LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN, LA ATOMIZACIÓN, LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y EL CONTENIDO VITAMÍNICO A DEL AGUAJE (*MAURITIA FLEXUOSA*)

ROGER RUIZ PAREDES
JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE
ALENGER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO

EDITORIAL
TERCER SOL
MEXICO

LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN, LA ATOMIZACIÓN, LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y EL CONTENIDO VITAMÍNICO A DEL AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA)

ROGER RUIZ PAREDES

JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE

ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO

Roger Ruiz Paredes
Correo de contacto: roger.ruiz@unapiquitos.edu.pe
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8637-3489
Perfil: Docente Principal en la Facultad de Industrias Alimentarias, de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Ingeniero de Alimentos, con Maestría en Ingeniería de Alimentos por la UNICAMP - Brasil. Doctorado en Ambiente y Desarrollo Sostenible. Desarrollo investigaciones en el campo de la cinética de secado de Alimentos, Cinética Enzimática y Microbiana, elaboración de nuevos productos y simulación de procesos.
Afiliación: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
Perú

Jessy Patricia Vásquez Chumbe
Correo de contacto: jessy.vasquez@unapiquitos.edu.pe
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4949-9159
Perfil: Bióloga. Docente Principal en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Con Maestría en Docencia e Investigación Universitaria. Estudios de Doctorado en Ambiente y Desarrollo Sostenible. Jefe de Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Desarrollo investigaciones en el campo de compuestos bioactivos (actividad antimicrobiana de extractos y aceites de plantas amazónicas, colágeno), control de calidad de alimentos y aspectos nutricionales, aislamiento e identificación de bacterias y levaduras.
Afiliación: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
Perú

Alenguer Gerónimo Alva Arévalo
Correo de contacto: alenguer.alva@unapiquitos.edu.pe
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4009-2328
Perfil: Docente Principal en la Facultad de Industrias Alimentarias de la de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, con 35 años de servicio en la UNAP, Ingeniero de Alimentos, con Maestría en Química de Productos Naturales y Doctorado en Ciencias Químicas, Asesor de tesis de pre y posgrado. Investigador de la UNAP con publicaciones en revistas científicas indexadas. Investigador en productos alimenticios con valor agregado. Investigador de diagnóstico nutricional en la Amazonía peruana.
Afiliación: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
Perú

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.

ISBN 978-607-59764-0-2
© Roger Ruiz Paredes
© Jessy Patricia Vásquez Chumbe
© Alenguer Gerónimo Alva Arévalo

DOI:

2023
© Editorial Tercer Sol

www.editorialtercersol.com

Este libro es resultado de la investigación *Modelización de isotermas de sorción del atomizado de Mauritia flexuosa Aguaje y su efecto en el contenido vitamínico A, Iquitos 2020.*, realizada en la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos

Edición electrónica: Editorial Tercer Sol

Editado en México
Published in Mexico

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS 8
ÍNDICE DE FIGURAS 9
INTRODUCCIÓN 10

CAPÍTULO I
ASPECTOS GENERALES DEL FRUTO MAURITIA FLEXUOSA (AGUAJE): UNA REVISIÓN A LOS FRUTOS DE LA AMAZONÍA PERUANA 12

1.1. ¿Qué es el aguaje? 12
1.2. Clasificación taxonómica del aguaje 15
1.3. Descripción del cultivo del aguaje 16
1.4. Distribución geográfica del aguaje 17
1.5. Composición bioquímica del aguaje 19
1.6. Beneficios del consumo y la aplicación del aguaje 20

CAPÍTULO II
CUESTIONES MEDULARES DEL SECADO DE LOS ALIMENTOS: UNA APROXIMACIÓN A LA ATOMIZACIÓN 24

2.1. Panorama general del procesamiento de alimentos 25
2.2. ¿En qué consiste el secado de los alimentos? 26
2.3. Métodos de secado de los alimentos 28
2.3.1. Liofilización 28
2.3.2. Al vacío 29
2.4. Definiciones centrales de la atomización 31
2.5. Características generales de la atomización 32
2.6. Proceso de atomización de los alimentos 33
2.7. Beneficios de la atomización: valor agregado a los productos de la Amazonía 34

CAPÍTULO III
LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN Y SUS MODELOS MATEMÁTICOS: NOCIONES BÁSICAS 36

3.1. Definiciones centrales de la sorción 37
3.2. Conceptos medulares de las isotermas de sorción 37
3.3. Tipos de isotermas de sorción 41
3.4. Aplicación en la industria alimenticia y sus beneficios 41
3.5. Principales modelos matemáticos de las isotermas de sorción 43
3.5.1. Modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET) 45
3.5.2. Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB) 46
3.5.3. Modelo Henderson 46

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL MODELO DE ISOTERMA DE SORCIÓN DEL ATOMIZADO DE LA FRUTA AMAZÓNICA AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA) 48

CAPÍTULO V

REFLEXIONES FINALES EN TORNO A LA IMPORTANCIA DEL PROCESAMIENTO DE SECADO DE LOS FRUTOS AMAZÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS 89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del aguaje 19
Tabla 2. Modelos matemáticos más comunes para las isotermas de sorción 44
Tabla 3. Operacionalización de las variables de estudio 49
Tabla 4. Diseño factorial simple de la investigación 51
Tabla 5. Técnicas y recolección de datos 52
Tabla 6. Instrumentos para la recolección de datos 52
Tabla 7. Resultados del análisis físico-químico de mauritia flexuosa (aguaje atomizado) 53
Tabla 8. *Contenido de Provitamina A en la pulpa de Mauritia flexuosa (aguaje)* 54
Tabla 9. Análisis microbiológico del aguaje atomizado 55
Tabla 10. Humedad X (g agua/ 100 m. s.) con cloruro de sodio a 20 ° C 55
Tabla 11. Valores de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con cloruro de sodio a 25 °C 57
Tabla 12. Valores de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con loduro de potasio a 30 °C 58
Tabla 13. Valores de humedad de equilibrio Xe (g de agua/g.m.s) para las diferentes sales. 60
Tabla 14. Valores de las constantes de GAB. y BET. (20 °C) 61
Tabla 15. Valores de las constantes de GAB. y BET. (25 °C) 62
Tabla 16. *Valores de las constantes de GAB. y BET. (30 °C)* 63
Tabla 17. Determinación de la energía de activación (Ea) de las constantes de GAB. por el método de Arrhenius 65
Tabla 18. Datos experimentales de polvo atomizado de la pulpa de mauritia flexuosa (aguaje) por el modelo matemático de Arrhenius 70
Tabla 19. Índice de peróxido 72
Tabla 20. *Proyecciones de "k" para diferentes T °C* 72
Tabla 21. Proyecciones para el cálculo del tiempo de vida útil 72
Tabla 22. Análisis de Varianza del efecto de las variables sobre el contenido de provitamina A 74
Tabla 23. Balance de la materia de pulpa de mauritia flexuosa (aguaje) 79
Tabla 24. Balance energético 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica del aguje en Sudamérica 18
Figura 2. Contenido comparativo de vitamina A/beta-caroteno 22
Figura 3. Esquema del proceso de atomización 33
Figura 4. Ejemplo de la isoterma de sorción de agua de un alimento 39
Figura 5. Regiones de las isotermas de sorción 39
Figura 6. Curva del proceso de humedad del cloruro de sodio a 20°C 56
Figura 7. Curva del proceso de humedad de cloruro de sodio a 25 °C 58
Figura 8. Curva del proceso de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con ioduro de potasio a 30 °C 59
Figura 9. Isotermas de adsorción precisas a través del modelo de GAB. y BET. a temperatura de 20°C 66
Figura 10. Isotermas de adsorción precisas a través del modelo de GAB. y BET. a temperatura de 25 °C 67
Figura 11. Isotermas de adsorción precisas mediante el modelo de GAB. y BET. a temperatura de 30 °C 68
Figura 12. Curvas de logaritmo de la constante K vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius 68
Figura 13. Curvas de Logaritmo de Xm del producto vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius 69
Figura 14. Curvas de Logaritmo de C del producto vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius 70
Figura 15. Regresión lineal por el modelo de Arrhenius 71
Figura 16. Curva del tiempo (meses) almacenado a diferentes temperaturas 73
Figura 17. Interacción de los factores durante el proceso 75
Figura 18. Selección de temperatura (°C) vs diámetro (mm) 76
Figura 19. Selección de temperatura (°C) y maltodextrina (%) 77
Figura 20. Selección de diámetro (mm) y maltodextrina (%) 77
Figura 21. Gráfica de superficie 78

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha producido un crecimiento exponencial de la población mundial. Este hecho ha generado que la demanda de alimentos se incremente considerablemente. Tal como indican Yoplac et al. (2021), existe una demanda creciente en la producción de alimentos y sus derivados para compensar la demanda de la población existente.

La Amazonía es una de las áreas geográficas con mayores niveles de diversidad en cuanto flora y fauna, por lo que se le suele caracterizar como megadiversa biológicamente. Al respecto, en el caso del área peruana, se destaca por la presencia de alimentos altamente nutritivos para la dieta humana.

En efecto, los productos de la Amazonía contienen una gran cantidad de componentes bioquímicos saludables, cuyos elementos bioquímicos son aplicados en distintos campos de comercio, tales como la farmacéutica, los cosméticos y, por supuesto, los alimentos. Algunos de los ingredientes activos con mayor potencial en la industria alimenticia son los antioxidantes, fenólicos, saborizantes, colorantes, aceites y ácidos grasos, fragancias, entre otros (Rubiela et al., 2016).

De los productos que tienen un gran potencial, en la literatura, se observa que destacan, principalmente, las frutas y los vegetales. En relación con el primer grupo, en el caso de la Amazonía peruana, destaca la *mauritia flexuosa*, cuya fruta contiene un alto valor de vitamina A, por lo que es considerado como un fruto con alto poder antioxidante (Resende et al., 2019).

Esta especie, conocida comúnmente en la región peruana como aguaje, se caracteriza por tener un gran alcance geográfico en Latinoamérica, así como por su valor nutricional. A

pesar de la potencialidad de este producto, su estudio en el campo de las industrias alimenticias aún es reciente e inicial, por lo que es necesaria su investigación.

Dentro de las ciencias del procesamiento de alimentos y la agroindustria, existen un conjunto de métodos convencionales que se abocan al estudio de la conservación de alimentos, ya sea por secado, extracción o emulsificación. En relación con el primer tipo, es uno de los más aplicados y antiguos en la práctica humana.

Para el logro del secado, existen distintos métodos, los cuales se relacionan en gran medida con la naturaleza del producto; por ejemplo, en el caso de la atomización, es recomendable para los alimentos con altos niveles de humedad. Aunado a este proceso, se recomienda el empleo de las isotermas de sorción; estas son herramientas que permiten conocer la actividad del agua en el producto previamente atomizado (Caiza, 2021).

Se observa, entonces, que existen distintos métodos y herramientas orientados al tratamiento del aguaje, sobre todo a su secado por atomización; no obstante, no son aplicados ni en el campo académico ni en las industrias locales. En ese sentido, a lo largo del manuscrito se sientan las bases para profundizar en este proceso, mediante el uso de herramientas matemáticas, tales como el modelo GAB y BET.

Para cumplir tal fin, este escrito se divide en cinco capítulos. En el primero, se abarca la caracterización del fruto de la *mauritia flexuosa* (aguaje); en el segundo capítulo, se tratan los conceptos relacionados con el procesamiento de alimentos, tales como el secado y sus distintos métodos, en especial, la atomización. En el tercer capítulo, se expone el marco conceptual de las isotermas de sorción y sus principales modelos matemáticos. En el cuarto y quinto capítulo, se muestran los resultados de una investigación en la que se estudia la relación entre algunos tipos de modelos matemáticos y el proceso de secado del aguaje, y un balance general del libro, respectivamente.

I

ASPECTOS GENERALES DEL FRUTO *MAURITIA FLEXUOSA* (AGUAJE): UNA REVISIÓN A LOS FRUTOS DE LA AMAZONÍA PERUANA

La Amazonía del Perú se caracteriza por manifestar una enorme diversidad biológica tanto a nivel de flora como de fauna. Esta abundancia de recursos naturales, sobre todo, se puede apreciar en los frutales nativos de la región, entre los que se puede destacar el camu camu, por su alto contenido de vitamina C, el aguaymanto, el arazá, la uvilla, la guanábana, el zapote, la chambira, el aguaje, entre otros. Estos frutos constituyen recursos vitales para los pobladores y los animales silvestres de la región, así como sirven de materias primas para la industria alimentaria regional y local.

Es así que el aguaje es uno de los frutos más valorados de la región amazónica, puesto que se constituye a nivel de Sudamérica como una de las plantas más abundantes y, además, porque las partes de la planta son aprovechadas para elaborar productos domésticos, artesanales e industriales (Resende et al., 2019). Aunque el valor comercial de este producto en las últimas décadas se debe a su valor nutricional, ya que se ha demostrado que posee altos niveles de vitamina A y contribuye al cuidado del organismo, gracias a su poderoso efecto antioxidante.

1.1. ¿Qué es el aguaje?

Mauritia flexuosa L. f. (Arecaceae) se considera la primera palmera amazónica que fue descrita científicamente en 1781. El género de aquella planta fue estudiado por Max Burret y publicado en Notizblatt des Botanischen Gartens und Museums zuBerlin-Dahlem en el año 1935 (Gómez, 2021). Con respecto al nombre taxonómico, se asume que Carlos

Linneo (El joven) lo dedicó al Conde Juan Mauricio de Nassau-Siegen; aunque también existe otra versión que asume podría venir de la lengua Tupí, a partir de los términos *mburiti* y *mbiriti*. Mientras que el rótulo *flexuosa* se debería a la forma ondulada de las hojas de la palmera. Esta planta es originaria de la Amazonía peruana, pero luego se extendió por los países de Brasil, Bolivia, Venezuela y Colombia, Ecuador e incluso Puerto Rico. De manera que, en la actualidad, es la palmera arborescente más abundante en América del Sur (Camelo-Silva et al., 2021). La *mauritia flexuosa*, según la región donde se encuentre, tiene denominaciones diferentes; por ejemplo, en Brasil se le conoce como Buriti, en Venezuela y Puerto Rico recibe el nombre de Moriche, en Bolivia la fruta es conocida como Kikyura; por su parte, en Colombia se conoce como carangucha, mientras que en Ecuador la denominación es morete y, finalmente, en el Perú el nombre de esta planta es el aguaje (Moraes et al., 2020).

Una aproximación a sus características principales

La palmera del aguaje presenta características botánicas sobresalientes, que permiten distinguir a esta planta de otras palmeras que habitan en la enorme biodiversidad de la región amazónica. En el caso de las plantas adultas de esta especie, ostentan una copa en forma de esfera que posee hojas compuestas y un promedio de 10 a 20 hojas que se encuentran cercanas al tallo (Koolen et al., 2018). El tamaño de las hojas puede alcanzar hasta los seis metros de largo, y sus partes presentan lámina, nervadura, pecíolo y la vaina. El tronco es de forma cilíndrica y de textura lisa, el diámetro promedio que puede alcanzar es de 30 a 60 cm y, en cuanto al tamaño, si las condiciones del hábitat son favorables, el aguaje puede alcanzar hasta los 40 metros de altura. Por su parte, sus raíces crecen en promedio hasta 60 cm de profundidad y luego se extienden horizontalmente unos 40 cm

(Camelo-Silva et al., 2021). Asimismo, el aguaje puede presentar raíces aéreas, es decir, raíces que suelen crecer por encima del nivel de la tierra, cuando crecen en zonas con alto nivel de humedad. La finalidad de estas raíces es garantizar la respiración de la planta.

Por otra parte, acorde a lo manifestado por Daza (2014), el aguaje es una polígama dióica, es decir, presenta flores femeninas y masculinas e incluso bisexuales. La planta femenina es aquella responsable de producir el fruto, pero para que eso suceda necesita de la flor masculina para su polinización. Las flores femeninas presentan un matiz naranja y, cuando se encuentran en la etapa reproductiva, sus flores se tornan más brillantes; respecto al tamaño, alcanzan los 2 mm de largo. En el caso de las flores masculinas, el color que presentan es naranja con la diferencia que tienen espiguillas en forma de piña que contienen un promedio de 115 flores; respecto al tamaño, alcanzan los 7 0 10 mm de largo.

Los frutos de buritÍ se caracterizan por ser más largos que anchos, de ahí que presenten una forma oblonga. Además, su forma también presenta rasgos elipsoides, semejantes a una esfera imperfecta. El tamaño de los frutos es de 5-7 cm de largo y de 4-5 cm de diámetro, mientras que su peso alcanza los 40 y 85 gramos. En cuanto a su composición físico-químico, el aguaje, en términos de porcentaje, presenta las siguientes cifras: 20 % de piel, 10-20 % de mesocarpio, 15-20 % de endocarpio y de 40-45 % de semilla (Koolen, et al., 2018). El porcentaje de la semilla es alto, puesto que por cada fruto pueden encontrarse hasta tres semillas. Lo llamativo de este fruto es que el exocarpio está cubierto de escamas, generalmente de color rojizo, en forma de diamantes yuxtapuestos. El mesocarpio presenta 4,6 mm de espesor, y el color que manifiesta es de color anaranjado, mientras que su textura es aceitosa y pastosa. Finalmente, las semillas tienen una forma esférica con el rafe alineado a lo largo de su eje longitudinal.

Cada planta de aguaje llega a producir aproximadamente 725 frutos por racimo. Si se tiene en cuenta que la palmera produce en promedio ocho racimos, entonces, la producción total de frutos oscilaría 5600 a 5800 frutos, lo que significa un aproximado de 290 kilos por palmera (Bonesso y Roberto, 2012).

1.2. Clasificación taxonómica del aguaje

La taxonomía del aguaje, según el Orbe (2019), es la siguiente:

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Monocotiledónea
Subclase:	Liliopsida
Orden:	Arecales
Familia:	Arecaceae
Sub Familia:	Calamaoideae
Tribu:	Lepidocaryeae
Género:	*Mauritia*
Especie:	*Mauritia flexuosa*

En el departamento de Loreto y en otras regiones del continente sudamericano, según Falen y Honorio (2018), se identifican diferentes plantas de aguaje, que varían según el color y el grado de maduración del fruto. Por ejemplo, todo el mesocarpio, es decir, la pulpa es roja y recibe el nombre de “shambo”, y el uso es comercial para consumo humano; en cambio, si la superficie de la pulpa presenta un color rojizo, mientras que el resto es de color amarillo, recibe el nombre de “color” y se vende como fruta, pero también se utiliza

para preparar refresco de aguajina. El fruto del aguaje se llama "amarillo" o "posheco" cuando todo el mesocarpio es de color amarillo. En esta circunstancia, el fruto se puede usar para preparar aguajina, curichis, chupetes, helados, etc. Finalmente, cuando los frutos del aguaje no están suficientemente maduros, recibe el nombre de "shambo azul" (Orbe, 2019).

