondiente muestra intencional de los productos *Mangifera Indica*, *Musa x Paradisiaca*, *Carica Papaya*, teniendo presente lo pautado por Silva en 2014 y Arias en 2016. En cuanto al primer autor, él establece que una muestra debe seleccionarse cuidadosamente, pues los resultados dependerán de ésta. Respecto al segundo autor, recomienda estudiar previamente los elementos, escogiendo intencionalmente sólo aquellos productos portadores de características representativas y relevantes para la investigación.

Tomando en cuenta lo planteado por los autores mencionados, para la

investigación llevada a efecto se requirió una muestra intencionada, pues solo se adquirieron los frutos carnosos ya especificados en la cantidad precisa y necesaria a utilizar durante ensayos de laboratorio: *Mangifera Indica*: 10 unidades, *Musa x Paradisiaca*: 10 unidades, y *Carica Papaya*: una (1) unidad.

Tabla 2.

Caracterización de la población objeto de estudio

Frutos Carnosos	Tipo de Cultivo
<i>Mangifera Indica.</i>	Keitt-Glenn.
<i>Musa x Paradisiaca.</i>	Cavendish Valery.
<i>Carica Papaya.</i>	Cartagena Roja-Maradol.

Nota. Elaborado con datos tomados de FEDEAGRO (2017).

Resultados

Características de Frutos Carnosos Provenientes de Plantas Angiospermas

Clasificación Taxonómica, Morfología y Madurez

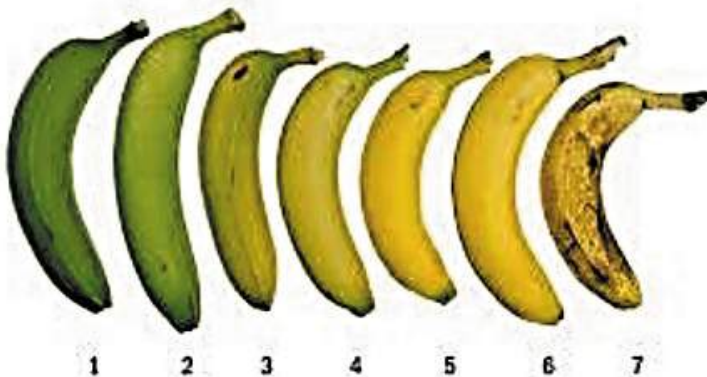
Como se especificó en páginas precedentes, los frutos carnosos derivados de plantas angiospermas objeto de estudio en esta investigación fueron: *Musa X Paradisiaca* (bananas), *Maguifera Indica* (mango), y *Carica Papaya* (Papayas).

Musa x Paradisiaca. Pertenece al tipo de cultivo Cavendish Valery, y son bayas partenocárpicas cilíndricas ligeramente curvadas conformando una longitud de 20 centímetros, con un peso promedio de 200 gramos, y en su proceso de madurez alcanza una tonalidad amarillenta óptima

que permite utilizarla experimentalmente. En la Figura 1 que se expone seguidamente es posible observar el avance progresivo de tal característica, hasta lograr la madurez esencial.

Figura 1.

Musa x Paradisiaca de cultivos Cavendish Valery: madurez



Al finalizar la etapa de madurez su epicarpio liso gana dureza y firmeza; el mesocarpio presenta suavidad, carnosidad, coloración blanca, sabor dulce, volviéndose un fruto con características organolépticas atractivas para los consumidores.

Manguifera Indica. De los cultivos Keitt-Glen, son drupas ovaladas, con base redonda conformando una longitud de 11 centímetros, peso promedio 311 gramos, y en su proceso de madurez óptima presenta una coloración parcial naranja-amarillenta, rasgo tomando en cuenta a propósito de adelantar ensayos experimentales. Lograda esta última característica, su epicarpio es liso y resistente, el mesocarpio anaranjado fibroso es abundante, jugoso, con sabor dulce, representa el 85 por ciento de masa total, y el endocarpio endurecido, junto con semilla, constituye el porcentaje restante de masa como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2.

Manguifera Indica de cultivos Keitt-Glen: madurez



Nota. Tomando de Arias y Toledo (2010).

Carica Papaya. El tipo de cultivo a que pertenece este fruto carnoso es Cartagena Roja-Maradol, son bayas constituidas por cinco (5) carpelos que le confieren una apariencia ovalada alargada, con longitud de 25 centímetros y peso promedio de 1.500 gramos. En su madurez óptima las papayas tienen una coloración amarillo-anaranjada, y es el momento adecuado para su utilización en ensayos experimentales tal como se muestra en la Figura 3.

Al lograr su madurez esencial, el epicarpio se caracteriza por ser liso, fino, débil; en tanto el mesocarpio es rojizo, abundante, suave, jugoso, con sabor dulce. Presenta en su parte central una cavidad que contiene abundantes semillas de color negro.

En la Tabla 3 se especifican las sustancias presentes en los frutos carnosos centro de atención en la investigación llevada a efecto; éstas configuran su composición: ácido ascórbico y carbohidratos.

Figura 3.

Carica Papaya de cultivos Cartagena Roja-Maradol: madurez



Composición de los Frutos Carnosos

Es de acotar que durante la deshidratación de los frutos carnosos en referencia, intervienen sustancias condicionantes para características organolépticas, sensoriales finales. En este contexto el ácido ascórbico representa vitamina de calidad en los tipos de frutos considerados, pues coadyuva a las reacciones vitales del ser humano. Sin embargo, este compuesto presenta termosensibilidad (volátil a 60° C) y miscibilidad en agua permitiendo su evaporación por arrastre al sobrepasar límites. Ahora bien, tanto carbohidratos como aminoácidos producen reacciones de Maillard, catalizadas mediante suministro calórico (30 – 40 °C aproximadamente). Por ello, tomando en cuenta lo expuesto, se estableció un rango de temperatura para deshidratar comprendido entre 30 – 70° C, a propósito de evitar pérdidas en elementos esenciales, así como efectos indeseados.

Tabla 3.