1.3. Descripción del cultivo del aguaje

Existen dos métodos o maneras de cómo se propaga y reproduce el aguaje; el primero de ellos es la propagación a través del cultivo. Lo primero que se realiza es acondicionar un vivero y, acto seguido, colocar las semillas; cabe mencionar que las semillas no deben tener más de 30 días si se desea garantizar un buen brote de las plantas de aguaje. La germinación es lenta en contraste con otras plantas de la zona, ya que se demora un promedio de 80 días y, cuando han transcurrido unos cinco meses, recién se pueden trasplantar, para ello las bolsas donde serán colocadas deben contener en promedio dos kilos de abono mezclado con la tierra del suelo. La segunda manera de propagación es a partir de la germinación natural de las plantas que suelen crecer debajo de las palmeras adultas o, por otro lado, las semillas son dispersadas gracias a la acción de algunos animales como primates, venados, tapires, aves e incluso peces (Falen y Honorio, 2018). En ese caso, bien se mantiene la población de aguajes en su entorno o bien son trasladadas a otras zonas con la finalidad de mantener la población de estas plantas.

Asimismo, el método más usado para la recolección de los frutos de aguaje es utilizando la Maquisapa, un equipo de escalada que se caracteriza por cuidar tanto a la persona que la utiliza, los frutos que recolecta y, sobre todo, la planta por la cual se escala. Pero también

existe un equipo de escalada muy similar denominado "el estrobo", compuesto por dos cuerdas que rodean el tronco de la palmera (Freitas et al., 2019). Finalmente, la cosecha comienza aproximadamente después de haber transcurrido siete años desde el sembrado, y la producción de aguajales se mantiene hasta los 50 años. Cabe indicar que el fruto del aguaje es susceptible de una maduración rápida, sobre todo cuando está expuesto al sol. Por ello, cuando los frutos son trasladados en sacos se recomienda que se garantice un ventilación adecuada e higiénica con la finalidad de que se obtenga una maduración homogénea de los frutos.

1.4. Distribución geográfica del aguaje

El aguajal, según Gómez (2021), se asume que tuvo su origen en las cuencas del río Amazonas y que, a partir de ahí, creció en terrenos de la selva que se caracterizan, en la actualidad, por ser áreas que presentan una superficie hidromórfica; es decir, suelos que presentan una alta humedad, tales como las zonas pantanosas o por presencia constante de lluvias. Por ello, los suelos presentan una mayor cantidad de inundación. En las últimas décadas, los factores antrópicos también son considerados una causa de generar superficies hidromórificas (Koolen et al., 2018). Generalmente, se asume que crece en zonas muy cercanas a la superficie terrestre, pero también se han encontrado plantas de aguaje en las faldas de los andenes a unos mil metros de altitud.

En el caso de Brasil, al conjunto de bosques homogéneos donde abunda la *Mauritia flexuosa* se le denomina "buritizais", mientras que en el del Perú, al monocultivo de esta palmera se le denomina "aguajales". En ambos paises, el área cubierta por esta planta se extiende por millones de hectáreas, lo que implica que desempeña un rol ecológico

importante (Miranda et al., 2018). Asimismo, los pobladores de la selva distinguen dos clases de aguajales o "buritizais". Uno que se caracteriza por la sola presencia de plantas de esta especie y otras que presentan una coexistencia muy cercana con el ungurahui (Freitas et al., 2021). La palmera del aguaje es una de las plantas más abundantes en la Amazonía peruana. Los aguajales en Perú se estiman que cubren casi cinco millones de hectáreas del territorio, y se pueden encontrar en los departamentos de Cusco, Ucayali, Pasco, Huánuco, Amazonas, San Martín y Loreto. En este último departamento mencionado, los aguajales se concentran en el río Marañón (Falen y Honorio, 2018).

Figura 1. *Distribución geográfica del aguje en Sudamérica*

Nota. Tomado de Bonesso y Roberto (2012).

Como se puede apreciar en la Figura 1, la planta del aguaje se encuentra distribuido en los países de Perú, Brasil, Colombia, Ecuador, Bolivia, Venezuela, Guyana, Trinidad y Tobago y Surinan (Bio-Pat Perú, 2017).

1.5. Composición bioquímica del aguaje

La pulpa, como la mayoría de las frutas, es la parte que mayor análisis e investigación ha manifestado para determinar su composición bioquímica, así como su valor nutricional (Resende et al., 2019). La descripción versa a nivel de las macromoléculas, tales como las proteínas, los carbohidratos y los lípidos, así como a nivel de micronutrientes (vitaminas y minerales). También se ha evaluado el porcentaje de agua y las cantidades de fibra que pueda presentar. El porcentaje de agua en la pulpa es significativo, puesto que representa entre el 50 % a 70 %, mientras que las fibras solo poseen un 10 % del peso total.

Tabla 1. *Composición nutricional del aguaje*

Componente	Valor
Energía (Kcal)	283
Proteína (g)	2.3
Carbohidratos totales (g)	18.1
Cenizas (g)	0.9
Agua (g)	53.6
Grasa total (g)	25.1
Fibra cruda (g)	10.4
Calcio (mg)	74
Fósforo (mg)	27
Hierro (mg)	0.70
Retinol (ug)	706,00
Tiamina (mg)	0.12
Riboflavina (mg)	0.17
Niacina (mg)	0.30

Nota. Tomado del Ministerio de la Producción (2018).

A nivel de macromoléculas, como se logra observar en la Tabla 1, por cada 100 g de pulpa se tienen los siguientes valores: 25.1 g de lípido, 18.1 g de carbohidratos, que se caracterizan por presentar pépticos altos en arabinanos, 2,3 g de proteína. Mientras que, a nivel de micronutrientes, el aguaje presenta niveles sumamente altos de vitamina A, particularmente las provitaminas A como los carotenoides y los tocoferoles, que permite un cuidado de los pigmentos de la retina. También presenta niveles de vitamina E, compuestos fenólicos (el ácido quínico, el ácido cafeico y el ácido ferúlico), flavonoides que actúan como agentes antioxidantes en el organismo y fitoesteroles que contribuyen a la reducción de colesterol en el cuerpo (Moraes et al., 2020).

1.6. Beneficios del consumo y la aplicación del aguaje

Usos de la planta del aguaje

La planta del aguaje representa un sustento económico fundamental para numerosas familias de la Amazonía que se orientan a su cosecha y comercialización, puesto que la mayoría de las partes de la planta son utilizadas (Bio-Pat Perú, 2017). De esta manera, los beneficios que se obtienen a partir del uso de la planta son diversos. Por ejemplo, a partir de las hojas se pueden obtener los siguientes productos: diversos muebles como mesas, sillas, bancos e incluso camas. También se puede usar para construir techos de las casas, paredes, utensilios, cestas y artesanías en general. El tallo se utiliza como separador de ambientes o, también, como sostén para cubrir los techos, así como producto para elaborar piezas de artesanía (Orbe, 2019). El peciolo se utiliza como materia prima para la elaboración del papel. Las cáscaras se utilizan como óleo y, en algunas ocasiones, sirve como comida

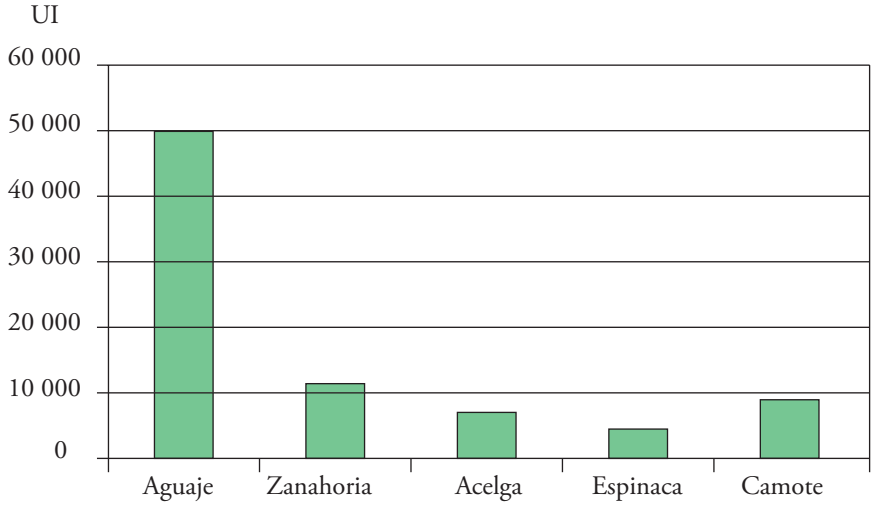
para los animales. Aunque el óleo que se obtiene de la cáscara tiene diversas utilidades y beneficios para el ser humano, puesto que sirve como remedio contra mordida de cobra, cicatrizante de quemaduras, hidratante para la piel, protector solar natural e incluso como aceite para freír alimentos. Las raíces son utilizadas como remedios contra el reumatismo. Finalmente, la pulpa del aguaje se utiliza para preparar bebidas, refrescos, jugos, chupetes, helados, néctares, mermeladas y vino fermentado.

Un aspecto a resaltar es que, en los últimos años, el uso industrial que se realiza del aceite obtenido de la planta del aguaje en el área de los cosméticos ha tenido un impacto significativo, debido a que empiezan a conocer sus altos niveles de provitamina A, los efectos antioxidantes que presenta y los micronutrientes que favorecen el equilibrio hormonal en el caso de las mujeres. Por ello, se elaboran champú, cremas antiarrugas, otros tipos de cremas, lociones, cremas hidratantes, entre otros (Daza, 2014).

Beneficios nutricionales del fruto del aguaje

El beneficio más sobresaliente de esta planta, según Orbe (2019), es que puede ayudar a combatir la hipervitaminosis A, puesto que presenta altos niveles de vitamina A (betacaroteno). En este sentido, se convierte en un excelente suplemento vitamínico que puede ayudar a prevenir y combatir la deficiencia de vitamina A en los niños de 3.5 a 12 años.

Figura 2. *Contenido comparativo de vitamina A/beta-caroteno*



Nota. Tomado de Ministerio de la Producción (2018).

En la Figura 2, se puede apreciar con claridad que el nivel de Vitamina A del aguaje es muy superior a los niveles que presentan otros alimentos como el camote, la espinaca, la acelga y la zanahoria.

Además, otros de los beneficios nutricionales es que presenta niveles altos de vitamina C, lo cual implica que este fruto contribuye a la absorción de hierro, puesto que la vitamina C es el micronutriente que permite que los niveles de hierro puedan ser asimilados con mayor facilidad por el duodeno, región donde se produce la absorción de los nutrientes (Bio-Pat Perú, 2017).

El consumo del aguaje, de acuerdo a Moraes et al., (2020), también resulta beneficioso para la salud humana y las mujeres en particular, puesto que contiene fitoestrógenos. Los fitoestrógenos son compuestos que se producen naturalmente en las plantas y los frutos vegetales. Entonces, el aguaje, al brindar cantidades de fitoestrógenos, ayuda a prevenir el

cáncer, específicamente, el de mama, colón y próstata. También contribuye a reducir las incidencias de enfermedades cardiovasculares y, sobre todo, se ha demostrado que tiene un gran impacto en la reducción de los efectos de la menopausia. De ahí que las mujeres que incorporen en su dieta el consumo del aguaje, manifiesten una menopausia tardía y con trastornos leves.

Beneficio ambiental

Un dato importante a considerar es el beneficio ambiental que presentan las extensiones de aguajales en la Amazonía, puesto que por hectárea estas palmeras llegan a almacenar 600 toneladas de CO_2, uno de los gases responsables del calentamiento global. Esta capacidad de absorción del aguajal es tres o cinco veces superior a cualquier otro ecosistema tropical, de ahí que su preservación y cultivo como especie sea sumamente importante (Universidad San Ignacio de Loyola, 2020).

II

CUESTIONES MEDULARES DEL SECADO DE LOS ALIMENTOS: UNA APROXIMACIÓN A LA ATOMIZACIÓN

Como resultado del crecimiento exponencial de la población mundial, las necesidades básicas se incrementan, entre ellas, la demanda de la alimentación, es decir, la ingesta de alimentos de calidad en la dieta humana. En ese sentido, es que cada vez se van mejorando los métodos y técnicas para el procesamiento de los alimentos.

Dentro del conjunto de alimentos, existe un interés creciente por el estudio del procesamiento de las verduras y frutas, debido a su alto contenido nutricional y sus efectos positivos para la salud humana. Al respecto, algunos componentes importantes en su composición son los antioxidantes, vitaminas, compuestos fenólicos, entre otros (Boñón et al., 2020).

Para la obtención de estos elementos, se requiere de un conjunto de técnicas que inhiban los procesos o reacciones químicas, propias de los componentes bioquímicos de un producto. Al respecto, una de las técnicas más pertinentes para este proceso es el secado. Este método ha sido y es, hasta la actualidad, una de las mejores opciones para mantener el producto en buenas condiciones, es decir, para permitir la conservación del producto.

En la literatura, se indica que existen distintos métodos de secado, entre ellos, la atomización, al vacío, la liofilización, cada de uno de ellos orientado a cierto tipo de alimento. En el caso de la atomización, es un proceso preferible para los alimentos con alto contenido de agua, ya que les brinda estabilidad bioquímica, durabilidad y, en algunos casos, el incremento de su biodisponibilidad para el organismo humano (Miguel-Oliveros et al., 2019).

2.1. Panorama general del procesamiento de alimentos

El procesamiento de alimentos consiste en la alteración de la naturaleza de un producto, ya sea de forma total o parcial, mediante la aplicación de métodos físicos, químicos o térmicos, con la finalidad de cumplir de mejorar su disponibilidad, accesibilidad, sabor, olor, textura y, en algunas excepciones, el contenido nutricional (Babio et al., 2020). Al respecto, algunos de los métodos aplicados para el logro del procesamiento de los alimentos son la extracción, la emulsificación y el secado.

En cuanto a la extracción, es considerada como una práctica antiquísima, debido a que ya se realizaba en las antiguas civilizaciones para la elaboración de perfumes, alimentos, extractos, entre otros. Al respecto, este tipo de procesamiento de alimentos representa dos tipos de ventaja en la industria: una se asocia con el costo del montaje de la maquinaría y otra con la energía total empleada durante el proceso (Campo-Vera et al., 2018).

Por su parte, la emulsificación es un proceso en el cual se disponen dos soluciones inmiscibles para la formación de una emulsión estable con un nivel promedio de homogeneidad, por tanto, se infiere que el objetivo principal de la emulsificación es alcanzar el nivel de equilibrio y estabilidad de la composición de un producto. Al respecto, la emulsión está conformada por dos fases: las partículas y el medio en las que se hallan. En la práctica, se observa que uno de los ejemplos más representativos es la mezcla entre aceites y agua, del cual el primero forma partículas en el medio acuoso, es decir, el agua (Alca, 2018).

En la actualidad, cabe resaltar que se están investigando nuevos métodos para la aplicación de estos procesamientos, tales como el uso del ultrasonido. Este medio consiste en el empleo de ondas mecánicas que permiten realizar tanto la emulsificación, la extracción

como el secado de los alimentos. Por ejemplo, en Campo-Vera et al. (2018), se realiza una revisión bibliográfica sobre la potencialidad de este método en el campo del procesamiento de los alimentos, por su parte, en Pérez-Campos et al. (2016), se recalca que constantemente se está en la búsqueda de métodos no convencionales para favorecer la reducción de los tiempos y el aumento de la eficacia del procesamiento de los alimentos.

Algunos otros métodos no convencionales para el procesamiento de alimentos son el uso de la radio frecuencia, calentamiento en microondas, la exposición a altas presiones hidrostáticas, ozonización, pulsos eléctricos, entre otros (Pérez-Campos et al., 2016).

2.2. ¿En qué consiste el secado de los alimentos?

Uno de los principales tratamientos para el procesamiento de alimentos es el secado, al igual que la emulsificación y la extracción. De manera general, el secado de alimentos, también denominado como *deshidratación*, es definido como el proceso de remoción, mediante medios térmicos, de elementos fácilmente alterables, tales como la cantidad de agua contenido en el producto, hasta lograr el estado de sequedad. Además, también, es considerada como la transferencia de materia-energía entre el producto y las condiciones térmica a las que está expuesto en este tratamiento (Padilla-Frías et al., 2018).

En Artunduaga et al. (2021) se expone que el secado es considerado como un proceso unitario sumamente importante para la conservación de los alimentos; al respecto, su mecanismo de acción consiste en la reducción de la humedad a niveles tan ínfimos que ralentiza o, en el mejor de los casos, no permite la actividad enzimática y microbiana del sólido. Por lo que, en este proceso, requiere de una gran cantidad de energía, así como de técnicas sumamente complejas.

Cabe resaltar que el secado es uno de los métodos más antiguos para la conservación de los alimentos, proceso que puede realizarse tanto de manera artesanal como industrial, y cuya importancia radica en la seguridad alimenticia para la población, es decir, en asegurar una alimentación oportuna, integral y nutritiva (Yong et al., 2017).

Dentro del proceso de secado, existen un conjunto de condiciones que modelan el proceso de secado; al respecto, se presentan los siguientes criterios para la remoción del agua de la superficie del elemento sólido: la temperatura, área de la superficie, presión, tanto flujo como humedad del aire, mientras que, para el movimiento del agua a través del sólido, se presentan los siguientes factores: composición física, humedad y temperatura del sólido (Padilla-Frías et al., 2018).

Desde una perspectiva física, la transferencia térmica en el secado se logra mediante uno o la unión de los siguientes procesos: la radiación, la convección y, por último, la conducción. En cuanto a la radiación, es definida como el proceso de secado de alimentos que se logra mediante la exposición a los rayos solares, es decir, el producto es secado por efecto de la energía solar (Argueta et al., 2019).

Por su parte, la convección es el proceso en el que el calor se transfiere al sólido mediante una corriente de aire caliente, el cual, además, es el medio transportador del vapor de agua que se elimina del sólido. Respecto de la conducción, el calor es suministrado mediante superficies calentadas por vapor, las cuales se ponen en contacto directo con el sólido, en este caso, el vapor es eliminado a través de una operación de vacío o una tubería de escape (Argueta et al., 2019; Padilla-Frías et al., 2018).

Por otro lado, en cuanto a las tecnologías requeridas en este proceso, se pueden clasificar según cuatro generaciones: en la primera, se encuentra el horno, el transportador de flujo continuo y la bandeja; en la segunda, el secado por aspersión y el tambor; en la tercera generación, se exponen la deshidratación osmótica y la liofilización. Por último, en la cuarta, se presentan el infrarrojo, el microondas, entre otros (Artunduaga et al., 2021).

2.3. Métodos de secado de los alimentos

El secado de alimentos es uno de los métodos más eficaces para la conservación de alimentos, al igual que el encurtido, según los resultados del estudio de Yong et al. (2017). En la literatura, se indican distintos métodos de secado de los alimentos, desde aquellos que son considerados tradicionales o clásicos hasta los no convencionales, tales como el uso del ultrasonido, entre otros. A continuación, se muestran tres tipos de secado: la liofilización, al vacío y, por último, la atomización.

2.3.1. Liofilización

Entre los métodos, se encuentra la liofilización, también denominada como *freeze-drying*. Este proceso se distingue por ser uno de los mejores para la conservación de productos, ya que conserva y garantiza la capacidad para mantener las propiedades organolépticas y nutricionales de los sólidos. En cuanto a su definición, el secado por liofilización es el proceso en el que el producto es congelado y, posteriormente, deshidratado mediante sublimación (Mosquera-Vivas et al., 2019).

En contraste con otros procesos, este se distingue por las bajas temperaturas en el producto, es decir, el sólido es congelado a temperaturas por debajo de 0 °C para,

posteriormente, ser sublimizado; en otras palabras, el producto pasa directamente de estado sólido a gaseoso (Mosquera-Vivas et al., 2019).

En Caballero et al. (2017) se explica que, en la liofilización, la humedad, es decir, la cantidad de agua que existe en el producto es congelada para, posteriormente, ser eliminada mediante su vaporación; por tanto, se observa que, en este proceso, se presenta la sublimación como estrategia de secado. En ese sentido, una de las condiciones requeridas es que el producto esté totalmente congelado, así como mantener contenidos de vacío durante el proceso de liofilización.

Por su parte, en Rodríguez et al. (2016) se añade que la liofilización es el proceso ideal para el encapsulamiento de microorganismos presentes en el sólido, tales como los probióticos o prebióticos, aquello debido a que se reduce el deterioro por calor, así como la velocidad de las reacciones químicas en el sólido. Cabe resaltar que, como resultado de este proceso, el sólido se convierte en una especie de pasta con niveles ínfimos de humedad.

Por último, en Artunduaga et al. (2021) se señala que los beneficios de la liofilización radican en que permite que el producto esté libre del oxígeno, por lo que se reducen considerablemente las posibilidades de oxidación; asimismo, se agrega que permite mantener los rasgos propios del alimento, tales como el color, forma, olor y el valor nutricional, de la mejor manera, en contraste con los otros tipos de secado.

2.3.2. Al vacío

Como se indicó, cada uno de los métodos de secado está orientado para un tipo de producto en específico; en el caso del secado al vacío, se indica que es preferible para productos caracterizados por ser susceptibles a la modificación del calor, tales como los

alimentos de origen vegetal, es decir, frutas y verduras. Cabe resaltar que la transferencia de energía es dificultosa, debido a que no se reúnen las condiciones para realizar la convección (Miguel-Oliveros et al., 2019).

El proceso del secado al vacío es el resultado de reducir la presión total en una cámara de secado; cabe resaltar que este proceso se asocia con la evaporización. Además, este proceso se caracteriza por realizarse con las siguientes condiciones ordinarias: una temperatura superior a 0.01 °C y una presión comprendida entre los 0.612 y 101.33 kPa (García, 2016).

En este punto, es importante hacer una diferenciación entre la evaporización, ebullición y vaporización. El primero se produce cuando la presión del vapor es menor que la presión total, por lo que las burbujas producidas no tienen la fuerza para penetrar en el contenido, por tanto, son superficiales; el segundo se produce cuando ambas presiones son similares, por lo que las burbujas sí ingresan en el cuerpo. Por último, la vaporización se relaciona con el volumen del vapor (García, 2016). En ese sentido, se infiere que el secado a vapor es un tipo de secado que se realiza mediante evaporación superficial (Padilla-Fríos et al., 2018).

De manera general, entonces, se infiere que el secado por vacío consiste en la disminución parcial del contenido de humedad del producto en condiciones de vacío; aquello se logra mediante el efecto de la combinación entre vacío y humedad. Este proceso está conformado por tres fases: calentamiento del producto, evaporización del agua, la cual se asocia con el contenido de humedad y, por último, la cristalización de las partículas de agua extraídas del alimento (Perez, 2017).

Para finalizar, es importante recalcar que cada uno de estos procesos descritos puede ser implementado mediante la asistencia del ultrasonido, el cual reduce significativamente el tiempo de secado del producto. Además, su compenetración con otras técnicas permite obtener mayor eficiencia. Asimismo, en la práctica del procesamiento de alimentos, se observa que para cierta etapa se emplea un método para, posteriormente, aplicarse otro, de acuerdo con las necesidades y cualidades físico-químicas del producto.

2.4. Definiciones centrales de la atomización

El secado por atomización es definido como el proceso en el que se produce polvos de alto nivel de dispersión, a través de la evaporización del disolvente del producto. Para el logro de este proceso, se requiere el uso de un conjunto de maquinarias, entre ellas, las fundamentales son el atomizador y la cámara de secado (Arce y Navarro, 2018).

En Peñaranda (2019) se presenta una definición similar: la atomización es considerada como el proceso unitario en el que un producto líquido es convertido en polvo atomizado, mediante su exposición a una corriente de gas caliente. Este último es, generalmente, aire o, en casos excepcionales, nitrógeno. En cuanto al producto resultante, el tamaño de sus partículas oscila entre 10-50 µm, para el caso de las partículas más finas, y 2-3 mm, en el caso de las partículas más grandes; el criterio diferenciador entre uno y otro es el tipo de material ingresado.

Por su parte, en Segura y Urango (2019) se indica que la atomización consiste en la pulverización de una solución hasta el nivel de partículas, proceso que se realiza en una cámara que contiene una corriente de aire seco caliente, el cual permite la evaporización del contenido de humedad del sólido. El polvo resultante se caracteriza por su alta facilidad

de transporte, carga, almacenamiento, es decir, no es un producto exigente en cuanto a sus condiciones.

2.5. Características generales de la atomización

En relación con el producto, este debe caracterizarse por ser previamente transformado a estado líquido. Posteriormente, es convertido en pequeñas gotas suspendidas en un medio con aire caliente (es decir, en la cámara de secado), a través del atomizador. Este proceso permite que su evaporización sea más sencilla de efectuar (Boñón et al., 2020).

En la literatura, se observa que este proceso es aplicado en gran magnitud en el procesamiento de la leche, sangre, productos vegetales, tales como el aloe vera, la Stevia. No obstante, también es aplicable fuera del campo alimenticio, tales como para la producción de cerámicas o polímeros, entre otros (Adco, 2018).

Uno de los elementos fundamentales en cuanto a la maquinaria del proceso de atomización es el atomizador, también denominado como *disco atomizador*. Este es considerado como el elemento central, debido a que cumple las siguientes funciones y presenta los siguientes rasgos, según Arce y Navarro (2018):

• Debe esparcir el material de alimentación en pequeñas gotas, las cuales deben estar bien distribuidas en el cámara de secado y mezcladas con el aire caliente.

• El tamaño de las gotas debe ser el ideal, ya que si son demasiados grandes se dificulta su proceso de secado; y, por el contrario, si son muy pequeñas, se dificulta su proceso de recuperación y se incrementan las posibilidades de que se quemen.

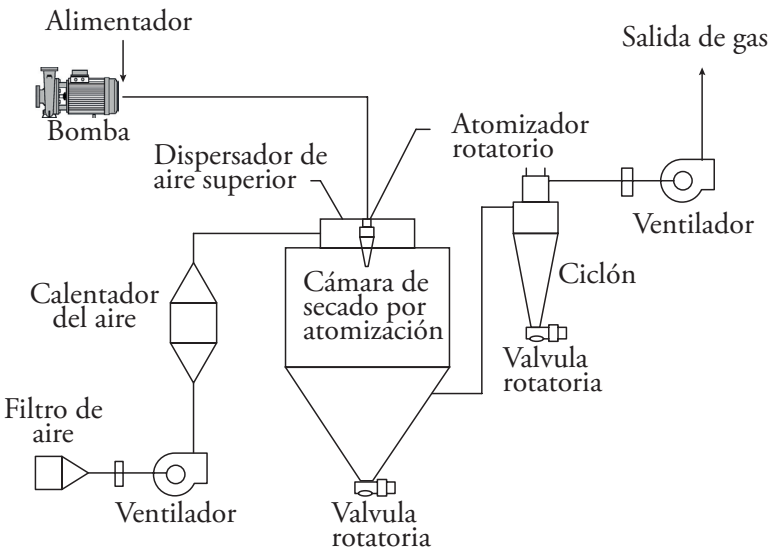
• Servir como un medio para controlar la velocidad de ingreso del material de alimentación.

2.6. Proceso de atomización de los alimentos

De manera general, la atomización consiste en la pulverización de un líquido a pequeñas partículas, mediante el uso de una corriente de aire caliente; de manera específica, subyace todo un proceso secuencial de fases. Al respecto, en Arce y Navarro (2018) se indica que la primera consiste en el bombeo de líquido desde la entrada de alimentación hacia la parte superior de la cámara de secado.

De manera simultánea, en la segunda fase, el aire atmosférico suministrado es filtrado para, posteriormente, transportar el producto hacia la cámara de intercambio, calentarlo y transportarlo al punto de inicio. En la tercera fase, gracias a la acción del disco atomizador, las gotas de pequeña dimensión se suspenden y se evaporan. De manera seguida, el aire se enfría y el material atomizado reposa en el fondo de la cámara de secado (Arce y Navarro, 2018). A continuación, en la Figura 3, se muestra el proceso de atomización.

Figura 3. *Esquema del proceso de atomización*



Nota. Tomado de Peñaranda (2019).

2.7. Beneficios de la atomización: valor agregado a los productos de la Amazonía

Tal como se expuso, la atomización es un tipo de secado, el cual tiene por objetivo principal la conservación de los alimentos, es decir, mantener los alimentos en un estado óptimo para el consumo humano por un largo periodo. En ese sentido, esta técnica ha sido empleada desde el inicio de la humanidad. Al respecto, existen diversos vestigios que demuestran su aplicación desde tiempos remotos.

Dentro del procesamiento de alimentos y la cadena de producción, la atomización, al reducir el sólido en pequeñas partículas, permite que se reduzca su peso y volumen, y, en consiguiente, se reduzcan los costos de transporte, carga y almacenamiento de la mercancía. En otras palabras, la atomización permite que se reduzcan considerablemente los costos de la cadena logística (Segura y Urango, 2019).

Otro de los beneficios de la atomización es que permite que el producto, al ser pulverizado, pueda ser empleado en la fabricación de otros productos en conjunto. Por ejemplo, en el caso de la Stevia o el aloe vera, estos son aplicados ampliamente en el campo de las farmacéuticas y cosméticos. Se deduce, entonces, que este tipo de secado permite que se multiplique la multifuncionalidad y potencialidad de un producto, y se aprovechen al máximo sus propiedades nutritivas en distintas presentaciones de consumo.

La atomización es conocida, además, por facilitar el encapsulamiento de los productos, al respecto, es considerada como uno de los métodos más económicos y sencillos para este proceso, en contraste con otros métodos de secado. Asimismo, destaca por sus bajos costos de operación, permitir la estabilidad del producto final, la producción a gran escala de

manera continua y retener los rasgos organolépticos del producto, tales como sabor, color, así como el contenido nutricional (Peñaranda, 2019).

En relación con el encapsulamiento, en Diaz et al. (2017) se indica que sus beneficios radican en que permiten crear una barrera protectora para los elementos sensibles del sólido; mejorar la biodisponibilidad, es decir, que sean mejor absorbidos por el organismo humano, y reducir su pérdida. El uso de la atomización para el encapsulamiento es una técnica ampliamente empleada para la retención de los flavonoides, vitaminas, antioxidantes, probióticos, entre otros.

III

LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN Y SUS MODELOS MATEMÁTICOS: NOCIONES BÁSICAS

Los productos de origen biológico tienen un rasgo fundamental que, en buena medida, determina su capacidad de procesamiento, así como su logística, es decir, su almacenamiento, empaquetamiento, transporte, entre otros. Se trata de la humedad, es decir, de la cantidad de agua que puede contener (Aviara, 2020).

Conocer la humedad y su interacción con otras propiedades del producto es fundamental, sobre todo, si se tratan de productos para el consumo humano, para el cual se requiere cumplir con estándares altos de calidad. Al respecto, una de las herramientas que proporcionan seguridad permanente en las distintas etapas de producción de un alimento es la aplicación de las isotermas de sorción.

Las isotermas de sorción permiten calcular el comportamiento que tiene el agua dentro de un producto. En este punto, es importante recordar que un producto de por sí, aunque esté deshidratado, contiene niveles de humedad, los que se presentan, por ejemplo, en los enlaces entre azúcares, proteínas u otros microelementos. Por tanto, la isoterma de sorción se encarga de modelar la asociación entre un producto y el medio en el que se dispone (Choque-Quispe et al., 2018; Ordoñez et al., 2018).

A continuación, en el presente capítulo, se expondrá el contenido teórico-conceptual de las isotermas, isotermas de sorción, sus tipos, así como sus aplicaciones y ventajas en el campo alimenticio. Por otro lado, se muestran los distintos tipos de modelos matemáticos que se emplean para calcular el comportamiento de la isoterma de un producto en específico.

3.1. Definiciones centrales de la sorción

Para comprender en qué consiste la sorción, es necesario partir del proceso de adsorción. Este último es definido como la difusión de las partículas o moléculas de la fase solvente de un sólido, las cuales se ubican en la superficie o, en su defecto, son sostenidos mediante enlaces débiles. Este proceso alterado por la presencia de adsorbentes naturales que contienen microorganismos, residuos de los procesos industriales, entre otros, es denominado *sorción* (Carvajal, 2019).

De manera general, la sorción es definida como el conjunto de procesos que tienen por finalidad la retención de algún tipo de sustancia, también denominada *sorbato*, por un cuerpo en específico, también nombrado *sorbente*. En ese sentido, la sorción implica una serie de distintos procesos, tales como la adsorción, absorción, precipitación superficial. Asimismo, sirve para denominar de manera genérica este fenómeno, cuando se desconoce el tipo de mecanismo específico involucrado (Cárdenas, 2018).

Cabe resaltar que este proceso químico no es exclusivo del campo de los alimentos, sino que abarca diferentes tipos de elementos, por ejemplo, en Muñoz et al. (2016) se muestra su aplicación en el campo de los minerales. En este estudio, se investiga la capacidad de sorción de un *filler* (una malla filtradora), en el análisis de los materiales empleados en la construcción de carreteras. Se infiere, por tanto, como la actividad del agua puede influir en la durabilidad y eficacia de una estructura de este tipo.

3.2. Conceptos medulares de las isotermas de sorción

Una vez que el producto ha pasado por el proceso de secado, en cualquiera de sus tipos, ya sea atomización, al vacío, liofilización u otro, es necesario conocer cómo se

comporta su actividad del agua, debido a que la temperatura del ambiente, entre otros factores, aún pueden incidir en su equilibrio de humedad y, en el peor de los casos, afectar su composición o valor nutricional (Noguera y Rivero, 2021).

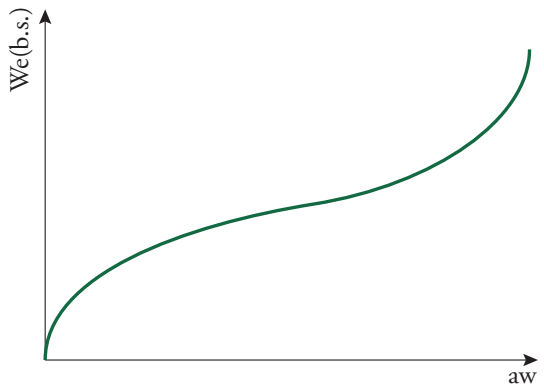
Ante este panorama es que surgen las isotermas de sorción. Estas son consideradas como herramientas matemáticas que permiten conocer la actividad del agua (aw). Tal como refieren Anria et al. (2019), la sorción es considerada como la relación que se establece entre el contenido de humedad y la actividad del agua a una temperatura determinada, en otras palabras, representa el equilibrio que existe entre un producto y el ambiente en el que se encuentra.

En Noguera y Rivero (2021) se expone una definición similar, la isoterma de sorción permite conocer los cambios en la humedad de un producto en polvo, adquirida en el equilibrio; estas modificaciones se pueden deber a la humedad relativa del ambiente en el que se encuentra, a una temperatura constante.

En relación con la actividad del agua (Aw), esta se encarga de medir la disponibilidad, actividad o el grado de libertad que tiene el agua en un producto. Este elemento se obtiene mediante la relación entre la presión del agua del alimento (ρ_m) y la presión del vapor (ρ_v), tal como se muestra en la ecuación A. Asimismo, se estima que su valor se encuentra entre el rango 0-1: cuando se aproxima a 0, significa que se encuentra fuertemente ligado a la superficie del elemento; por el contrario, si está próximo a la unidad, los enlaces de agua están sumamente débiles, por lo que se encuentra casi en un estado fluido (Choque-Quispe et al., 2018).

$$Aw = \frac{\rho_m}{\rho_m} \ldots (\mathrm{A})$$

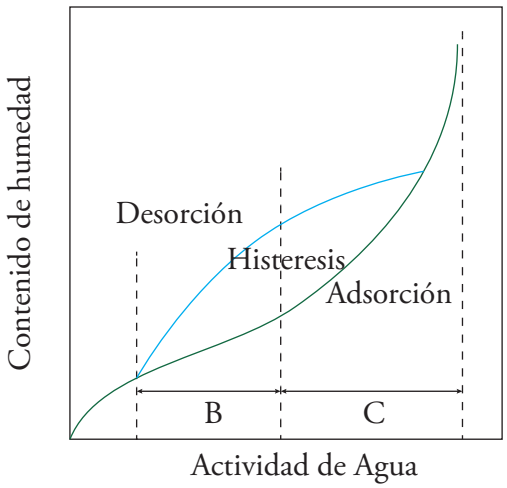
Figura 4. *Ejemplo de la isoterma de sorción de agua de un alimento*



Nota. Tomado de Talens (2017).

En la Figura 4, se muestra un ejemplo de una isoterma de sorción. En el eje de las abscisas, se expone la humedad (w) contenida en el producto, mientras que, en el eje de las ordenadas, se presenta la actividad del agua (aw). Como se aprecia, la relación entre ambos componentes forma la isoterma de sorción de un alimento en específico. Cabe resaltar que siempre se considera como marco de referencia una temperatura establecida.

Figura 5. *Regiones de las isotermas de sorción*



Nota. Tomado de Anria et al. (2019).