Composición de los frutos carnosos Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya

Frutos Carnosos	Composición	
	Ácido Ascórbico	Carbohidratos
<i>Musa x Paradisiaca.</i>	8,7 miligramos.	22,4 gramos.
<i>Manguifera Indica.</i>	36,4 miligramos.	14,92 gramos.
<i>Carica Papaya.</i>	60,9 miligramos.	10,82 gramos.

Nota. Elaborado con datos tomados de Arias y Toledo (2010).

Contenido de Agua, Sólidos Solubles y Actividad Acuosa

Para la determinación teórica de la actividad acuosa en Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica, y Carica Papaya, que son considerados sistemas binarios, se aplicó la ecuación de Norrish, la cual establece la relación entre fracciones molares de los sólidos solubles (fructuosa, glucosa, sacarosa), agua y constantes de proporcionalidad que reflejan la interacción entre éstos. Por tal motivo se identificaron contenidos de tales compuestos dentro de los frutos carnosos objeto de estudio. Los resultados conseguidos se exponen en la Tabla 4.

Posteriormente, con datos logrados sobre la sacarosa, fructuosa y glucosa, se obtuvieron constantes de proporcionalidad (siendo $K_g = 2,25$; $K_f = 2,25$ y $K_s = 6,47$ respectivamente), calculándose fracciones molares tanto de éstas como del contenido acuoso (X_w , X_g , X_f , X_s). Luego se continuó con predicción sobre actividades acuosas en cada fruto carnoso, utilizando ecuación de Norrish:

Ecuación de Norrish

$$\ln a_w = \ln X_w - \left[(K_g)^{1/2} \times X_g + (K_f)^{1/2} \times X_f + (K_s)^{1/2} \times X_s \right]^2$$

Tabla 4.

Contenido de agua y sólidos solubles de Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya

Frutos Carnoso	Contenido de Agua	Propiedades		
		Sólidos Solubles		
		Sacarosa	Fructosa	Glucosa
Musa x Paradisiaca	73 gramos.	0,66	0,38	0,58
Manguifera Indica	85 gramos.	0,71	0,81	0,12
Carica Papaya	89 gramos.	0,483	0,219	0,298

Nota. Elaborado con información de Ríos (2013), Ciro y Millán (2012), Arias y Toledo (2010).

La actividad acuosa para cada fruto carnoso fue la siguiente:

Fruto Carnoso	Actividad Acuosa
Musa x Paradisiaca	0,982
Manguifera Indica	0,987
Cariaca Papaya	0,989

Comparación de los Métodos Deshidratantes Utilizados para la Preservación de Frutos Carnosos Provenientes de Plantas Angiospermas

Para la preservación de frutos carnosos provenientes de plantas angiospermas se utilizan métodos deshidratantes, los cuales tienen la propiedad de extraer el agua contenida en éstos, reduciendo su humedad a determinados niveles donde no pueden sobrevivir bacterias, levaduras y hongos. Su importancia estriba en que alargan la vida útil de tales frutos, preservan sus nutrientes, y permiten consumirlos durante todo el tiempo.

Tipos de Métodos Deshidratantes

Teniendo presente los parámetros: principios funcionales, variables operacionales, recursos necesarios, efectos secundarios sobre alimentos y remoción de agua, los métodos deshidratantes comprenden los siguientes tipos: deshidratación solar, deshidratación por aire forzado, deshidratación por microondas, deshidratación osmótica.

A propósito de obtener referentes sobre cada tipo de método, se realizó un proceso de comparación en el cual se tomaron en cuenta los parámetros especificados precedentemente, cuyos rasgos se exponen en la Tabla 5.

Del análisis realizado al contenido de la Tabla 5, se seleccionaron dos (2) métodos: deshidratación osmótica y deshidratación por microondas, cuya escogencia se hizo tomando en cuenta factores técnicos y operacionales a propósito de encontrar factibilidad, beneficios y resultados requeridos. El primero se consideró como de carácter primario (principal) y el segundo como de carácter secundario (complementario).

Deshidratación osmótica. La escogencia de tal tipo de deshidratación como tratamiento principal se debe a lo siguiente: usa equipos, instrumentos e insumos accesibles, así como solución hipertónica-glucosa, sacarosa,

Tabla 5.
Comparación de métodos deshidratantes

Parámetros					
	Principios Funcionales	Variables Operacionales	Recursos Necesarios	Efectos Secundarios sobre Alimentos	Remoción de Agua
Deshidratación Solar	Gradientes de presiones de vapor generados mediante energía calórica proveniente de radiaciones solares.	• Tiempos: días o semanas. • Temperatura ambiental. • Presión atmosférica. • Cualquier geometría del alimento con dimensiones reducidas.	• Mesas de madera con mosquiteros. • Equipos alimentados con radiaciones solares. • Bandejas para colocar alimentos.	• Desarrollo de reacciones de Maillard. • Pérdida de compuestos volátiles. • Contracción y endurecimiento del producto.	70%
Deshidratación por Aire Forzado	Gradientes de presiones de vapor generados mediante energía calórica proveniente de corrientes de aire caliente.	• Tiempo: horas. • Temperaturas: 50 – 80 °C. • Calentamiento directo o indirecto dependiendo de configuración del equipo. • Cualquier geometría del alimento con dimensiones reducidas.	• Equipos alimentados con corrientes de aire caliente. • Bandejas para colocar alimentos.	• Desarrollo de reacciones de Maillard. • Pérdida de compuestos volátiles. • Contracción y endurecimiento del producto.	70%

Tabla 5. (Continuación)