En relación con la estructura de la isoterma, presenta tres zonas diferenciadas, las cuales se asocian con la actividad del agua; estas son la zona A, B y C, tal como se aprecia en la Figura 5. La primera zona es conocida como la aw baja, se presenta el agua estructural y las cuales se caracterizan por no poder congelarse ni tener algún rol en las reacciones químicas. En la segunda zona, asociada con la aw media, el agua presenta enlaces ligeramente más fuertes, en comparación con la anterior. En la tercera zona, se evidencia la aw alta; el agua se encuentra contenido en fibras o tejidos, así como en macro capilares.

De manera más específica, la zona A se caracteriza por las moléculas de agua que están estrechamente ligadas a zonas específicas del sólido, las cuales contienen, generalmente, grupos de hidroxilo de los polisacáridos, componentes amino de la proteína, entre otros, mediante enlaces de puente de hidrógeno; en ese sentido, no son recursos disponibles para la activación de reacciones químicas. Esta primera zona también es denominada como *monocapa*. En la zona B, el agua se dispone en multicapas; generalmente, se encuentra en micro capilares. Por último, en la zona C, se presenta la estructura del agua; esta se dispone en grandes capilares o se encuentra en estado libre (Choque-Quispe et al., 2018)

Asimismo, algunos otros indicadores que se conocen mediante la isoterma de sorción son los siguientes, de acuerdo con Anria et al. (2019):

- Brinda información sobre las modalidades de agua contenidas en el producto.
- Permite conocer la distribución de agua en el producto.
- Propone data en cuanto al tipo de uniones que se establecen en el producto.

3.3. Tipos de isotermas de sorción

Existe una gran cantidad de isotermas de sorción planteadas en la literatura. Cada una de ellas se relaciona y se adecua de mejor manera a cierto tipo de alimento, siempre según factores como la humedad, actividad de agua, cantidad de nutrientes, entre otros. A pesar de la variedad, existen, en general, cinco tipos. A continuación, se describen algunos de ellos, de acuerdo con Vásquez-Tantas (2017):

• **Tipo I:** este primer tipo se asocia con los elementos que se caracterizan por tener un alto nivel porosidad fina. Algunos ejemplos son

• **Tipo II:** en el segundo tipo de isoterma de sorción, se encuentran los elementos que presentan una estructura polimérica hidrófila, tales como las fibras naturales y los alimentos.

• **Tipo III:** en el tercer tipo, se hallan las isotermas de elementos que se asocian con las fibras sintéticas, caucho, plásticos y alimentos ricos en componentes solubles.

• **Tipo IV:** en el cuarto tipo, se disponen las isotermas que se relacionan con los elementos compuestos por materiales inorgánicos, tales como los derivados de minerales (p. ej. óxido de aluminio).

3.4. Aplicación en la industria alimenticia y sus beneficios

La aplicación de las isotermas de sorción se orienta, principalmente, al campo de los alimentos, tales como la agroindustria, entre otras áreas. Generalmente, se emplean para los procesos de secado, mezclado y envasado de los alimentos, por ejemplo, en determinar qué tipo y material de envasado es el más ideal para cierto tipo de producto, la estimación del tiempo de vida útil, así como conocer las condiciones adecuadas para su almacenamiento (Talens, 2017).

En Ordoñez et al. (2018) se indica que las isotermas de sorción de humedad permiten que se pueda conocer, ampliamente, los mecanismos de humedad y cómo estos son modificados mediante la acción del agua; además, estiman la cantidad de energía neta que se emplea para el proceso de deshidratación de un producto, atendiendo siempre a sus rasgos bioquímicos.

En otras palabras, las isotermas de sorción tienen como principal función identificar y modelar el comportamiento de la actividad de agua de un alimento, a una determinada temperatura, de acuerdo con su nivel de humedad. En ese sentido, resulta fundamental para asegurar una cadena de producción óptima para determinado tipo de producto (Choque-Quispe et al., 2018).

Ramirez (2016), por su parte, indica que las isotermas de sorción son transcendentales en el procesamiento y transformación de alimentos, es decir, determinan y aproximan el valor de las variables que intervienen en el cálculo de los valores pertinentes para su secado, mezcla y envasado. Además, permiten estimar o proyectar las condiciones de temperatura, humedad, entre otros factores, para el envasado, transporte o almacenaje del producto, así como los componentes del producto que se pueden alterar.

Un ejemplo de la aplicación de la isoterma de sorción, se muestra en Brousse et al. (2017). En dicho estudio, se investiga el comportamiento de la actividad del agua en puré deshidratado, según una temperatura determinada. Entre los resultados, se halló que el puré estudiado está representado por una isoterma de tipo II, es decir, presenta una curva sigmoidea; asimismo, se observó que cuando el Aw es menor a 0.85.

Por otro lado, algunas de las ventajas de las isotermas de sorción es que permiten calcular la temperatura ideal para el secado de un producto, así como brindar las pautas

necesarias para mantener las condiciones básicas de mantenimiento posteriormente a este proceso. Todo esto influye, una vez más, en obtener un producto de calidad.

En Deusa (2019), en la misma línea, se señala que, mediante la aplicación de las isotermas de sorción, se puede conocer la estabilidad microbiológica y físico-química del producto; sin embargo, se añade que también ofrece el conocimiento base para los procesos de deshidratación y concentración de los productos. En ese sentido, se infiere la gran importancia de hallar la isoterma más adecuada para cierto tipo de alimento, debido a que su alcance no solo abarca aspectos macro (como envasado, almacenaje), sino que también se asocian con la calidad interna del producto (salubridad, nutricional, entre otros).

En Moreno-Piraján et al. (2020) se observa otro tipo de aplicación de las isotermas de sorción, distinto al campo de la industria alimentaria. En este caso, se relaciona con el campo de la ingeniería: se pretende estimar cómo la introducción de un material en la preparación para la construcción de una pista automovilística modifica la humedad, temperatura, entre otros factores, los cuales se asocian, a su vez, con la durabilidad, fortaleza y, en general, en la calidad de los materiales empleados en la construcción de pistas automovilísticas.

3.5. Principales modelos matemáticos de las isotermas de sorción

Una de las herramientas más útiles para calcular las isotermas de sorción es el modelo matemático. Al respecto, en la literatura se muestra que existen diversos tipos, cada uno de ellos con mayor precisión que otro, hecho que se relaciona estrechamente con la naturaleza del alimento, debido a que no todos presentan una misma estructura, composición, cantidad de humedad, entre otras características.

De esta manera, es que se puede presentar el siguiente caso: un modelo matemático *x* se adecua eficazmente a un tipo de alimento *a*, mientras que este mismo no puede ser el más pertinente para un alimento *b*. En la literatura, se calculan que existen alrededor de más de 200 modelos matemáticos para los alimentos. A continuación, en la Tabla 2, se exponen los principales modelos para las isotermas de sorción.

Tabla 2. *Modelos matemáticos más comunes para las isotermas de sorción*

Modelo matemático	Ecuación
Caurie	$X_e = \exp\left[Aw.\mathrm{In}(r) - \frac{1}{4,5x_s} \right]$
GAB	$w_e = \frac{w_{0.}C.Aw}{(1-k.Aw)(1+(C-1).K.Aw)}$
Henderson	$W_e = 0.01\left(\frac{-\log(1-Aw)}{10^f} \right)^{1/n}$
Oswin	$W_e = C\left(\frac{Aw}{a-Aw} \right)^n$
Smith	$W_e = B + A.\ln(1-Aw)$
BET	$W_e = \frac{w_0.C.Aw}{(1-Aw)(1(C-1).Aw)}$
Halsey	$a_w = \exp\left[\frac{-A}{X_e^B} \right]$
Chung y Pfost	$Aw = \exp\left(\frac{A}{RT} \exp\left(-B_{X_e}\right) \right)$

Nota. Adaptado de Anria et al. (2019), Cerviño et al. (2016) y Choque-Quispe et al. (2018).

Cabe resaltar que, en general, el método empleado para la aplicación de estos modelos es el gravimétrico, este se caracteriza por la recreación de distintos ambientes, cada uno con diferentes humedades relativas. Al respecto, esta diferenciación entre uno y otro se debe a la presencia de distintas soluciones salinas saturadas, algunas de ellos son el cloruro de sodio (NaCl), hidróxido de potasio (KOH), cloruro de magnesio (MgCl), entre otros. El fin de este método es determinar el punto de equilibrio del producto, el cual se determina mediante la constante de peso del producto; en otras palabras, cuando la muestra mantenga constante su peso, significa que ha alcanzado el equilibrio (Moreira, 2018).

3.5.1. Modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET)

En este modelo matemático se propone que la velocidad de evaporación es equivalente al de la condensación, tanto para la primera como para la segunda capa (Sapailla, 2020). Asimismo, en este modelo se consideran las siguientes variables: contenido de humedad en la monocapa (W0), actividad de agua (Aw), contenido de humedad (We), como tal, entre otros. Por otro lado, se muestra la constante de la capacidad de sorción de los alimentos (C) (Anria et al., 2019).

Este modelo se distingue, además, por ser uno de los más empleados en la investigación científica, aquello se debe a que ofrece buena capacidad de ajuste para una gran variedad de alimentos, sobre todo, para aquellos cuyos niveles de actividad de agua están entre los 0.05 y 0.45 (Vallejos, 2016; Sapailla, 2020). En relación, se agrega que este modelo es ideal para los polímeros que tienen afinidad con el agua, es decir que tienen un Aw menor a 0.5 (Vásquez-Tantas, 2017).

3.5.2. Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB)

En cuanto al modelo GAB, se indica que es una derivación de la ecuación del modelo BET, el cual contempla la variación de las monocapas (Sapailla, 2020). Se asume que el calor de adsorción presente desde la segunda hasta la novena capa del producto es menor que el calor de la licuefacción (Zapana, 2017). En ese sentido, el modelo GAB resulta de la combinación de dos modelos matemáticos, entre ellos, el modelo de sorción de Langmuir y el modelo de condensación en multicapas (Obas, 2017).

Asimismo, es considerado como el más versátil, debido a que puede ser aplicado a alimentos, cuyo rango de actividad de agua está ente 0.5 y 0.95, el cual es mucho más amplio que el del modelo BET (Sapailla, 2020). En relación con la estructura de la ecuación, se consideran los siguientes elementos: actividad del agua, las constantes C y K, las cuales se asocian con la cantidad de adsorción, la cantidad de humedad en la monocapa, entre otros.

Otra ventaja de este modelo es el grado de versatilidad que posee, debido a la introducción de una variable relacionada con la capacidad de adsorción de las multicapas (K), es decir, no solo se limita en la estimación de la adsorción de la monocapa, sino que integra los valores del resto de capas del producto (Obas, 2017).

3.5.3. Modelo Henderson

Este modelo, al igual que los dos anteriores, es ampliamente usado en la producción de alimentos. Este modelo fue propuesto por Westerman en 1973; asimismo, fue modificado, en 1993, por Karathanos, versión a la que se le denomina como *modelo Henderson extendido* (Tafur, 2018). En este caso, el modelo Henderson se orienta, principalmente, al

procesamiento de los granos, cereales y frutos. Al respecto, su rango de actividad de agua está entre 0.10 y 0.75 (Zapana, 2017).

En la literatura, se observa, sin embargo, que su nivel de adecuamiento es inferior al de los dos anteriores modelos matemáticos, tal como indica Vásquez-Tantas (2017), este modelo tiene menor capacidad de adaptación, por ejemplo, que el modelo de Halsey. No obstante, se indica que este modelo se adecua de mejor manera a los alimentos que contienen almidón (Choque-Quispe et al., 2018).

IV

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL MODELO DE ISOTERMA DE SORCIÓN DEL ATOMIZADO DE LA FRUTA AMAZÓNICA AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA)

En el campo de las industrias alimenticias, existe una disciplina especializada en el tratamiento del secado de los alimentos. Al respecto, en la literatura, se observa que existen diferentes métodos de secado, entre ellos, la atomización, la liofilización y al vacío. Cada uno presenta rasgos, los cuales se asocian con cada tipo de producto, siempre atendiendo a su naturaleza, es decir, a su contenido nutricional, cantidad de humedad, capacidad de oxidación, entre otros.

Si se observa los productos de la Amazonía peruana, se muestra que existen frutos considerados como superalimentos, aquello debido a su alto valor nutricional, es decir, a la cantidad de nutrientes, ya sean vitaminas, proteínas u otro tipo de elemento. Este es el caso de la *mauritia flexuosa* (aguaje). Esta fruta amazónica destaca por su alto contenido de provitamina A y C.

A continuación, en este estudio, se investiga la aplicación de distintos parámetros considerados en el secado de este fruto. Para tal fin, se emplea el método de atomización, así como los criterios de temperatura, tamaño del orificio de la maquinaría, entre otros. En cuanto a los modelos matemáticos, se eligieron dos el modelo GAB y BET.

Hipótesis

• Hipótesis general

La modelización de isotermas de sorción del atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje) tiene efecto estadísticamente significativo en el contenido vitamínico A.

• Hipótesis específicas

El efecto de las variables de operación, tales como la temperatura, diámetro de orificio del disco de aspersor y encapsulante, permite identificar el contenido final de provitamina A.

Los modelos matemáticos GAB y BET determinan las isotermas de sorción modelados del polvo atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje).

El modelo hallado es el que mejor describe las curvas de sorción del atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje).

Variables

• Variable independiente

Modelización de isotermas de sorción del atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje).

• Variable dependiente

Contenido de provitamina A

Tabla 3. *Operacionalización de las variables de estudio*

Variables		Dimensión	Indicador	Índices	Instrumentos
Independiente	Modelización de isotermas de sorción del atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje)	Temperatura	Rango de temperatura	20°C, 25°C, 30°C	Termómetros

Variables		Dimensión	Indicador	Índices	Instrumentos
Independiente	Modelización de isotermas de sorción del atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje)	Concentraciones salinas saturadas	Tipos de soluciones	Cloruro de litio, acetato de potasio, cloruro de magnesio, carbonato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de sodio, cloruro de potasio	Balanza de precisión
		Humedad relativa del medio	Rango de humedades	11.77 -83.77 % de humedad relativa	Higrómetro
		Isotermas de sorción	Actividad de agua	Gramos de agua en el producto al final del proceso	Fórmula matemática
Dependiente	Contenido de provitamina A	Concentración de maltodextrina	Porcentaje de maltodextrina	8 %, 10 % y 12 %	Balance de precisión
		Concentración de provitamina A	Concentración final de provitamina A en la pulpa	Microgramos de provitamina A al final del proceso	Espectrofotómetro UV-SIS

Nota. Añadir nota.

Tipo de investigación

Este estudio es de tipo experimental: se recogen constantemente los datos durante la experimentación, además, se considera un modelo matemático, en el cual se representan los valores tanto de las variables independientes y dependientes.

Diseño de investigación

En esta investigación, se utilizó un diseño factorial, es decir, se estudia y aplica distintas combinaciones de un conjunto de factores de la variable independiente en la dependiente. Al respecto, se consideraron tres factores: la temperatura, diámetro de orificio y concentración de maltodextrina. Para cada uno se presentaron dos niveles, por lo que es conocido como un diseño factorial simple.

Tabla 4. *Diseño factorial simple de la investigación*

Factores	Dominio experimental					
	Nivel	(-	)	nivel	(+	)
X1: Temperatura (°C)	195	200				
X2: Diámetro orificio (mm)	2.5	4.0				
X3: Concentración de maltodextrina	8	12				

Nota. Añadir nota.

Población. La población del presente estudio está conformada por los frutos de *mauritia flexuosa* (aguaje), que provienen de las comunidades de Parinari y Santa Rita de Castilla, Loreto, Perú. Estos dos centros son conocidos por ser zonas productoras del aguaje en su variedad shambo y amarillo.

Muestra. La muestra para cada tratamiento de la investigación está conformada por 10 kg de pulpa de los frutos de la *mauritia flexuosa* (aguaje), que proviene de las comunidades de Parinari y Santa Rita de Castilla. Cabe resaltar que se seleccionaron los frutos en mejor estado.

Técnicas. Se emplearon, en general, técnicas de registro y fichas de evaluación, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. *Técnicas y recolección de datos*

Técnica	Datos
Registro	Grados Celsius (°C)
Registro	Volumen Liquido atomizado
Registro	%
Método A.O.A.C 2004.	Humedad - Ceniza Grasa - Proteínas - Carbohidratos - Calorías Vitamina C - Provitamina A
Ficha de evaluación sensorial	Apariencia general, color, sabor, olor y textura.

Nota. Añadir nota.

Instrumentos. Se emplearon los siguientes instrumentos:

Tabla 6. *Instrumentos para la recolección de datos*

Instrumentos	Datos
Termostato del atomizador	Grados Celsius (°C)
Disco aspersor del atomizador	Volumen líquido atomizador
Balanza	%
Equipos para determinación del químico proximal	Humedad - Ceniza - Grasa - Proteínas - Carbohidratos - Calorías - Vitamina C - Provitamina A
Panelistas semi-entrenados	Apariencia general, color, sabor, olor y textura

Nota. Añadir nota.

Resultados

Proceso de atomización del mauritia flexuosa (aguaje)

Tabla 7. *Resultados del análisis físico-químico de mauritia flexuosa (aguaje atomizado)*

N	T° (°C)	Diámetro de orificio (mm)	Maltodex-trina (%)	Provitamina A (β-caroteno) (mg)	Concent. Vit. C (mg/100g de pulpa)	% Humedad (x)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Carbohi-dratos (%)	Sólidos Totales (%)
1	195	2.50	8	456	8.47	2.68	1.83	37.72	7.28	50.49	97.32
2	200	2.50	8	447	8..52	2.44	1.93	22.46	6.08	67.09	97.56
3	195	4.00	8	437	8.43	2.17	2.21	23.34	7.20	65.08	97.83
4	200	4.00	8	429	8.41	2.23	1.85	23.97	7.16	64.79	97.77
5	195	2.50	12	459	8.50	2.29	1.95	35.34	7.29	53.13	97.71
6	200	2.50	12	418	8.52	2.36	1.89	36.99	7.31	51.45	97.64
7	195	4.00	12	413	8.28	2.39	1.81	34.75	7.27	53.78	97.61
8	200	4.00	12	390	8.32	2.24	1.79	33.66	7.31	55	97.76

En la Tabla 7, se expone la muestra de 10 litros de pulpa de *mauritia flexuosa* (aguaje), a través del método de la A. O. A. C. (2014). Al respecto, se evidencia, claramente, que la provitamina A (β-caroteno) es superior con una temperatura de 195 °C y disminuye, considerablemente, a una temperatura de 200 °C, aunado a una humedad significativa. Aquello es indicio de que la temperatura de operación es óptima y el producto no será afectado por hongos, debido a que estos proliferan en cantidades de agua superiores. En consecuencia, se garantiza un tiempo de vida aceptable hasta el uso de su protavitamina A.

Tabla 8 . *Contenido de Provitamina A en la pulpa de Mauritia flexuosa (aguaje)*

Concentración deencapsulante (%)	Temperatura (°C)	Provitamina A (mg/100g)
8	195	456
8	200	447
8	195	437
8	200	429
12	195	459
12	200	418
12	195	413
12	200	390

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 8, se muestran los resultados fisicoquímicos de la unión de maltodextrina en dos concentraciones distintas. Al respecto, se evidencia que los tratamientos con 8 y 12 % de maltodextrina, a una temperatura de 195 °C, tienen mejores condiciones para preservar la provitamina A en la muestra. Por tanto, se afirma que es un encapsulante óptimo y adecuado para las soluciones oleaginosas.

Tabla 9. *Análisis microbiológico del aguaje atomizado*

Ensayos Microbiológicos	Cantidad (UFC / g)
Mohos	10
Levadura	<10
E. coli (NMP / g)	0
Salmonella sp	Ausencia en 25 g

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 9, se expone que el procedimiento ejecutado para la atomización de la *mauritia flexuosa* (aguaje) es eficaz y óptimo, lo cual se evidencia en los valores de los resultados microbiológicos que se ubican dentro de lo establecido por la norma NTS N° 071 MINSA/DIGESA V01.

Proceso de humedad con las sales empleadas a diferentes temperaturas

Tabla 10. *Humedad X (g agua/ 100 m. s.) con cloruro de sodio a 20 °C*

Tiempo (h)	Humedad (X)	Tiempo (h)	Humedad (X)
0	2.33	20	10.36
1	6.624	30	9.881
2	7.302	40	9.922
3	7.804	44	9.648
4	8.376	48	9.846
5	8.798	51	9.724
6	9.148	51	9.632
7	9.488	54	9.786
8	9.754	64	9.854

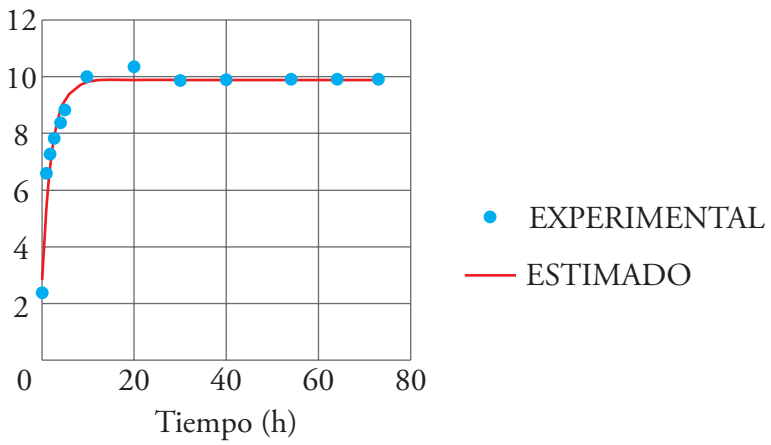
Tiempo (h)	Humedad (X)	Tiempo (h)	Humedad (X)
9	9.868	73	9.984
10	10.038	78	9.986

En la Tabla 10, se aprecia, en relación con el uso del cloruro de sodio, el incremento de la humedad del polvo atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje). Al respecto, se evidencia que, en un lapso máximo de 78 horas, se obtiene una humedad de equilibrio experimental de 9.986 g agua/100 g m. s.

Curva del proceso

$$Y = 9.890528 + 7.04713e0.4795\ t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(A)}$$

Figura 6. *Curva del proceso de humedad del cloruro de sodio a 20°C*



En la Figura 6, se muestra la ganancia de humedad del polvo atomizado del aguaje a 20 °C. Estas se midieron mediante la relación entre las variables experimentales de humedad (x) y el tiempo (h). Al respecto, se evidencia que la mayor parte de la adsorción de humedad ocurre durante las primeras 20 horas. Posteriormente, se observa una disminución progresiva hasta alcanzar el equilibrio.

La data representa una curva tipo exponencial. A través de una regresión, se pudo configurar y ajustar los valores reflejados en la ecuación (A). Además, se halló, en todo el proceso, una humedad de equilibrio (Xe) teórica de 9.8905 (g/agua/100 g m. s.).

Tabla 11. *Valores de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con cloruro de sodio a 25 °C*

Tiempo (h)	Humedad (X)	Tiempo (h)	Humedad (X)
0	4.0	42	14.524
1	4.866	44	14.796
2	6.612	46	14.844
3	7.802	48	14.762
4	8.666	51	14.77
5	9.172	54	14.386
6	9.868	57	14.254
7	10.05	60	14.144
8	10.58	63	13.796
9	11.202	66	13.554
10	11.218	69	13.736
20	12.86	72	13.978
30	13.092	75	14.11
40	14.256	78	14.1153

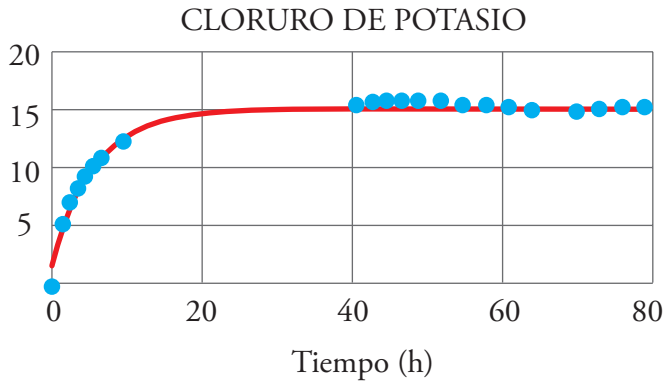
Nota. Añadir nota.

En la Tabla 11, se muestra la ganancia de la humedad del polvo atomizado de la *mauritia flexuosa* (aguaje). En relación, se observa que, en un lapso máximo de 78 horas, alcanza un nivel de humedad (X) de 14.1153 (g agua/100 g m. s.).

Curva del proceso

$Y = 14.1153 + 12.2687e^{0.17846}$.....(B)

Figura 7. *Curva del proceso de humedad de cloruro de sodio a 25 °C*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 7, se evidencia el incremento de la humedad del polvo atomizado de la *mauritia flexuosa* (aguaje) a 25 °C. Estos valores se obtuvieron mediante la relación entre los valores experimentales de humedad (X) versus tiempo (h). Al respecto, se evidencia que el mayor nivel de humedad se presenta en las primeras 38 horas, de las cuales, posteriormente, se muestra el equilibrio. La data estadística representa una curva de tipo exponencial. A través de una regresión, se pudo ajustar los valores reflejados en la ecuación (B). En síntesis, se encontró para el proceso, en general, una humedad de equilibrio (Xe) teórica de 14.1153 (g agua/100 g. m. s.).

Tabla 12. *Valores de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con ioduro de potasio a 30 °C*

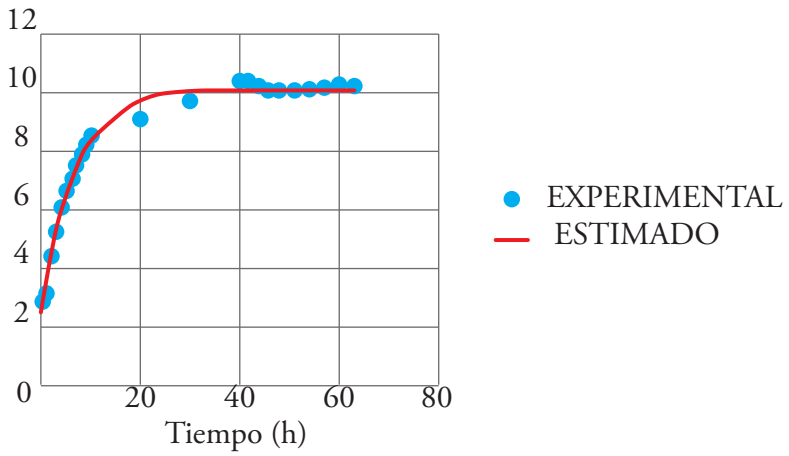
Tiempo (h)	Humedad (g)	Tiempo (h)	Humedad (g)
0	2.81	25	9.352
1	3.104	30	9.75

Tiempo (h)	Humedad (g)	Tiempo (h)	Humedad (g)
2	4.4	40	10.43
3	5.208	42	10.398
4	6.082	44	10.262
5	6.624	46	10.102
6	7.052	48	10.066
7	7.492	51	10.074
8	7.882	54	10.11
9	8.19	57	10.182
10	8.51	60	10.254
20	9.084	63	10.254

En la Tabla 12, se nota el aumento de humedad del polvo atomizado de la *mauritia flexuosa* (aguaje) a una temperatura de 30 °C. Al respecto, se evidencia que, en un periodo máximo de 63 horas, se obtuvo una humedad de equilibrio experimental de 10.254 g agua/100 g m. s.

Curva de proceso: $Y = 10.150464 + 7.6322349e0.1480231\ t$.(C)

Figura 8. *Curva del proceso de humedad X (g agua/ 100 g m. s.) con ioduro de potasio a 30 °C*



En la Figura 8, se muestra la ganancia de humedad de polvo atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje) a 30 °C. Esta data se obtuvo mediante la asociación de los valores experimentales de humedad (X) versus tiempo (h). En relación, se evidencia que la mayor absorción de humedad ocurre durante las primeras 40 horas, para después ir disminuyendo hasta alcanzar el equilibrio.

La data considerada representa una curva de tipo exponencial. Además, a través de una regresión, se puedo configurar los valores aplicados mediante la ecuación (C). Se halló, finalmente, para todo el proceso, una humedad del equilibrio (Xe) teórica de 10.154 (g agua/100 g m. s.).

Tabla 13. *Valores de humedad de equilibrio Xe (g de agua/g m. s.) para las diferentes sales.*

Temperatura			
Solución salina	20 °C	25 °C	30 °C
	Xe (b.s)	Xe (b.s)	Xe (b.s)
Cloruro de sodio	9.8905	9.754	9.509
Cloruro de potasio	15.418	14.115	14.717
Nitrato de potasio	22.001	21.965	20.007
Acetato de magnesio	9.221	9.174	10.392
Hidróxido de potasio	1.458	2.774	2.812
Ioduro de potasio	8.341	8.281	10.15

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 13, se observa una tendencia positiva del contenido de humedad de equilibrio (Xe), en otras palabras, los valores de Xe se incrementan, a medida que la temperatura lo hace. Se infiere, por tanto, que se establece una relación directa, que denota el comportamiento de absorción.

Parámetros de ajuste de isotermas de sorción de la pulpa de mauritia flexuosa (aguaje) para diferentes modelos matemáticos derivados a 20 ° C, 25° C y 30 ° C.

Tabla 14. *Valores de las constantes de GAB y BET (20 °C)*

Constantes obtenidas a 20 °C								
Cloruro de sodio				Cloruro de potasio		Nitrato de potasio		
BET	a =	0.004	BET	a =	0.004	BET	a =	0.0083
	b =	0.2687		b =	0.2687		b =	0.2529
	C =	68.175		C =	68.175		C =	31.4698795
	Xm	3.66703337		Xm=	3.66703337		Xm=	3.82848392
GAB	K =	0.91201053	GAB	K =	0.91201042	GAB	K =	0.91200991
	C =	23.7301594		C =	23.7302606		C =	23.7304532
	Xm	4.27981456		Xm=	4.27981511		Xm=	4.27979555

Acetato de magnesio			Hidróxido de potasio			Ioduro de potasio		
BET	a =	0.0079	BET	a =	0.0108	BET	a =	0.0055
	b =	0.2507		b =	0.226		b =	0.2584
	C =	32.7341772		C =	21.9259259		C =	47.9818182
	Xm	3.86697602		Xm=	4.22297297		Xm=	3.78931413
GAB	K =	0.91231843	GAB	K =	0.91201253	GAB	K =	0.39535716
	C =	23.743006		C =	23.7304534		C =	10.4468988
	Xm=	4.27830134		Xm=	4.27979852		Xm=	5.90404413

Nota. *a* y *b* son valores de la ecuación lineal para determinar las constantes BET.

En la Tabla 14, se evidencian los modelos matemáticos BET y GAB. Se aprecia que, mediante el método BET, el valor de la monocapa (Xm) tiene un valor de 3.66703337 g agua/g m. s., para el cloruro de sodio y cloruro de potasio; mientras que, en el caso del ioduro, se obtuvo 5.9040 g agua/g m. s. En cuanto al modelo GAB, se observaron los siguientes valores para la monocapa (Xm): 4.27830134g agua/g m.s para el cloruro de sodio y cloruro de potasio, mientras que, para el ioduro de potasio, se obtuvo 5.90404413g agua/g m. s. La data obtenida nos permite corroborar la dependencia de las sales, en especial su capacidad de hidratación, en relación con la temperatura.

Tabla 15. *Valores de las constantes de GAB y BET (25 °C)*

Constantes obtenidas a 25 °C								
Cloruro de sodio			Cloruro de potasio			Nitrato de potasio		
BET	a =	0.0105	BET	a =	0.0102	BET	a =	0.0087
	b =	0.2502		b =	0.2651		b =	0.2541
	C =	24.8285714		C =	26.9901961		C =	30.2068966
	Xm =	3.83582662		Xm =	3.63240102		Xm =	3.80517504
GAB	K =	0.8963865	GAB	K =	0.41798983	GAB	K =	0.99576231
	C =	9.47846556		C =	1.1529887		C =	16.2987303
	Xm =	4.59263367		Xm =	32.0970891		Xm =	3.9044006

Acetato de magnesio			**Hidróxido de potasio**			**Ioduro de potasio**		
BET	a =	0.0085	BET	a =	0.0106	BET	a =	0.0079
	b =	0.2489		b =	0.2315		b =	0.2538
	C =	30.2823529		C =	22.8396226		C =	33.1265823
	Xm =	3.88500389		Xm =	4.13052458		Xm =	3.82116928

Acetato de magnesio			Hidróxido de potasio			Ioduro de potasio		
GAB	K =	0.90828143	GAB	K =	0.91201021	GAB	K =	0.91201049
	C =	22.427817		C =	23.7299894		C =	23.7299894
	Xm =	4.31126886		Xm =	4.27981569		Xm =	4.279815

En la Tabla 15, se evidencian los resultados de la aplicación de los modelos matemáticos de BET y GAB. En el caso del modelo BET, se observó que el valor de la monocapa (Xm) es de 3.632401 g agua/g m. s, en el caso del cloruro de potasio, mientras que para el hidróxido de sodio es de 4.13052458 g agua/g m. s. En cuanto al modelo GAB, se muestra que para el hidróxido de sodio presenta un valor de 4.27830134 g agua/g m. s; mientras que, para el cloruro de sodio es de 4.5926 g agua/g m. s. Asimismo, se evidencia que estos valores se encuentran próximos de los obtenidos a una temperatura de 20 °C.

Tabla 16. *Valores de las constantes de GAB y BET (30 °C)*

Constantes obtenidas a 30 °C								
Acetato de magnesio			Hidróxido de potasio			Ioduro de potasio		
BET	a =	0.0063	BET	a =	0.0031	BET	a =	0.0006
	b =	0.2586		b =	0.2695		b =	0.2793
	C =	42.047619		C =	87.9354839		C =	466.5
	Xm =	3.77500944		Xm =	3.66837858		Xm =	3.57270454

Constantes obtenidas a 30 °C								
GAB	K =	0.91201253	GAB	K =	0.91201041	GAB	K =	0.91201045
	C =	23.7304534		C =	23.730153		C =	23.7301239
	Xm =	4.27979852		Xm =	4.27981491		Xm =	4.27981553

Acetato de magnesio			Hidróxido de potasio			Ioduro de potasio		
BET	a =	0.0054	BET	a =	0.0108	BET	a =	0.0054
	b =	0.2609		b =	0.2251		b =	0.2616
	C =	49.3148148		C =	21.8425926		C =	49.4444444
	Xm =	3.75516335		Xm =	4.23908436		Xm =	3.74531835
GAB	K =	0.91201253	GAB	K =	0.91200819	GAB	K =	0.91201253
	C =	23.7304534		C =	23.7303432		C =	23.7304534
	Xm =	4.27979852		Xm =	4.27977365		Xm =	4.27979852

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 16, se identifica que, para el modelo GAB, el valor de la monocapa (Xm) del ioduro de potasio es de 4.27981553g agua/g m. s, en contraste, con el hidróxido de potasio, que tiene un valor de 4.27977365g agua/g m.s, para la temperatura de 30 ° C.

En el análisis del modelo BET, se obtuvo que la monocapa (Xm) del hidróxido de potasio es de 4.23908436g agua/g m. s; mientras que, en el caso del ioduro de potasio, se identificó un nivel de 3.57270454g agua/g m. s, a una temperatura de 30 °C.

Constantes de las isotermas de sorción de la pulpa de mauritia flexuosa (aguaje) para los distintos modelos matemáticos de Arrhenius

A continuación, se presenta el modelo de la ecuación de Arrhenius:

$$\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A \ldots \text{ Ecuación de Arrhenius}$$

Tabla 17. *Determinación de la energía de activación (Ea) de las constantes de GAB por el método de Arrhenius*

(Ea) para todo el proceso (20, 25 y 30 °C)						
GAB	Cloruro de sodio	Ea (KJ/mol K)	Cloruro de potasio	Ea (KJ/mol K)	Nitrato de Potasio	Ea (KJ/mol K)
	Xm	57.963912	Xm	75.794679	Xm	75.444828
	C	756.73353	C	2497.155	C	311.15964
	K	14.104563	K	644.09979	K	72.575385

(Ea) para todo el proceso (20, 25 y 30 °C)						
GAB	Acetato de Magnesio	Ea (KJ/mol K)	Hidróxido de Potasio	Ea (KJ/mol K)	Ioduro de Potasio	Ea (KJ/mol K)
	Xm	32.029233	Xm	0.422979	Xm	23890.419
	C	85.87554	C	0.35733	C	60923.103
	K	28.286409	K	0.351513	K	62067.39

Nota. Añadir nota.