Parámetros					
	Principios Funcionales	Variables Operacionales	Recursos Necesarios	Efectos Secundarios sobre Alimentos	Remoción de Agua
Deshidratación por Microondas	Gradientes de presiones de vapor generados mediante emisión de radiaciones no ionizantes.	- Tiempos: minutos u horas. - Temperatura: rangos entre 50 – 90 °C. - Calentamiento uniforme – Potencia: 300 – 800 W. - Cualquier geometría del alimento con dimensiones reducidas.	- Hornos microondas. - Equipos industriales generadores de radiaciones no ionizantes. - Bandejas para colocar alimentos.	- Desarrollo de reacciones de Maillard. - Pérdida de compuestos volátiles – Contracción y endurecimiento del producto.	80%
Deshidratación Osmótica	Gradientes de concentraciones generados mediante Inmersión en soluciones hipertónicas.	- Tiempos: horas. - Temperatura: ambiental o rangos entre 30 – 70 °C – Presión: atmosférica o al vacío. - Concentración: rangos entre 30 – 80 °Brix. - Cualquier geometría del alimento con dimensiones reducidas.	- Soluciones hipertónicas (azúcares, alcoholes, sales), a ° Brix requeridos. - Vasos de precipitado. - Agitador. - Planchas de calentamiento. - Equipos a vacío.	- Inhibe desarrollo de reacciones de Maillard. - Previene pérdidas de compuestos volátiles. - Modificación mínima de propiedades mecánicas y organolépticas. - Ablandamiento del alimento. - Desarrollo de película de solutos sobre superficie.	40%

Nota. Elaborado con información de Medina (2015), Condori et al. (2014), Techeira (2010), Wais (2010). fructuosa) cuya concentración es

significativamente mayor al fruto carnoso, impulsando dos transferencias másicas globales en contra corriente: remoción de contenido acuoso del alimento hasta disolución, y corrientes inversas, pero transportando azúcares en mezcla. Además, generalmente no amerita temperaturas o presiones elevadas, en razón de lo cual las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales finales de los productos sometidos al procedimiento serán afectadas en menor magnitud.

Sin embargo, al lograr equilibrio entre concentraciones solución-alimento, la transferencia másica cesará causando que el contenido acuoso se reduzca hasta niveles bajos, pero manteniendo porcentajes alarmantes que impedirán su conservación efectiva. Por tal motivo, se decidió elegir un tratamiento secundario para complementarlo, seleccionándose la deshidratación por microondas.

Deshidratación por microondas. Su escogencia estriba en que implica una operación sencilla, rápida, efectiva y eficiente, pues somete alimentos a radiaciones no ionizantes distribuidas, generada mediante campos magnéticos que excitan moléculas polares creando choques constantes, logrando aumentar uniformemente la temperatura interna y, a su vez, formando gradientes en presiones de vapor, fomentando desplazamientos de agua hasta difusión con ambiente circundante.

El análisis de los dos tipos de deshidratación permite concluir que al relacionar, combinar, unificar, y reproducir ambos métodos, se optimiza la remoción acuosa en tiempos, empleando recursos accesibles de carácter económico y técnicos, generando Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya deshidratadas bajo estándares de calidad fisicoquímica, organoléptica y sensorial requeridos.

Metodología Experimental Propia de Métodos Deshidratantes para la Preservación de Frutos Carnosos Provenientes de Plantas Angiospermas

Experimentación para Deshidratación Osmótica

Durante la deshidratación osmótica el sistema se considera isotérmico, multicomponente y polifásico (solución hipertónica, matriz sólida del producto, fases líquidas-gaseosas dentro de su estructura). Además, al presentar gradientes está en desequilibrio favoreciendo fenómenos de transporte que, dependiendo de parámetros operacionales, se desarrollan como mecanismos por vaporización-condensación y otros dependientes entre composiciones (movimientos fickianos) como presiones (hidrodinámicas producidas por aplicación al vacío).

Ahora bien, debido a estos mecanismos de transferencia másica se producen cambios en la composición del producto, siendo analizados como pérdidas acuosas, ganancias en solutos y reducciones másicas, parámetros que describen cinéticas del proceso general y para determinarlos es necesario aplicar modelos fenomenológicos reproducibles bajo condiciones experimentales similares desarrollados por Crank (1975), basado en la segunda Ley de Fick, y Azuara et al. (1992), en cuanto a las relaciones entre variables.

De esta manera se distribuyeron los modelos fenomenológicos dependiendo de datos experimentales obtenidos de la literatura revisada, que permitieran su reproducción con exactitud. Por consiguiente, la cinética de deshidratación osmótica para Musa x Paradisiaca y Carica Papaya se logró mediante las ecuaciones de Crank, y para Manguifera Indica por la aplicación de las ecuaciones de Azuara.

Datos experimentales para deshidratación osmótica. En la Tabla 6 se desglosan datos experimentales, bajo condiciones específicas, necesarios

para el modelamiento fenomenológico de deshidratación osmótica.

Tabla 6.

Datos experimentales para deshidratación osmótica de frutos carnosos

Frutos Carnosos	Datos Experimentales
Musa x Paradisiáca	- Modelo fenomenológico: Crank. - Coefficiente de difusión efectiva: $De w = 0,85 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. - Coefficiente de difusión efectiva: $De s = 2,17 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. - Concentración de sólidos en equilibrio: $Cs_{equi} = 0,45 \text{ kgss/kg}$. - Concentración de agua en equilibrio: $C w_{equi} = 0,25 \text{ kgw/kg}$. - Espesor: 0,01 m. - Forma: Placa plana.
Manguifera Indica	- Modelo fenomenológico: Azuara. - Pérdida de humedad al tiempo infinito: $PH_{\infty} = 40,16 \%$. - Constante relacionada con velocidad de difusión de agua: $\beta 1 = 0,01 \text{ min}^{-1}$. - Ganancia de sólidos a tiempo infinito: $GS_{\infty} = 227,78 \%$. - Constante relacionada con velocidad de difusión de solutos: $\beta 2 = 0,01 \text{ min}^{-1}$. - Espesor: 0,01 m. - Forma: Placa plana.
Carica Papaya	- Modelo fenomenológico: Crank. - Coefficiente de difusión efectiva: $De w = 1,3085 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. - Coefficiente de difusión efectiva: $De s = 1,3670 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. - Concentración de sólidos en equilibrio: $Cs_{equi} = 0,60 \text{ kgss/kg}$. - Concentración de agua en equilibrio: $C w_{equi} = 0,62 \text{ kgw/kg}$. - Espesor: 0,01 m. - Forma: Placa plana.

Nota. Elaborado con información de Arias et al. (2017), Arballo (2013), Calle y Yanqui (2010).