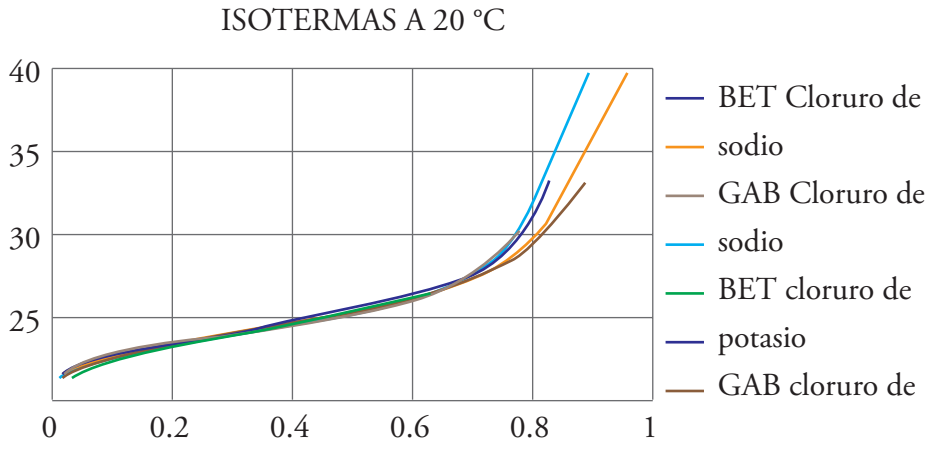
En la Tabla 17, se muestra que la energía de activación para romper la barrera de unión de los enlaces es de 23890.419 KJ/mol K, en el caso de ioduro de potasio a una temperatura de 30 °C.

Cabe resaltar que se aumentaron los niveles de precisión de los modelos, a medida que los valores de la temperatura se incrementaron. Además, se observó que los valores de la monocapa (Xm) disminuyen a medida que la temperatura aumenta, es decir, mientras exista más temperatura, se reduce la energía de unión de la primera capa absorbida.

En la Tabla 15, se muestra que los valores de CGAB son mayores a la unidad, aquello es indicador de que existe adsorción al nivel de la monocapa, por lo que se infiere que el contenido de humedad en la monocapa se alcanza de manera gradual durante los primeros días.

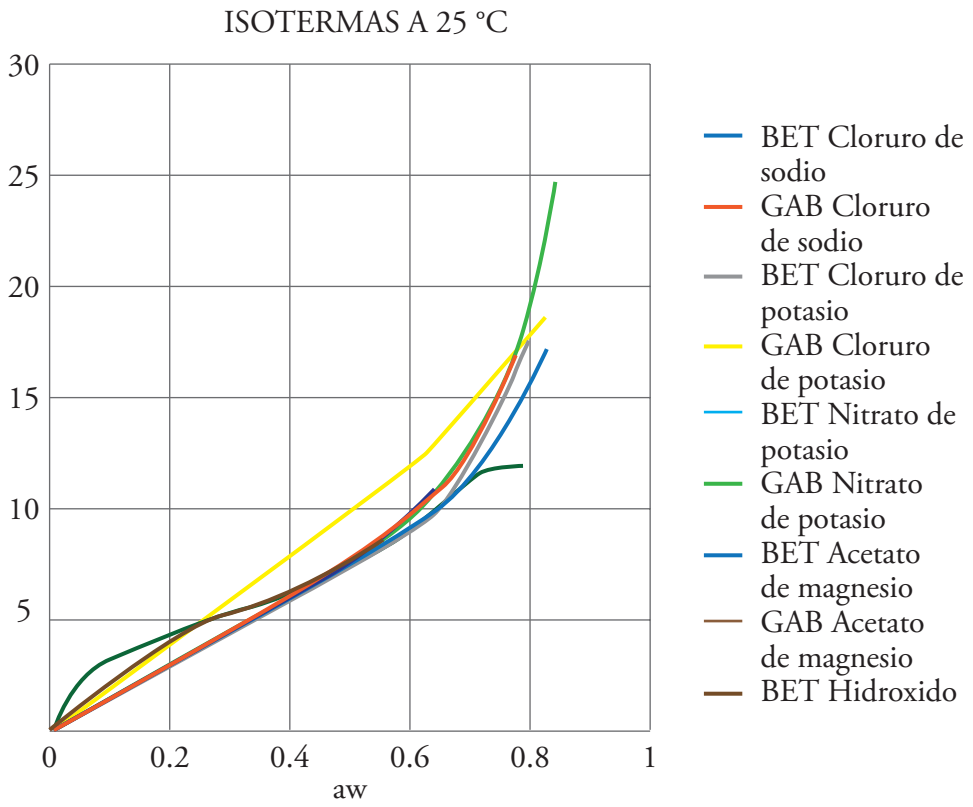
En el modelo GAB, se identifica que K es una diferencia de potencial químico. En este caso, K es superior a la unidad, por lo que se afirma que los parámetros tienen energía de activación.

Figura 9. *Isotermas de adsorción precisas a través del modelo de GAB y BET a temperatura de 20°C*



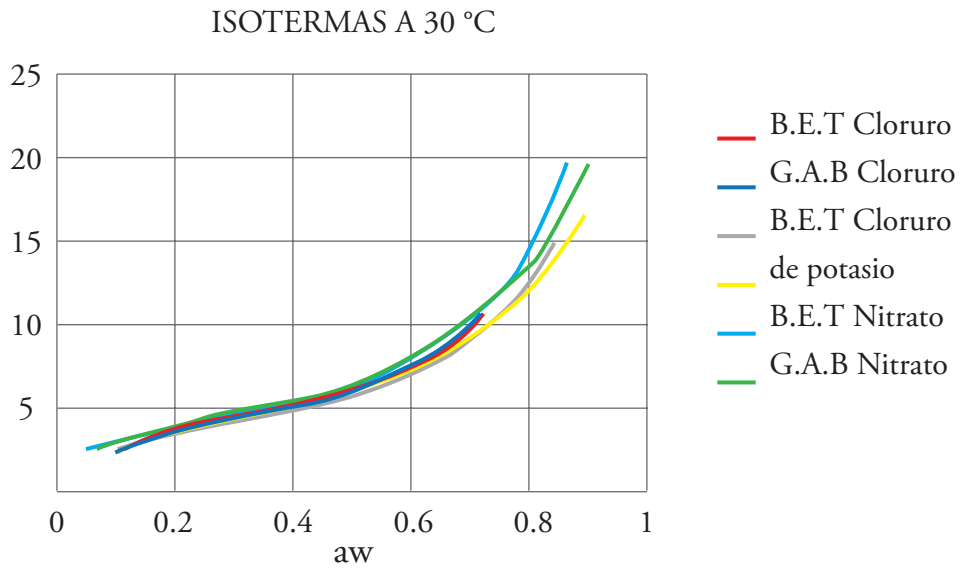
En la Figura 9, se aprecian las isotermas generadas por la aplicación de los modelos de BET y GAB, las cuales presentan una morfología sigmoidea. Las isotermas identificadas están dentro del rango 0.2 a 0.8 de la actividad de agua (aw).

Figura 10. *Isotermas de adsorción precisas a través del modelo de GAB y BET a temperatura de 25 °C*



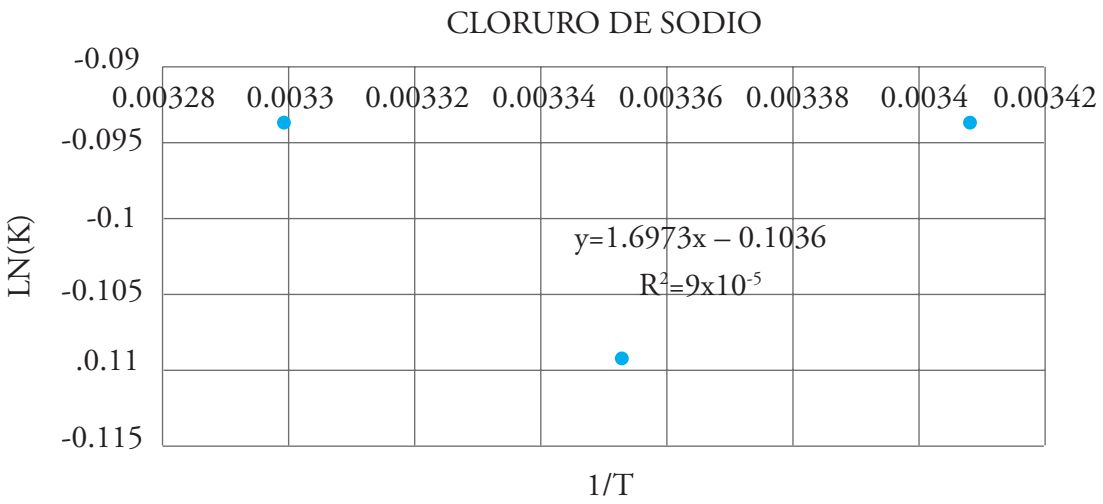
En la Figura 10, se evidencian las isotermas halladas, tras la aplicación de los modelos matemáticos BET y GAB, los cuales presentan una morfología sigmoidea. En relación, se observa que la curva generada por el nitrato de potasio presenta un mejor ajuste.

Figura 11. *Isotermas de adsorción precisas mediante el modelo de GAB y BET a temperatura de 30 °C*



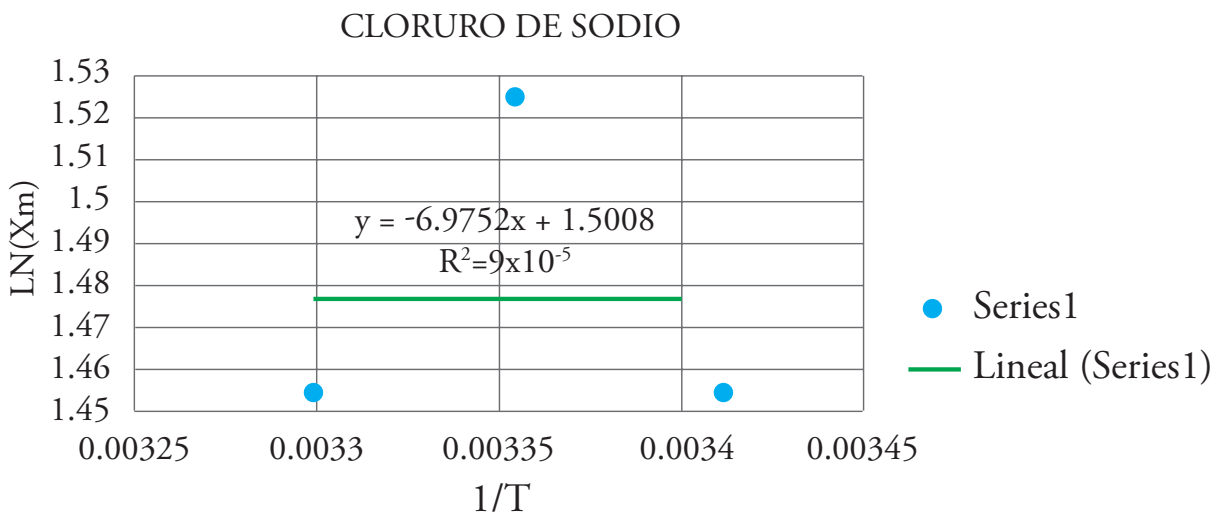
En la Figura 11, se observa que las isotermas obtenidas mediante la aplicación de los modelos BET y GAB presentan una morfología sigmoidea. Específicamente, se muestra que los modelos matemáticos reflejan de mejor manera los valores experimentales en esta temperatura.

Figura 12. *Curvas de logaritmo de la constante K vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius*



En la Figura 12, se evidencia los datos obtenidos del KGAB, de acuerdo con las temperaturas del experimento, en el cual se muestran los ejes del logaritmo de la constante de velocidad versus el inverso de la temperatura (en K). En relación, el valor de la pendiente multiplicada por la constante de los gases ideales da como resultado el valor de la energía de activación, la cual se asocia con el calor de sorción de la multicapa.

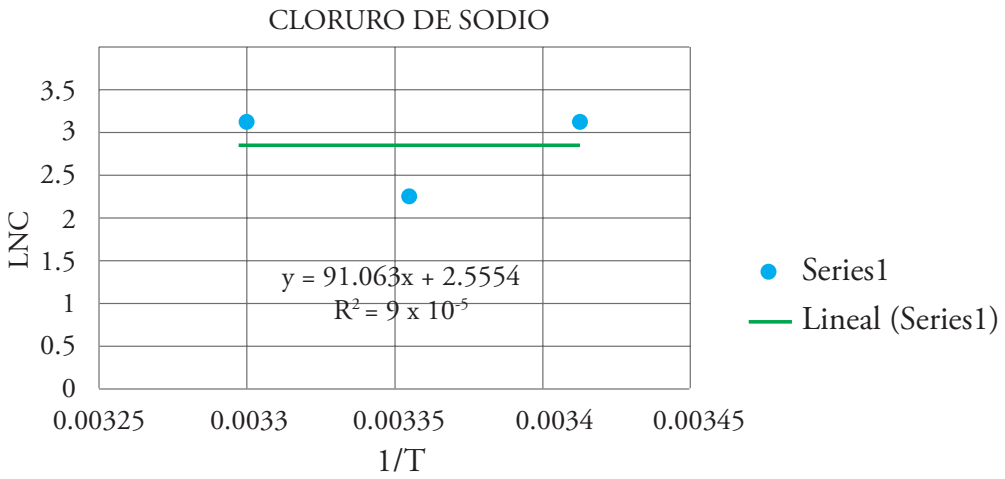
Figura 13. *Curvas de Logaritmo de Xm del producto vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 13, se aprecian los resultados de la XmGAB a las temperaturas consideradas en el experimento. En los ejes, se muestra el logaritmo de la constante de la velocidad versus el inverso de la temperatura (en K), en el cual el valor de la pendiente multiplicada por la constante de los gases ideales da como resultado el valor de la energía de activación, elemento necesario para modificar la humedad del producto, asociado con la capa monomolecular de la cantidad de agua absorbida.

Figura 14. *Curvas de Logaritmo de C del producto vs inverso de la temperatura (1/T) utilizando la ecuación de Arrhenius*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 14, se exponen los datos derivados del CGAB, según las temperaturas del experimento. En este caso, los ejes se asocian con el logaritmo de la constante de velocidad versus la inversa de la temperatura, respectivamente. Al respecto, se identifica que el producto del valor de la pendiente y la constante de los gases ideales da como resultado el valor de la energía de activación para modificar el valor de la capa de adsorción en la monocapa.

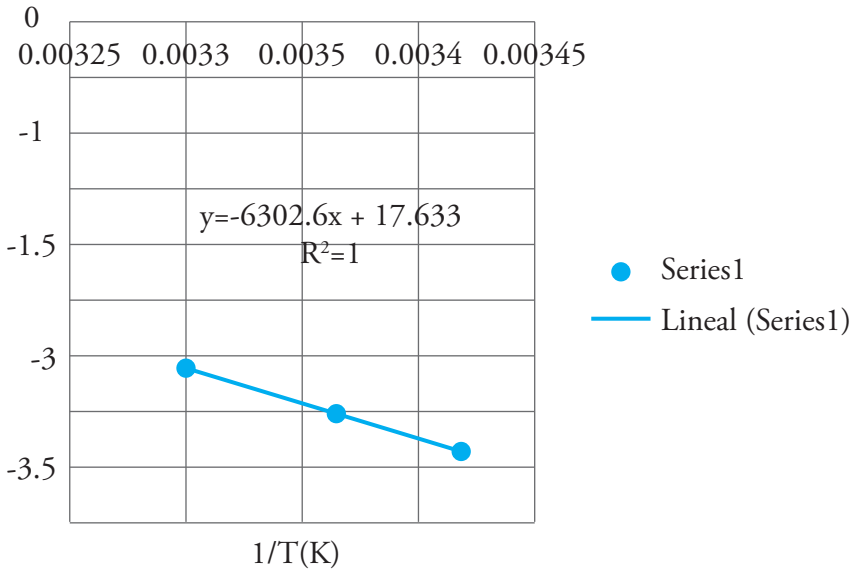
Tabla 18. *Datos experimentales de polvo atomizado de la pulpa de mauritia flexuosa (aguaje) por el modelo matemático de Arrhenius*

T °C	1/T °K	K	LN K
20	0.00341297	0.0207	-3.87762158
25	0.0033557	0.0297	-3.51660823
30	0.00330033	0.0421	-3.16770754

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 18, se estudia la influencia de la temperatura sobre la constante de la velocidad de reacción, mediante la ecuación de Arrhenius. De acuerdo con Vidaurre (2013), se caracteriza por presentar un modelo lineal, en el que se expresa el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad (k).

Figura 15. *Regresión lineal por el modelo de Arrhenius*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 15, se evidencia el resultado de la Ea (energía de activación):

Ea = 52.374606Kj/mol

Ea = 12.509 kcal/mol

Para la formación del peróxido del extracto lipídico de la pulpa de la *mauritia flexuosa*, se obtuvo una energía de activación de 12.509 kcal/mol, con las condiciones de temperatura y tiempo señaladas en la Tabla 19.

Cálculo del tiempo de vida útil

Tabla 19. *Índice de peróxido*

MESES (T)	20 °C	25 °C	30 °C
1	1.0257	1.0184	1.0236
2	1.0934	1.1233	1.6528
3	1.1412	1.1842	2.8246

Nota. Añadir nota.

Tabla 20. *Proyecciones de "k" para diferentes T °C*

K	
Ln K	10 °C
-4.63767138	32.029233
Ln K	20 °C
-3.8775802	0.02070091
Ln K	25 °C
-3.51666443	0.0296984
Ln K	30 °C
-3.16766007	0.04210209
Ln K	40 °C
-2.50310224	0.08183088
Ln K	60 °C
-1.29372673	0.27424707

Nota. Añadir nota.

Tabla 21. *Proyecciones para el cálculo del tiempo de vida útil*

Temperatura (°C)	Días	Semanas	Meses
10	1391.31383	185.508511	46.3771277
20	650.611779	86.7482372	21.6870593
25	453.501051	60.4668068	15.1167017

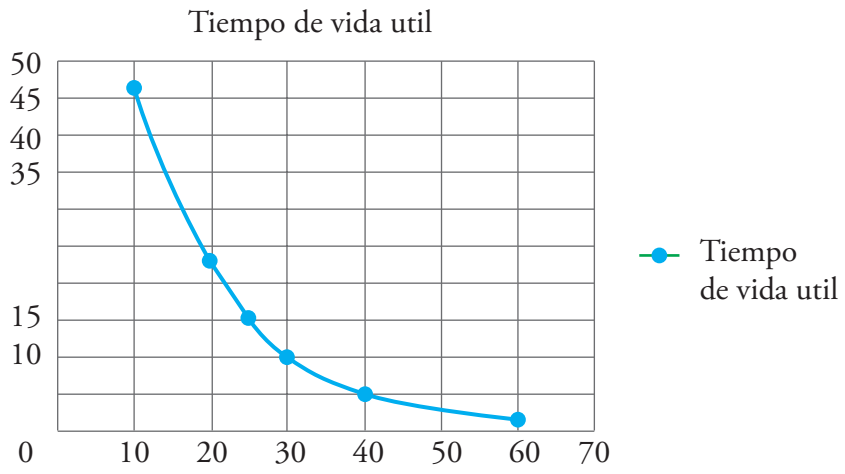
Temperatura (°C)	Días	Semanas	Meses
30	319.895205	42.652694	10.6631735
40	164.586468	21.9448624	5.48621561
60	49.1099361	6.54799148	1.63699787

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 21, se muestra el resultado de los tiempos de vida útil, con base en la data proporcionada en la Tabla 20; es decir, las proyecciones entre las velocidades de reacción "k" de formación de peróxidos de la pulpa de *mauritia flexuosa* (aguaje) para diferentes temperaturas, respectivamente.