Los valores contenidos en la Tabla 6 se usaron para desarrollar las ecuaciones de Crank (1975) y Azuara et al. (1992) en los frutos carnosos respectivos.

Seguidamente se expone cada ecuación.

Ecuación de Modelo Fenomenológico de Crank (Resolución de segunda Ley de Fick para láminas infinitas).

$$\frac{c_t - c_e}{c_i - c_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-D_{ew}\pi^2 t}{4l^2}\right)$$

Ecuación de Modelo Empírico de Azuara et al. para pérdida de humedad

$$PH_t = \frac{\beta_1 t (PH_{\infty})}{1 + \beta_1 t}$$

Ecuación de Modelo Empírico de Azuara et al. para ganancia de sólidos

$$GS_t = \frac{\beta_2 t (GS_{\infty})}{1 + \beta_2 t}$$

Parámetros y requisitos operacionales para Deshidratación Osmótica. Partiendo de los datos experimentales anteriores, se obtuvieron predicciones de cinéticas (ganancia para sólidos, y disminución en contenido acuoso), que permitieron determinar parámetros y requisitos operacionales restantes: disolución hipertónica, cantidad de fruta, concentración, tiempo, temperatura, instrumentos, equipos, insumos de laboratorio siendo éstos detallados en la Tabla 7.

Experimentación para Deshidratación por Microondas

Como se especificó precedentemente, el método de deshidratación por microondas se estimó como de carácter secundario (complementario). A los fines consiguientes se consideraron los rasgos de potencia y tiempo específicos para cada fruto carnoso, obtenidos de la literatura consultada que luego del procesamiento osmótico, permitan remover contenido acuoso presente en Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya deshidratadas con mínimas alteraciones de características organolépticas

alcanzadas.

Tabla 7.

Parámetros y requisitos operacionales para deshidratación osmótica

Frutos Carnosos	Parámetros Operacionales	Requisitos Operacionales
Musa x Paradisiáca (mu)	- Solución hipertónica (s)Concentración: 55 °Brix. - Temperatura: 40 °C constante. - Relación s/m: 10:1. - Tiempo de inmersión: 360 Minutos.	Disolvente: agua destilada. Solutos: sacarosa. Cuchillo de acero inoxidable.
Manguifera Indica (ma)	- Solución hipertónica (s)Concentración: 60 °Brix. - Temperatura: 35 °C constante. - Relación s/ma: 3:1. - Tiempo de inmersión: 360 Minutos.	Tablas de soporte. Balanza digital. Vasos de precipitado. Plancha de calentamiento.
Carica Papaya (ca)	- Solución hipertónica (s)Concentración: 60 °Brix. - Relación s/ca: 10:1. - Temperatura: 50 °C constante. - Tiempo de inmersión: 360 Minutos.	Termómetro digital. Equipos de protección personal.

Nota. Elaborado con datos tomados de Arias et al. (2017), Arballo (2013), Calle y Yanqui (2010).

Parámetros y requisitos operacionales para deshidratación por microondas. Efectuado el análisis correspondiente se concretaron para cada fruto objeto de estudio, los parámetros y requisitos operacionales que están contenidos en la Tabla 8.

Tabla 8.

Parámetros y requisitos operacionales para deshidratación por microondas

Frutos Carnosos	Parámetros Operacionales	Requisitos Operacionales
Musa x Paradisiáca (Banana)	• Potencia: 297 W. • Tiempo: 40 minutos.	
Manguifera (Mango)	• Potencia: 297 W. • Tiempo: 40 minutos.	Horno microondas con regulador de potencia.
Carica Papaya (Papaya)	• Potencia: 297 W. • Tiempo: 20 minutos.	

Nota. Elaborado con información de Arias et al. (2017), Arballo (2013), Calle y Yanqui (2010).

De esta manera, al determinar modelos fenomenológicos de deshidratación osmótica y por microondas se procedió a unificarlos estableciendo procesos posteriores considerando cinéticas, parámetros, variables, requisitos operacionales (equipos, instrumentos, insumos, materia prima), anteriormente expuestos. A los fines consiguientes, se siguieron los procedimientos detallados a continuación:

1. De establecimientos comercializadores se obtuvo la materia prima (10 Musa x Paradisiáca, 10 Manguifera Indica, 1 Carica Papaya); estos frutos se refrigeraron permitiendo buscar equipos, instrumentos e insumos.

2. Se procedió a su preparación, iniciando lavado con agua para eliminar interferencias; luego se removieron cáscaras como semillas mediante pelado mecánico. Finalmente se redujeron dimensiones según requerimientos del proceso, procediendo a su pesaje y al registro de magnitud obtenida.

3. Se formularon soluciones hipertónicas de 60 y 55 °Brix, por separado. Sin embargo, su método de obtención es similar: 1650 ml de agua destilada fueron colocados en tres recipientes (dos con 600 ml – A, B – y, el restante en C), para luego adicionar soluto (600 gramos en los dos primeros; mientras

que en el último se agregaron 550 gramos de sacarosa comercial).

4. Cada mezcla se colocó en plancha de calentamiento, agitándose mecánicamente a propósito de mejorar la disolución entre componentes, dejándose en reposo durante 30 minutos.

5. Introducción de la Musa x Paradisiaca, la Manguifera Indica y la Carica Papaya en solución hipertónica (55 y 60 °Brix respectivamente), colocando cada una sobre plancha de calentamiento, introduciendo termómetro digital y se esperó el tiempo necesario (360 minutos), para lograr el desarrollo efectivo de deshidratación osmótica. Seguidamente cada fruta deshidratada fue pesada, registrándose los datos obtenidos, para después remover excedentes exponiéndolas a corriente de agua, secarlas y colocarlas en recipientes.

6. Removidos los excedentes se encendió el microondas, programándolo tanto en potencia como en tiempo necesario (297 W – 20 o 40 minutos).

7. Distribución equitativa del fruto deshidratado sobre el plato giratorio del horno, controlando pérdidas másicas, midiendo y registrando magnitudes cada 10 minutos.

8. Empaque del producto final en bolsas de polietileno. Es de acotar que el procedimiento seguido fue similar para todas las frutas al terminar la etapa anterior.

Características Fisicoquímicas del Producto Final Deshidratado

Durante los procedimientos en laboratorio, los frutos objeto de estudio fueron fotografiados y pesados para verificar y exponer cambios en las características fisicoquímicas, organolépticas de Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya deshidratadas. Se comprobaron variaciones en el aspecto físico, comparando apariencia inicial con final entre deshidratación osmótica y por microondas. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

Figura 4.

Variaciones de características fisicoquímicas en Musa x Paradisiaca, Carica Papaya y Manguifera Indica sometidos a deshidratación osmótica y por microondas



Los frutos carnosos redujeron sus proporciones debido a extracción acuosa, formando geometrías que difieren de las originales. En cuanto a tonalidad los Musa x Paradisiaca adquirieron coloración parduzca producida por reacciones de Maillard, siendo mayormente afectado su centro, presentando poros expandidos y dureza aumentada. En los Carica Papaya, por su parte, se aprecia concentración de pigmentos, confiriéndole intensidad; además su dureza aumentó. Por su parte, los Manguifera exhibieron mesocarpio anaranjado con resistencia amplia.

Las reducciones como las ganancias, durante intervalos de tiempo en deshidratación osmótica se verificaron en el respectivo fruto carnoso, mediante la utilización de las ecuaciones de Crank y Azuara. Asimismo, los porcentajes totales en peso, agua o sólidos, considerando la pérdida en cada fruto, se obtuvieron mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

Pérdida total de peso

$$PP = \left(\frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{inicial}} \right) \times 100$$

Pérdida total de agua

$$PA = \left(\frac{(M_{inicial} \times C_{w\ inicial}) - (M_{final} \times C_{w\ final})}{M_{inicial}} \right) \times 100$$

Ganancia total de sólidos

$$GS = \left(\frac{(M_{final} \times C_{s\ final}) - (M_{inicial} \times C_{s\ inicial})}{M_{inicial}} \right) \times 100$$

Pérdida de peso durante deshidratación por microondas

$$PP = M_{inicial} - M_{final}$$

Al someter Musa x Paradisiáca, Manguifera Indica, y Carica Papaya, al horno microondas se establecieron específicos valores que permitieron construir Gráficas donde se visualizan variaciones características, las cuales se identifican como: 1, 2, 3 y 4.

El análisis de lo incluido en las gráficas expuestas lleva a expresar

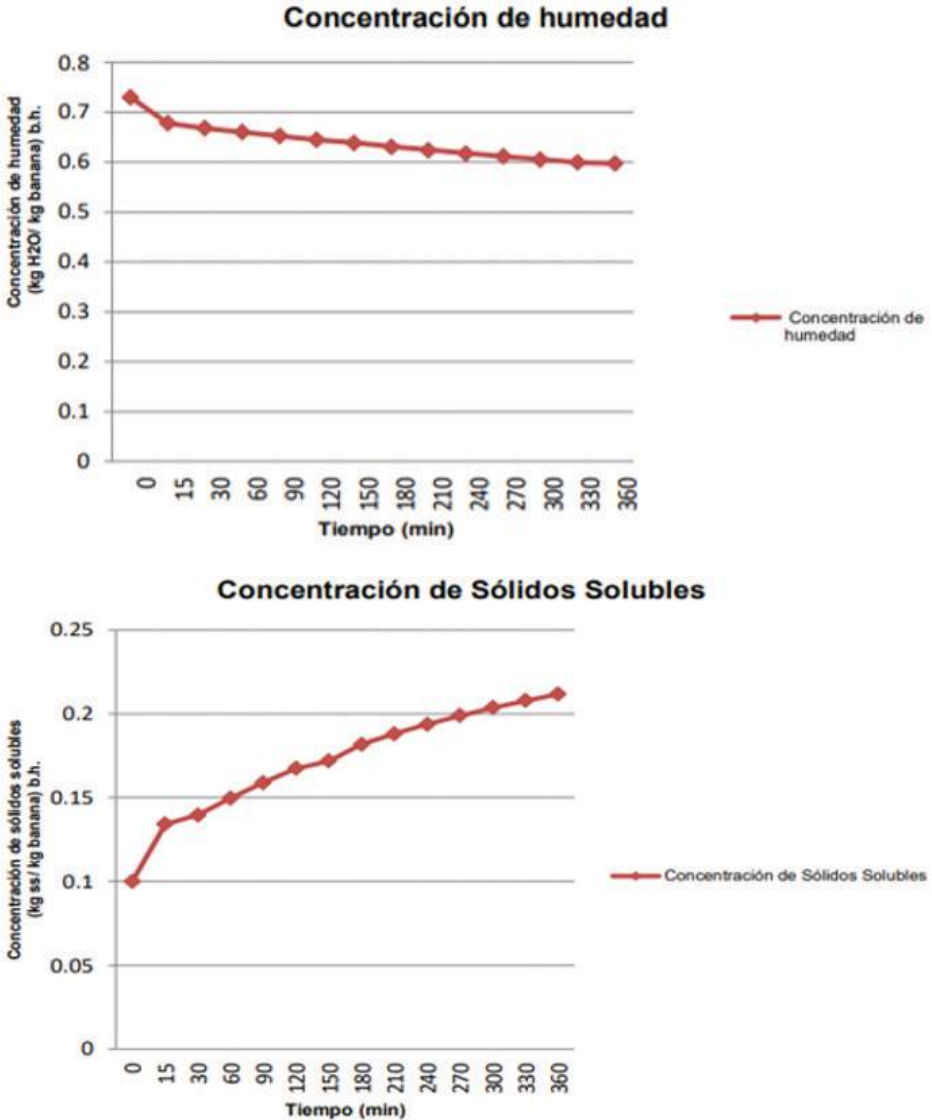
que durante las primeras exposiciones a la solución hipertónica suceden transferencias másicas, tanto de contenidos acuosos como de sólidos solubles, en mayor cantidad y velocidad, pues los gradientes de concentración impulsan estos movimientos difusivos. Sin embargo, aunque se observan reducciones en agua, deficiente tanto para Musa x Paradisiaca como para Manguifera Indica, la deshidratación por microondas compensa dicho factor por cuanto disminuye efectivamente masa como porcentaje de agua restante.