De acuerdo con el N. T. P., el máximo valor permitido para la cantidad de peróxido en un alimento es de 10 meg/kg, el cual es indicador a la vez del grado de acidez y su potencial deterioro. Con base en ello, se estimo el tiempo de vida útil (TVU) del aguaje atomizado.

Figura 16. *Curva del tiempo (meses) almacenado a diferentes temperaturas*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 16, se expone el TVU del polvo atomizado a distintas temperaturas. Al respecto, se identifica que mientras menor sea la temperatura, mayor será el tiempo de vida del producto, aquello como producto de la reacción de los peróxidos frente al descenso de la temperatura, la cual reduce la reacción de oxidación.

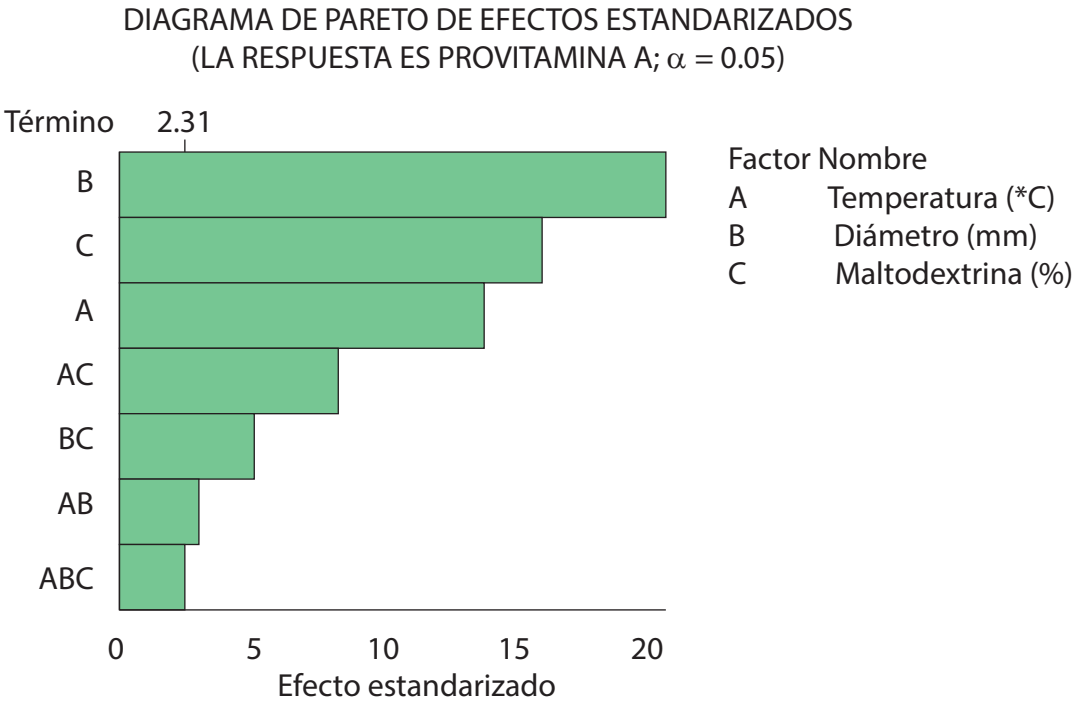
Tabla 22. *Análisis de Varianza del efecto de las variables sobre el contenido de provitamina A*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Modelo	7	7028.44	1004.06	142.17	0
Lineal	3	6230.69	2076.9	294.07	0
Temperatura (°C)	1	1350.56	1350.56	191.23	0
Diámetro (mm)	1	3052.56	3052.56	432.22	0
Maltodextrina (%)	1	1827.56	1827.56	258.77	0
Interacciones de 2 términos	3	752.19	250.73	35.5	0
Temperatura (°C)*Diámetro (mm)	1	68.06	68.06	9.64	0.015
Temperatura (°C)*Maltodextrina (%)	1	495.06	495.06	70.1	0
Diámetro (mm)*Maltodextrina (%)	1	189.06	189.06	26.77	0.001
Interacciones de 3 términos	1	45.56	45.56	6.45	0.035
Temperatura (°C)*Diámetro (mm)*Maltodextrina (%)	1	45.56	45.56	6.45	0.035
Error	8	56.5	7.06		
Total	15	7084.94			

En la Tabla 22, se evidencia la respuesta de la asociación entre el contenido de provitamina A y las variables independientes del secado por aspersión: temperatura (X1), diámetro de orificio (X2) y, finalmente, la concentración de maltodextrina (%), elementos que están determinados por la ecuación de regresión en unidades no codificadas.

Provitamina A =-3183 +18.50 X1 + 676 X2 +511X3 – 3.40 X1*X2 – 2.575 X1*X3– 91.2 X2*X3 + 0.450 X1*X2*X3

Figura 17. *Interacción de los factores durante el proceso*



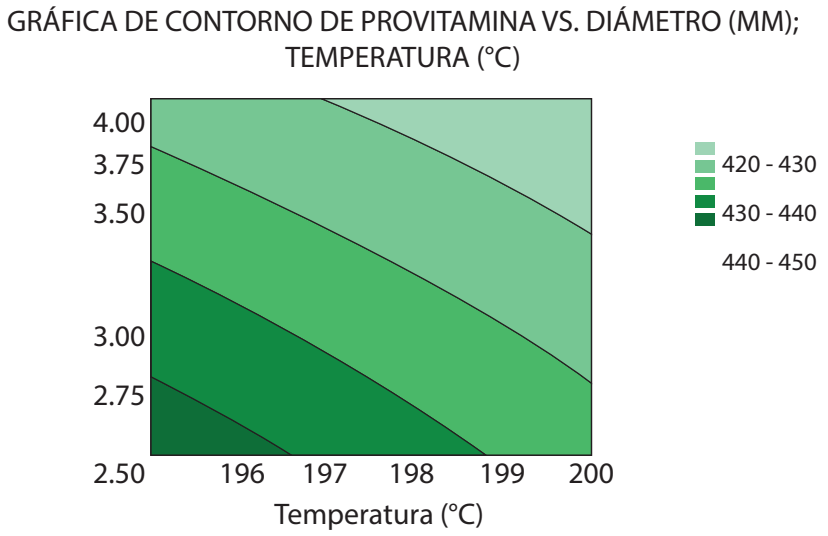
En la Figura 17, se muestra que los valores de la temperatura, diámetro, maltodextrina, sobrepasan la línea de referencia. En cuanto a la interacción de factores, se observa que tanto la temperatura-diámetro (AB), temperatura-maltodextrina (BC) y diámetro-maltodextrina (BC) son significativos; mientras que en el caso de la unión de los tres factores (temperatura-diámetro-maltodextrina) son relevantes con un nivel de confiabilidad del 95 %.

Al respecto, se tiene que los efectos principales (temperatura, diámetro de orificio y concentración de maltodextrina) miden como afecta en la concentración final de la provitamina A.

Se identificó que el factor que, individualmente, incide de manera más significativa en este proceso es el diámetro de orificio (mm), con un valor de 676; en segundo lugar, se presenta la maltodextrina (%); y, finalmente, se presenta la temperatura (°C), el cual es el que tiene mejor influencia, por lo que se concluye que el rendimiento de la provitamina A se incrementa, a medida que aumente el encapsulante de 8 % a 12 %.

Los factores, cuya interacción tienen un mayor protagonismo en el proceso, son los siguientes: temperatura con diámetro de orificio, temperatura con concentración de maltodextrina, diámetro de orificio con concentración de maltodextrina y, finalmente, la acción de los tres factores en conjunto: temperatura, diámetro de orificio y la concentración de maltodextrina. Este último es el que en menor medida afecta el proceso.

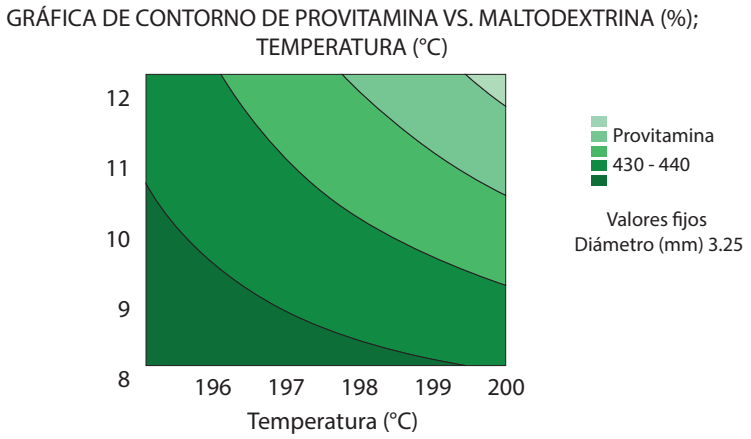
Figura 18. *Selección de temperatura (°C) vs diámetro (mm)*



Nota. Añadir nota.

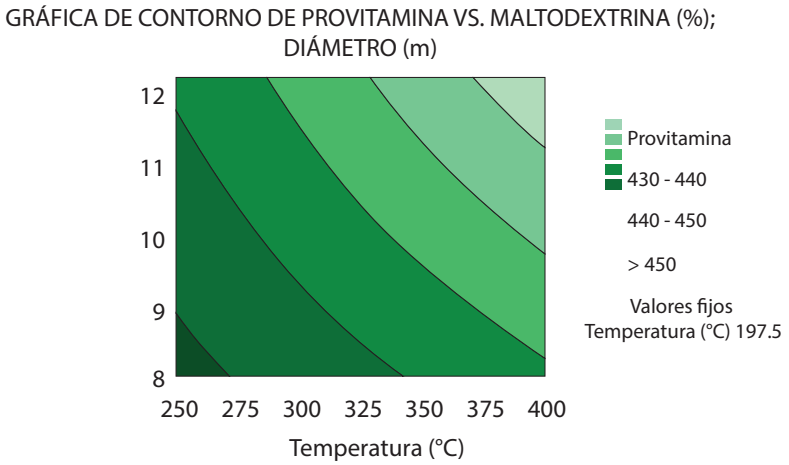
En la Figura 18, se expone que a medida que el color se oscurece, el valor de la provitamina A se incrementa de 420 mg a 450 mg/100g, hecho que se representa en los rangos de 195.0 °C a 196.5 °C, con unos diámetros de 2.50 a 2.80 mm.

Figura 19. *Selección de temperatura (°C) y maltodextrina (%)*



En la Figura 19, se corrobora que, si se eleva el porcentaje de maltodextrina a un nivel superior a 10.5 % y la temperatura hasta los 200 °C, resulta que el valor de la provitamina A se reduce sustancialmente hasta valores próximos a 420 mg/100g. Este fenómeno se produce en los rangos de 195.0 °C a 196.5 °C, con un diámetro de 2.50 a 2.80 mm.

Figura 20. *Selección de diámetro (mm) y maltodextrina (%)*

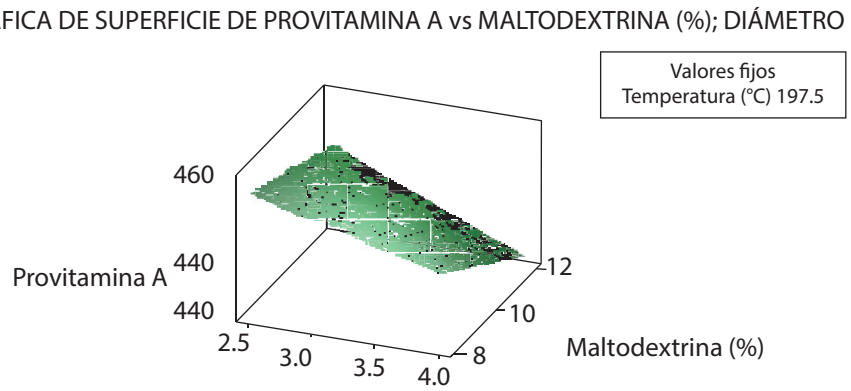


Nota. Añadir nota.

En la Figura 20, se observa que si se mantiene un menor diámetro de orificio de salida del líquido en dirección a la cámara de atomizado y, a la vez, un porcentaje del 8 % de maltodextrina en una temperatura de 197.5 °C, el valor de la provitamina A aumenta hasta alcanzar su máximo valor; por el contrario, si se alteran lo valores de los ejes, el valor de la provitamina A disminuye.

En relación, se nota que los efectos principales del diámetro de orificio (mm) y la concentración de maltodextrina (%) calculan cómo afecta cada factor en la concentración final de la provitamina A.

Figura 21. *Gráfica de superficie*



Nota. Añadir nota.

En la Figura 21, se muestra la superficie de respuesta, en la cual se representa de forma tridimensional la interacción de los tres factores que participan en el proceso de atomización de la pulpa de *mauritia flexuosa* (aguaje). Mediante este proceso, se obtiene que a menor diámetro de orificio (mm) y una concentración media de maltodextrina (%), el valor de la provitamina A será mayor.

Específicamente, se evidencia que en un diámetro de orificio de 2.5 mm y concentración

de maltodextrina de 8 %, se obtiene la mayor concentración de provitamina A, la cual es de 456 mg/100 g de producto seco; por otro lado, si se incrementa la concentración de maltodextrina (12 %), más un diámetro de orificio (4 mm), se obtiene que el valor de la provitamina A se reduce hasta 390 mg/100 g del producto seco.

Tabla 23. *Balance de la materia de pulpa de mauritia flexuosa (aguaje)*

SELECCIÓN/CLASIFICACIÓN			
A:	Materia prima que ingresa	100	Kg
B:	Pérdidas en operación (2%)	2	Kg
C:	Materia a usar	98	Kg
LAVADO			
C:	Materia a usar	98.00	Kg
D:	Agua de lavado (1/1)	98.00	Kg
F:	Impurezas (2%)	1.96	Kg
E:	materia lavada	96.04	Kg
PULPEADO			
E:	Materia lavada	96.04	Kg
G:	Semilla, cascara (88%)	83.55	Kg
H:	Pulpa final (12%)	12.49	Kg
HOMOGENIZADO			
H:	Pulpa final	14.41	Kg
I:	agua (1:2)	28.81	Kg
	Encapsulante Maltodextrina (8 %)	1.15	Kg
	Total I:	29.96	Kg
J:	Jugo estabilizado	44.37	Kg
ATOMIZACIÓN			
J:	Jugo estabilizado	44.37	Kg
K:	Agua eliminada (90% del jugo estabilizado)	39.97	Kg
L:	Producto seco (con 4 % de humedad final)	4.40	Kg

RENDIMIENTO DE INSUMOS			
M :	Pulpa final (10%)	1.44	Kg
N :	Maltodextrina (68%)	0.78	Kg
R :	Total producto seco	2.22	Kg

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 23, se aprecia el balance de materia de la pulpa de *mauritia flexuosa* (aguaje) con maltodextrina al 8 %. Para todos los tratamientos, se requirió un total de 100 kg de materia prima en estado natural para, posteriormente, continuar con las distintas fases de acondicionamiento para su conversión en polvo.

Al respecto, una de las fases más importantes es la refinación, ya que en esta se garantiza que no se presenten partículas grandes que puedan obstruir los orificios de la salida del aspersor. En relación con el equipo secador *spray*, tiene una capacidad para atomizar 87 l/h (en las condiciones del estudio), lo que implica que los 44.37 litros del jugo estabilizado se convierten en un total de 4.40 kg de polvo atomizado en un lapso de 30 minutos.

Tabla 24. *Balance energético*

	195 °C	200 °C
	Maltodextrina 8%	Maltodextrina 8%
Flujo de aire seco (Kg s. s./h)	2426.331	2341.971
Humedad absoluta del aire descargado (kg H2O/kg s. s.)	0.051	0.056
Flujo de aire alimentado al secador (kg/h)	2472.432	2379.442
Flujo de aire descargado(kg/h)	2550.462	2473.078

	195 °C	200 °C
	Maltodextrina 8%	Maltodextrina 8%
Porcentaje de humedad del aire descargado (%)	8	8.50
Flujo mínimo de aire, Gs mínimo (kg/h)	1534.591	3481.856
Eficiencia térmica (%)	53.33	58.824

Nota. Añadir nota.

En la Tabla 24, se exponen los valores de la transferencia de masa entre una y otra fase. Al respecto, se muestra que los mayores valores se asocian con la temperatura; por ejemplo, el valor más alto de aire seco (kg s /h) es de 2426.331, el cual se asocia con una temperatura de 195 °C. Por otra parte, el valor de 2379.442 kg/h se relaciona con una temperatura de 200 °C. Se determina, además, que la viscosidad del aire se reduce con la temperatura, por lo que es importante aumentar su flujo para lograr un correcto proceso de atomización del producto.

Por último, se nota que la eficiencia térmica del equipo es similar para ambas temperaturas, lo que implica que también está relacionada con la temperatura de operación; al respecto, se nota que como ambas temperaturas son próximas, su valor también es cercano.

Discusión de resultados

Se determinó, en el estudio fisicoquímico, que la pulpa *mauritia flexuosa* (aguaje) atomizada tiene mayor concentración de provitamina A (β-caroteno), con una temperatura

de 200 °C, diámetro de orificio de 2.5 mm y una concentración de maltodextrina de 12 %, obteniendo un valor de 459 mg/100g de pulpa, el cual se reduce ligeramente, al modificarse los valores de los factores, con una temperatura de 195 °C, diámetro de orificio de 2.5 mm y una concentración de maltodextrina de 8 %, con el cual se obtiene un valor de 456 mg/100g de pulpa. En relación, un resultado similar fue hallado en Portocarrero (2018), quien, al atomizar aguaje con diferentes temperaturas, diámetros de orificio y porcentajes de encapsulante, obtuvo 460 mg/100g de pulpa. En esa misma línea, agrega que a concentraciones superiores al 8 % de encapsulante, se impide que la solución se adhiere a las paredes del atomizador, como resultado de la alta concentración de elementos oleicos.

En cuanto al diámetro, se obtuvo que el tamaño 2.5 mm presenta un buen rendimiento en el proceso, debido a que evita la adherencia a las paredes. Maldonado (2005), investigador que trabajó con jugo de lúcuma, en un orificio de 0.5 y 5 % de CMC reportó adhesión del material en las paredes de la máquina, aquello debido a la baja concentración del encapsulante, lo que ocasiona que este no proteja la solución.