Posterior a la determinación de las características de los frutos carnosos objeto de estudio en la investigación ejecutada, se realizó el análisis sensorial, actividad llevada a efecto por Jurados elegidos al azar, quienes degustaron los productos deshidratados y emitieron, por escrito, sus opiniones sobre: apariencia, color, sabor, aroma y textura, así como respecto a las diferencias y similitudes con frutos carnosos homólogos frescos, del mismo tipo. Al finalizar las pruebas se pudo constatar que, aunque los tratamientos aplicados afectaron características organolépticas como sensoriales, y difieren de las particularidades originales, un ochenta y cinco por ciento (85%) de los jurados manifestó su aceptación sobre las propiedades presentes en dichos productos.

En cuanto a la verificación de períodos de conservación en Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya, se constató que los frutos deshidratados mantuvieron específicas características, pues como resultado del procesamiento a que fueron sometidos, la actividad acuosa se redujo a niveles significativamente menores, permitiendo su preservación y aumento de vida útil, a diferencia de los frutos carnosos frescos que desarrollaron reacciones químicas, enzimáticas biológicas y acciones de microorganismos propiciadas por el contenido de agua libre, así como por la interacción con compuestos y/o seres vivos.

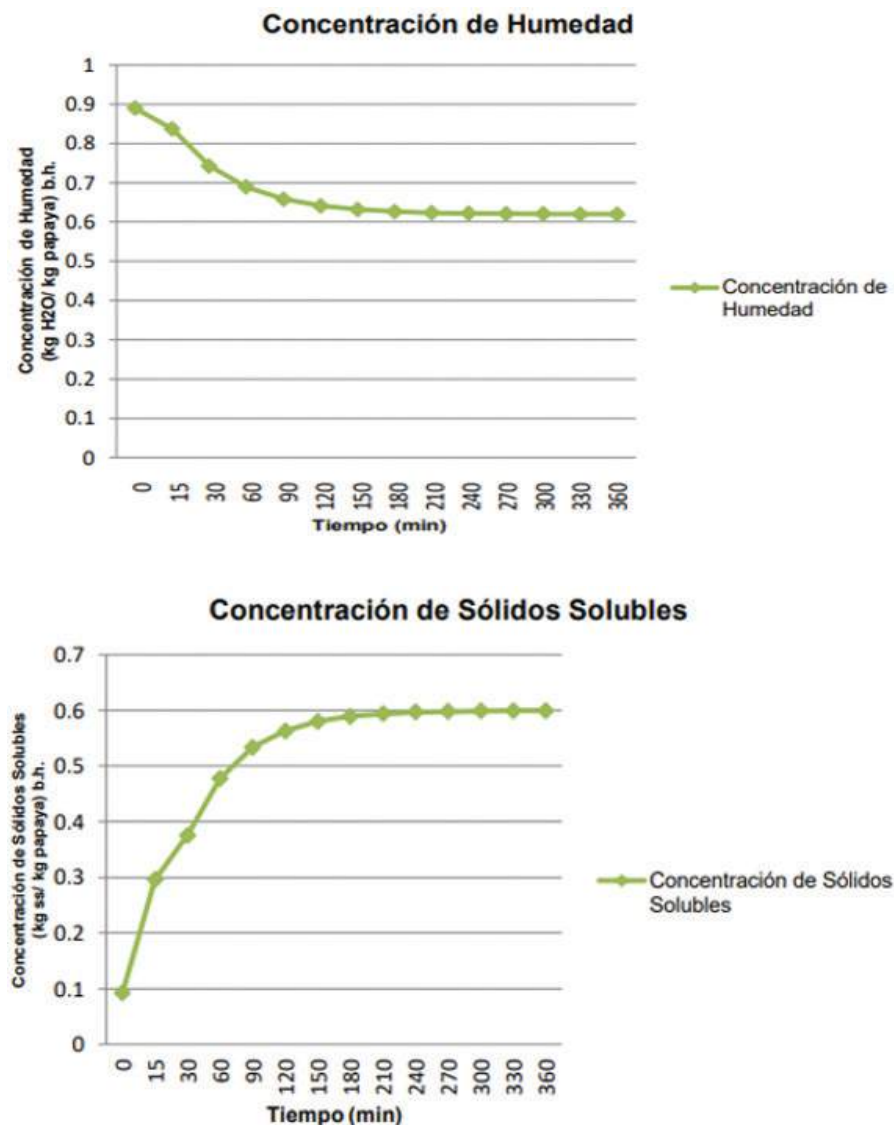
Gráfica 1.

Concentración de humedad y sólidos solubles durante deshidratación osmótica de Musa x Paradisiaca



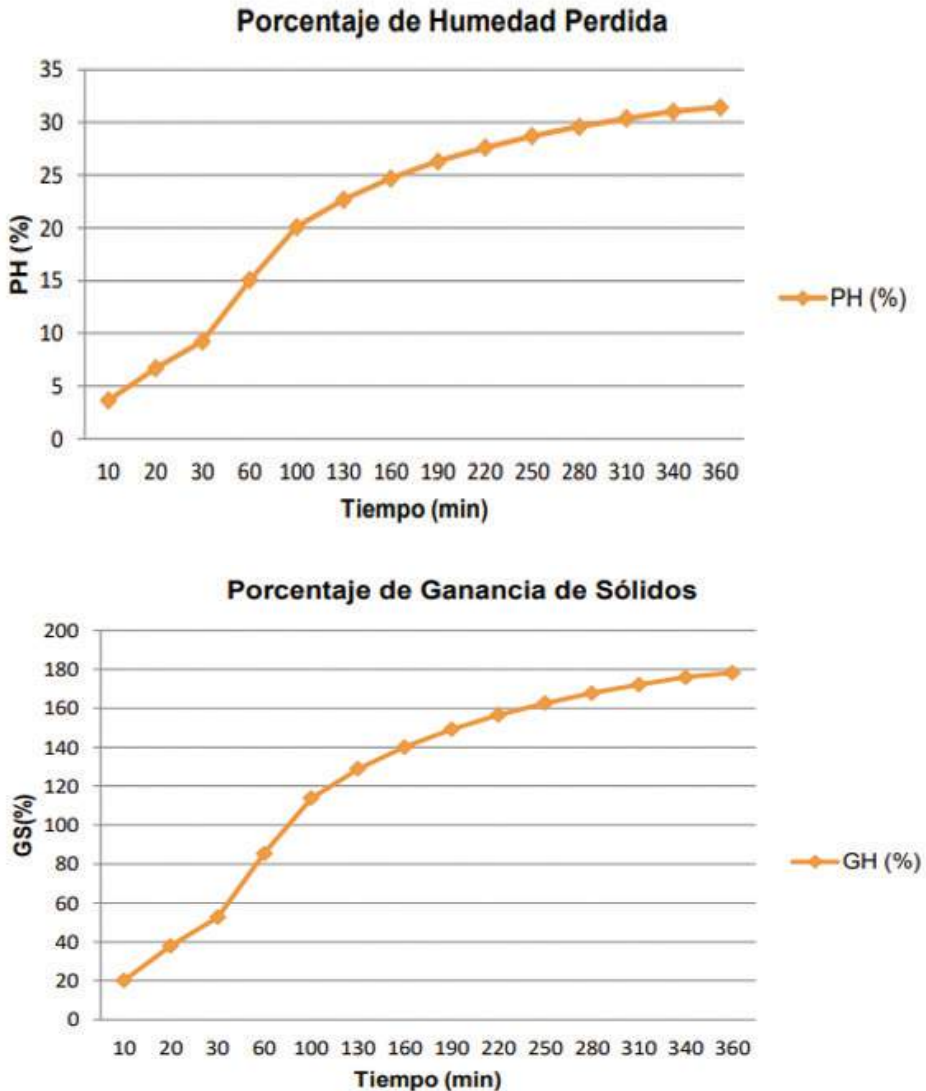
Gráfica 2.

Concentración de humedad y sólidos solubles durante deshidratación osmótica de Carica Papaya



Gráfica 3.

Porcentaje de humedad perdida y de ganancia de sólidos durante deshidratación osmótica de Manguifera Indica



Gráfica 4.

Pérdida de masa durante deshidratación por microondas en Musa x Paradisiaca, Carica Papaya y Manguifera Indica



Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. La caracterización de los frutos carnosos en estudio resultó exitosa, pues la revisión documental del tipo bibliográfico, avalada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), permitió obtener referentes adecuados sobre maduración, morfología, composición (ácido ascórbico, carbohidratos), contenido acuoso, sólidos solubles (glucosas, sacarosa, fructuosa), actividad de agua (utilizando ecuación de Norrish), presentes en Musa x Paradisica, Manguifera Indica, Carica Papaya, de Cultivos Cavendish Valety, Keitt-Glenn y Cartagena Roja-Maradol, respectivamente.

2. Se obtuvieron referentes sobre los métodos deshidratantes, como: principios funcionales, variables operacionales, recursos necesarios para su aplicación, y efectos secundarios provocados en alimentos.

3. El análisis comparativo de los métodos deshidratantes permitió seleccionar la deshidratación osmótica y por microondas como tratamiento primario y secundario, respectivamente, pues en concordancia con lo expresado por diferentes autores, unificar los procedimientos y atributos ofrece resultados favorables y efectivos en remoción acuosa, permanencia de compuestos volátiles de interés, alteraciones aceptables sobre características fisicoquímicas, organolépticas, sensoriales, y aumento de períodos preservativos en Musa x Paradisica, Manguifera Indica, y Carica Papaya.

4. La metodología procedimental obtenida para aplicar modelaciones fenomenológicas a Musa x Paradisica, Carica Papaya (ecuación de Crank) y empíricas (fórmulas de Azuara) en Manguifera Indica, permitió predecir cinéticas de variables fundamentales para deshidratación osmótica (perdida acuosa, ganancia en sólidos, disminución masiva), y determinar condiciones operacionales requeridas.

5. Aunque se obtuvieron deducciones congruentes con lo expresado por diferentes autores, las implementaciones en Musa x Paradisiaca, como en Manguifera Indica, fueron deficientes en remoción de agua debido a parámetros (solución hipertónica, temperatura), que dificultaron el respectivo proceso. Por tal motivo, resultados y análisis anteriores fueron tomados en cuenta al determinar condiciones operacionales durante deshidratación por microondas.

6. Se establecieron potencias iguales (297W), pero tiempos de procesamiento mayores para Musa x Paradisiaca y Manguifera Indica, con respecto a Carica Papaya (40 minutos, 20 minutos, respectivamente), para compensar aumentando perdidas en contenido acuoso remanente del proceso osmótico.

7. Al comparar los datos derivados como producto de la aplicación de ambos métodos deshidratantes, con lo expuesto por diversos autores sobre la temática, se obtuvieron resultados similares. Tal hecho, otorgó veracidad y confiabilidad a los procedimientos aplicados.

8. La evaluación de los frutos carnosos del tipo de Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya, resultó sumamente conveniente para verificar fluctuaciones o variaciones sobre características intrínsecas (aspecto físico, alteraciones de peso, contenido de sólidos solubles, coloración, porosidad y dureza) originadas por adicionar sacarosa a estructuras, extracción acuosa, exposición a temperaturas en rangos 30-50 °C activando reacciones de Maillard.

9. En general, un 85 por ciento del publicó que, de manera circunstancial participó en la investigación, expresó su aceptación a los frutos deshidratados, pues si bien poseen diferencias significativas con homólogos frescos, su sabor, olor y consistencia resultaron agradables.

10. El experimento llevado a efecto para, en una semana, verificar la vida útil de Musa x Paradisiaca, Manguifera Indica y Carica Papaya deshidratadas, respecto a sus homólogos frescos, demostró que los frutos deshidratados mantuvieron su estabilidad debido a la remoción como

disminución de agua, en tanto los frutos frescos por su contenido acuoso libre propició reacciones químicas, enzimáticas, físicas, microbiológicas, favoreciendo su putrefacción y deterioro.

Recomendaciones

1. Estudiar nuevas combinaciones de métodos deshidratantes para conformar procedimientos específicos, unificar eficiencias de remoción acuosa, proporcionar características deseadas a frutos carnosos y obtener productos dentro de rangos aceptables.

2. Optimizar metodología procedimental variando parámetros operacionales en deshidratación osmótica (solución hipertónica y temperatura de proceso), de acuerdo a frutos carnosos en estudio.

3. Verificar cambios en contenido de ácidos orgánicos, grasas saturadas, carbohidratos, proteínas, de cualquier fruto carnoso sometido a métodos deshidratantes, determinando su valor energético y nutricional.

4. Divulgar la efectividad de métodos deshidratantes para aumentar períodos preservativos en frutos carnosos que presenten altos contenidos de humedad, con miras a realizar estudios de pre-factibilidad, factibilidad y viabilidad sobre comercialización de frutos carnosos desecados.

Referencias

- Alzamora, S.; Guerrero, S.; Nieto, A. y Vidales, S. (2011). *Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Manual de capacitación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/a-y5771s.pdf>
- Arballo, J. R. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería. <https://doi.org/10.35537/10915/26611>

- Arias, F. (2016). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. (7ma. ed.)*. Editorial Episteme– Venezuela.
- Arias, L.; Perea, Y. y Zapata, J. (2017). Cinética de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de mango (*Magnifica indica* L.) var. Tommy Atkins en función de la temperatura. *Informática Tecnológica*, 28(3), 47-58. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n3/art06.pdf>
- Arias Velásquez, C. J. y Toledo Hevia, J. (2010). *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a111220e-d670-46ba-bf6e-f15d62f507b2/content>
- Azuara, E.; Cortés, R.; García, H. S. y Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409-418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>
- Baptista L., M.; Hernández, S. R., y Fernández, C., C. (2014). *Metodología de la investigación. (6ta. ed.)*, McGraw-Hill – México.
- Benítez, R. (2018). *Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/americas/news/news-detail/pda-benitez/es>
- Calle, V. y Yanqui, P. (2010). *Efecto del estado de madurez, concentración y temperatura en la difusión efectiva de sacarosa en papaya* (*Carica papaya* L.) en el módulo de osmodeshidratación. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_a44f00cc087e1400275bc38f4cae5490
- Ciro V., H. y Millán C., J. (2012). Caracterización mecánica y físico-química del

banano tipo exportación (Canendish Valery). Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina – Perú.

Condori, M.; Kerkhoff, A. y Mantulak, M. (2014). *Caracterización de un deshidratador híbrido en Misiones, incorporación de mejoras para aumentar su eficiencia energética*. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta – Argentina. <https://briunsa.unsa.edu.ar/server/api/core/bitstreams/f46728be-81f7-441c-bc9c-0a3ba9caa686/content>.

Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agrícolas (2017). *Producción por rubros, subsectores y grupos*. <https://fedegro.org/estadisticas-agricolas/produccion-agropecuaria/produccion/>

Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Clarendon Press.

Fedegro (2017). *Producción agropecuaria*. <https://fedegro.org/estadisticas-agricolas/produccion-agropecuaria/produccion/>

Fundación Empresas Polar. (s.f.). *GeoVenezuela*. Biblioteca Digital Fundación Empresas Polar. <https://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/>

Márquez Guzmán, J.; Collazo Ortega, M. y Martínez Gordillo, M. (Eds.). (2013). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.

Martínez, M.; Di Sapio, O.; Cargo, J.; Scandizzi, A.; Taleb, L., y Campagna, M. (2010). *Principios de Botánica Sistemática*. Universidad Nacional de Rosario. <https://bvhumanidades.usac.edu.gt/items/show/2168>

Medina, C. (2015). *Estudio del proceso de deshidratación de alimentos frutihortícolas: empleo de microondas y energía solar*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de La Plata. <https://sedici.unlp.>

edu.ar/bitstream/handle/10915/46496/Documento_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Mera, S., J. (2015). *Memoria descriptiva: manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana – Iquitos: Perú. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/items/824230cd-aab8-4dd9-aa2f-61d06bc9158b>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2012). *Glosario de términos sobre garantía de calidad y buenas prácticas de laboratorio*. FAO – Viena.

Ríos, D. (2013). *Química de alimentos de frutas tropicales*. Trabajo de suficiencia profesional para optar al título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/2564>

Rodríguez, A. (2015). *Comparación de métodos combinados (ósmosis directa-microondas y secado convectivo por aire caliente-microondas) para la deshidratación de frutos del bosque*. Tesis presentada para obtener el título de Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata – Argentina. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34108>

Serrano, M.; Fernández, I. y García, E. (2010). *Talleres de botánica: Los frutos*. Real Jardín Botánico, CSIC. https://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/didactica/Los_Frutos.pdf

Silva, J. A. (2014). *Metodología de la investigación. Elementos básicos*. Editorial Ediciones Colegial Bolivariana C.A. – Venezuela.

- Soto, M. (2018). *Desarrollo de roles frutas a escala piloto a partir de materia prima nacional*. Tesis de Maestría. Universidad de Carabobo.
- Techeira, G. (2010). *Evaluación del comportamiento del proceso de secado a través de la cinética de deshidratación por convección forzada en calabacín (cucúrbita pepo)*. Tesis de Pregrado. Universidad Central de Venezuela.
- Universidad Nacional del Nordeste (2009). *Introducción a las angiospermas*. (Documento Académico). UNNE – Corrientes: Argentina.
- Wais, N. (2010). *Secado combinado de frutas: deshidratación osmótica y microondas*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ingeniería – Argentina.
- Yanqui, C., P. y Maquera C., V. (2010). *Efecto del estado de madurez, concentración y temperatura en la difusión efectiva de sacarosa en papaya (Carica papaya L.) en el módulo osmodeshidratación*. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano – Perú.
- Yupanqui, E. A. (2010). *Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo (manguijera indica l) de Satipo*. Tesis presentada para optar al título de Ingeniera en Ciencias Agrarias, Especialidad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional del Centro del Perú – Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1892/Yupanqui%20Cristobal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>