En relación con las humedades de equilibrio, se disponen valores crecientes, conforme se incrementa la temperatura de 20 °C a 30 °C, en las cuales las soluciones salinas cloruro de sodio, cloruro de potasio, nitrato de magnesio crean un comportamiento de absorción en el polvo atomizado de *mauritia flexuosa* (aguaje) con actividades de agua (aw) superiores a 0.6, lo cual coincide con Ovalle (2015), quien indicó un comportamiento similar en la harina de pijuayo, a temperaturas comprendidas entre 20 °C a 40 °C. Por su parte, Soleimani et al. (2006) identificó un comportamiento aleatorio para las humedades de agua en maíz híbrido en temperaturas comprendidas entre 25 °C y 35 °C.

Respecto con los parámetros de ajuste, calculados en las Tablas 14, 15 y 16, se obtiene que el modelo GAB presenta un mejor ajuste sobre los datos experimentales, los cuales representan un coeficiente de determinación R2 mayor el 96 %.

Por su parte, Vito (2019) señala que las ecuaciones GAB y BET tienen una buena capacidad de predictibilidad del contenido de humedad de la monocapa (Xm), por lo que son consideradas como los indicadores más adecuados para garantizar la estabilidad del producto deshidratado en almacenamiento.

Entre los parámetros calculados, se tiene que la capacidad de sorción de la monocapa (Xm) es igual al contenido de humedad estructurada en una capa monomolecular que cubre la superficie del material sorbente, la cual se une con lo grupos altamente polares y asequibles de la materia seca (Fennema, 1993; Ariahu et al., 2006, citado por Martin, 2016).

En la Tabla 14 (primera de las mencionadas), se muestran los valores del Xm a una temperatura de 20 °C para GAB y BET, los cuales son muy similares tanto para el cloruro de sodio, cloruro de potasio, nitrato de potasio y, en el caso de otras sales, tales como el acetato de magnesio, hidróxido de potasio, nitrato de potasio e ioduro de potasio para el modelo BET, se obtuvieron los siguientes valores: 3.8669, 4.2229 y 3.7893 g agua/100 g m. s. Estos valores son muy cercanos a los hallados por Erbas et al. (2015), investigadores que hallaron los siguientes valores para Xm, a una temperatura promedio entre 20-35 °C: 5.40 y 4.39 g agua/100 g m. s. En el caso de GAB, se encontraron valores ligeramente mayores: 4.2783, 4.2797 y 5.9040 g agua/100 g m.s, aquello se debe a que el modelo empleado abarca un espectro más amplio del experimento. En relación con Vito (2019),

se señala que, a mayor valor de Xm, el producto incrementa su capacidad de absorción de humedad, y a la vez se disminuye su calidad.

Según los valores de CGAB, a una temperatura de 25 °C, tal como se muestra en la Tabla 15 (12 en tesis), se halló el siguiente promedio para las seis sales en conjunto: 9.4784 y 23.7299, rango que se aproxima a lo estudiado por Pulla (2011). Este estudioso investigó la aplicación de ocho sales, incluidas el cloruro de potasio y cloruro de sodio, y obtuvo un promedio de CGAB 20.4664. En contraste, cabe resaltar que en el presente estudio se aplicó cada sal de manera individual. Por su parte, Ovalle (2015) obtuvo a una temperatura de 30 °C, un valor de 55.2175 para el CGAB, en el caso de la harina de pijuayo, valor que se explica por el alto contenido de almidón en este producto.

En cuanto a la aplicación del método GAB, se halló el siguiente rango para el valor de la energía de activación (Ea): 32.0292 (KJ/mol K) y 75.963 (KJ/mol K), en el caso de las tres temperaturas (20, 25 y 30 °C), valores que son superiores, en contraste con los resultados de Ramírez-Miranda (2014), en relación con la harina industrial y tradicional, para los cuales se hallaron valores de 13.45 y 17.948 (KJ/mol K) para sus monocapas, respectivamente. Es importante resaltar que no se empleó ninguna sal que incremente la capacidad de adsorción de humedad del producto.

En Sánchez (2013), se refiere que el valor de la energía de activación, en el caso de la oxidación de lípidos, se encuentra en el siguiente rango: 41842 a 104605 J/mol.k; se infiere, por tanto, que sus resultados están dentro del parámetro hallado en este estudio. Además, en Alcarráz (2019), para el caso del aguaymanto deshidratado mediante metasulfito de sodio, se halló el siguiente valor para el Ea: 64.43 y 61.19 KJ/mol k, hecho que corrobora los resultados de la presente investigación.

Casos similares se presentan en Vega et al. (2006) y Choque (2009), citado por Ovalle (2015), quienes concluyeron que el método GAB y Halsey modelaron eficazmente la data obtenida en la adsorción de la harina de maíz (*Zea mays L.*) y en el maíz morado (*Zea mays L*), en su variedad canteño, respectivamente. Huamán (2016) evaluó la autoridad del clima, mediante la energía de activación y los criterios del modelo GAB. Al respecto, se determinó una Ea= 12,0163 para el parámetro Xm= 36,6326kj/mol, según la constante termodinámica CGAB= -5,6722 kj/mol, en la cual *j* es la constante que delimita el potencial químico.

En las Figuras 13, 14, 15, se observó que las isotermas halladas, a través de la aplicación de los modelos GAB y BET, tienen una estructura sigmoidea, por lo que se pueden clasificar en el tipo II, de acuerdo con la propuesta de Brunaer et al. (1940), citado en Martin (2016). Las isotermas obtenidas están dentro de los valores de actividad del agua (0.2 a 0.8).

En McMinn et al. (2007) se presenta un caso similar en cuanto a las estructuras sigmoideas de las curvas halladas, en tal caso para el almidón. En el presente estudio, se determinó que, para efectuar la atomización, la inclusión de la cápsula de maltodextrina eleva los niveles de carbohidratos del producto. Murrieta-Pazos et al. (2014) señala que materiales no porosos, divididos finamente o macroporosos, también presentan características similares.

Por su parte, Rodríguez (2010) estableció que las isotermas, obtenidas a una temperatura de 3 a 30 °C, pertenecen a la categoría del tipo II. Además, sus criterios determinantes son el efecto de la temperatura y el proceso de deshidratación, los cuales influyen en el contenido de actividad del agua (aw) del producto. Un resultado similar se

encontró en Ramírez-Miranda (2014), quien determinó que las isotermas obtenidas a una temperatura ubicada entre 24, 30 y 35 °C, también pertenecen al tipo II, para el caso de la harina nixtamalizada. Cabe resaltar que los valores de la actividad de agua (aw) estaban comprendidos entre 0.2 y 0.85, valores muy cercanos a los considerados en la presente investigación, debido a la composición similar de ambos productos.

No obstante, no todas las curvas estudiadas pertenecen al tipo II, existen ejemplos del tipo III, tal como se presenta en Ovalle (2015), en el estudio de la harina de pijuayo. Aquello se explica, debido a que este producto es rico en elementos oleicos; además, fue procesada sin la intervención de ningún otro elemento, es decir, naturalmente. Al respecto, las temperaturas de rehidratación fueron las siguientes: 20, 30 y 40 °C, lo que generó el siguiente rango para el valor de la actividad del agua (0.10 y 0.90).

Del resultado de la observación de la influencia de los criterios *temperatura* y *tiempo de almacenamiento*, con base en el índice de peróxidos, se estimo la proyección del tiempo de vida útil del producto a diferentes temperaturas. Al respecto, se determinó que la ideal es de 30 °C, lo cual aunado a su mantenimiento en una zona fresca y alejada de la claridad, permite calcular un tiempo de vida útil de diez meses. Se estimó este lapso, ya que es complicado que se eleven los niveles de los índices de peróxido del polvo atomizado del aguaje, debido a que emplea un envase de polietileno de alta densidad; además, inicialmente se tiene un contenido de humedad entre el 3 y 5 %.

En el caso de Coronel (2016) y Ancco (2008), se hallaron menores tiempos de vida útil de los productos barquillos de tipo oblea (4.5 meses) y galletas enriquecidas con cañihua (3.5 meses), aquello debido, principalmente, al contenido: harina, azúcar, colorante, en el primer caso; y, el contenido nutricional, en el segundo caso.

Conclusiones

• Se identificó que los valores individuales de las variables más representativas son diámetro (B), maltodextrina (C) y temperatura (A), de los cuales tiene mayor efecto el diámetro de orificio (mm), en relación con la interacción de dos componentes: temperatura-maltodextrina (AC) es el que predomina en esta interacción. En el caso de diámetro-maltodextrina (BC) y temperatura-diámetro (AB) son significativos, pero en menor medida, por lo que aún participan en el proceso. Finalmente, se presenta la interacción de los tres componentes: temperatura-diámetro-maltodextrina (ABC), la cual es significativa, ya que sus valores p son menores que el nivel de significancia (α) de 0.05. En síntesis, se obtiene que, si se agranda o reduce el diámetro del orificio, se aumenta o reduce el nivel de concentración de la variable β-caroteno.

• Los modelos GAB y BET representan correctamente las isotermas de sorción, por lo que se concluye que son los más adecuados para los productos de origen vegetal, tales como las harinas, frutales y sus derivados.

• El modelo GAB es el que representa de mejor manera las isotermas de sorción, debido a que comprende una región más amplia de la actividad de agua (0.10-0.90), en comparación con el del BET (0.010-0.5), el cual es más restringido, por lo que su confiabilidad es menor.

• La energía de activación (Ea), obtenida mediante el modelo GAB, para la monocapa está comprendida en el rango de 32.0292 (KJ/mol K) y 75.963 (KJ/mol K), en el caso de las seis sales utilizadas, para las temperaturas (20, 25 y 30 °C).

• En cuanto a los parámetros, se determinó que la capacidad de sorción de la monocapa (Xm) de los modelos GAB y BET, con una temperatura de 20 °C, son muy similares en el caso del cloruro de sodio, cloruro de potasio y nitrato de potasio. Por otro lado, para el caso del acetato de magnesio, hidróxido de potasio e ioduro de potasio, mediante el modelo BET, se obtuvieron los valores de 3.8669, 4.2229 y 3.7893 g agua/100 g m.s, respectivamente; mientras que para el GAB, se obtuvieron valores relativamente superiores, tales como 4.2783, 4.2797 y 5.9040 g agua/100 g m.s.

• Se registró que el mayor nivel de concentración de provitamina A o β-caroteno se alcanzó según los siguientes criterios: una temperatura de 195 °C, 2.5 mm de diámetro de orificio y 12 % de maltodextrina con un valor de 459 mg/100 g pulpa.

• Se consideró que el 30 °C es el promedio local del clima, lo cual aunado a su conservación en una zona fresca y alejado de la claridad, le brinda un tiempo de vida útil de diez meses.

Recomendaciones

• Se sugiere realizar nueve ensayos experimentales, en la que se prueben nuevas soluciones salinas. De esta manera, se tiene mayor conocimiento y experiencia en el manejo de los diversos modelos matemáticos orientados a la conservación de los alimentos.

• Se recomienda aplicar este tipo de estudios en otros productos oriundos de nuestra región, tales como los tubérculos y frutas ricas en nutrientes para las dietas alimenticias para la población.

V

REFLEXIONES FINALES EN TORNO A LA IMPORTANCIA DEL PROCESAMIENTO DE SECADO DE LOS FRUTOS AMAZÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS

La Amazonía es una de las zonas con mayor biodiversidad existente en el planeta, en otras palabras, en esta área geográfica se concentra la mayor cantidad de especies relacionadas tanto con la flora como la fauna. Al respecto, se ha descubierto que data aproximadamente de hace veinte mil años, producto del levantamiento de la Cordillera de los Andes (Universidad San Ignacio de Loyola, 2018).

En el caso de la Amazonía ubicada en la región peruana, se destacan los frutos, considerados, en su mayoría, como superalimentos por su alto valor nutricional. No obstante, a pesar de este hecho, se observa que existe un gran desconocimiento e incluso abandono por el estudio del gran potencial agroindustrial de estos alimentos (Carrasco, 2019). Al respecto, en este escrito, se aplicó una serie de procedimientos del área alimenticia para su tratamiento industrial.

Entre los frutos amazónicos, se distingue la *mauritia flexuosa*, conocida comúnmente como *aguaje* en Perú. Este fruto se presenta en gran parte del territorio amazónico latinoamericano. Alguna de sus características botánicas son las siguientes, de acuerdo con Camelo-Silva et al. (2021):

Puede alcanzar una altura máxima de 40 m.

Sus raíces pueden alcanzar una profundidad de hasta 60 cm; asimismo estas pueden ser aéreas para asegurar una mejor respiración de la planta.

Sus flores pueden ser tanto femeninas como masculinas, además, en algunos casos pueden ser bisexuales.

Cada planta puede producir hasta un total de 290 kilos de aguaje.

Por estas y otras características, el aguaje es una palmera amazónica fácilmente reconocible en comparación con otras especies botánicas. En cuanto a su contenido nutricional, se distingue por su alto contenido nutricional, en especial, vitamina A. Sus usos, en la actualidad, se asocian con la preparación artesanal e industrial de bebidas, helados o chupetes (Orbe, 2019).

La composición bioquímica de este alimento consiste, a nivel macro, de lípidos, carbohidratos y proteínas; a nivel micro, de vitamina A (tales como los carotenoides y tocoferoles), vitamina E, compuestos fenólicos (p. ej. el ácido quínico, ácido cafeico y acido ferúlico) y los flavonoides (Moraes et al., 2020).

En relación con estos componentes, los beneficios del aguaje se relacionan con su contenido de vitamina A, por lo que es buen suplemento vitamínico, sobre todo, para infantes con problemas de deficiencia de esta vitamina. Otros micronutrientes importantes son el antioxidante y la vitamina C, el cual permite una mejor absorción del hierro (Bio-Pat Perú, 2017).

Otro componente importante del aguaje es el fitoestrógeno. Este permite mantener equilibrio hormonal de la mujer, por lo que su consumo es recomendando para reducir los

efectos de la menopausia. Por otro lado, de manera general, permite reducir las posibilidades de desarrollo de cáncer de mama, próstata o colón. Su uso también es medicado para el combate con las enfermedades cardiovasculares, las cuales son altamente prevalentes en la población mundial (Moraes et al., 2020).

Se deduce, entonces, la importancia de este fruto y su aporte para el mantenimiento de un estado saludable; se trata, pues, de un alimento con alto potencial en el sector de la agroindustria. Sin embargo, a pesar de su gran valor nutricional como comercial, no es un recurso aprovechado en la industria.

Dentro del campo del procesamiento de alimentos, así como la agroindustria, existe un área dedicada especialmente a la conservación. Al respecto, este proceso es practicado desde tiempos remotos, tal como indica Salvatierra (2019), es tan antiguo como la civilización misma, ya que cumplió un rol transcendental en la transformación del ser humano cazador nómade al agricultor sedentario.

El proceso de conservación de alimentos tiene diferentes modalidades, entre ellas, se presentan el secado, la emulsión y la extracción. La primera se asocia con la reducción del contenido de agua de un producto, es decir, con su nivel de humedad. El segundo se relaciona con la formación de una solución medianamente homogénea; el tercero se practica con la finalidad de obtener, generalmente, fragancias (Alca, 2018; Campo-Vera et al., 2018).

En el caso del secado de los alimentos, consiste en la deshidratación del producto, es decir, en la extracción de la humedad a tal nivel que permite obtener una mayor estabilidad bioquímica del producto. En ese sentido, el beneficio principal de este método es la conservación del producto por periodos extensos.

En relación con el secado, existen distintos métodos para el secado de alimentos, entre ellos, destaca la atomización. Este proceso es definido como la polvorización de un líquido, mediante la evaporación del disolvente del producto. De manera específica, en la atomización de un producto, intervienen un conjunto de procesos conectados entre sí, algunos de ellos son el bombeo de la materia de alimentación hacia la parte superior de la cámara de secado, la exposición del líquido a una corriente de aire o gas caliente y seca, la formación de pequeñas partículas, las cuales, posteriormente, son evaporadas (Arce y Navarro, 2018).

Algunos beneficios de la atomización de un producto es que permite la reducción considerable de sus costos de transporte y almacenamiento, aquello debido a que la presentación del aguaje en polvo es más manejable, en comparación al fruto fresco, el cual requiere de un mayor cuidado (temperatura, calor, nivel de humedad, entre otros). En síntesis, la atomización permite la agilización de la cadena logística del alimento procesado (Segura y Urango, 2019).

Otra ventaja de la atomización de los alimentos consiste en el encapsulamiento de ciertos nutrientes altamente sensibles al calor y humedad, con la finalidad de estabilizar sus componentes bioquímicos. Asimismo, es considerada como el proceso más económico y eficiente, en contraste con el resto de tipos de secados, ya que presenta bajos costos de producción; permite una producción continua y a gran escala y, por último, mantiene ciertos rasgos organolépticos (Peñaranda, 2019).

En la literatura, se destaca el aporte de los modelos matemáticos para ayudar a precisar los datos experimentales que se obtienen en el proceso de secado, tal como refieren

Guzmán-Hincapié y Zapata (2018), estos modelos ayudan a tener un mayor nivel de aproximación y ajuste para las matrices alimentarias. No obstante, es importante recalcar que es necesario la experimentación con distintos tipos de modelos hasta identificar al más adecuado para cierto tipo de producto, siempre tomando en consideración su nivel de humedad, presión, temperatura, entre otros elementos importantes.

Los productos deshidratados o secados tienen la posibilidad de absorber agua hasta alcanzar el equilibrio. Al respecto, este fenómeno incide en la alteración de la actividad acuosa, lo que a su vez se relaciona con el incremento de la actividad microbiana, cambios en el movimiento acuoso, la textura, color, entre otros. Ante este potencial cambio, se indica que uno de los métodos para controlar este proceso es el control mediante las isotermas de sorción (Caiza, 2021).

Las isotermas de sorción indican el equilibrio que se establece en la relación entre el volumen del agua absorbida (actividad del agua) y la humedad relativa (humedad en equilibrio), según una temperatura de determinación. En relación con sus aplicaciones, en el ámbito practico, se asocia con la predicción de las condiciones más óptimas para la deshidratación, almacenamiento, tiempo de vida útil, entre otros (Caiza, 2021; Vega, 2019).

Se infiere, entonces, la importancia de las isotermas de sorción en el proceso de secado y, en general, el procesamiento de alimentos. En ese sentido, tal como señala Vega (2019), estas son herramientas ampliamente usadas en el campo de las industrias alimenticias. Algunos de los modelos más empleados para el calculo del valor de las isotermas es el BET, GAB, Halsey, Caurie, entre otros (Brousse et al., 2017; Vega, 2019).

En el presente estudio, se investigó la relación entre los modelos BET y GAB en la aplicación del secado de la mauritia flexuosa (aguaje). Al respecto, se determinó que, en el proceso de modelación, ciertos componentes tuvieron un rol esencial, entre ellos, el tamaño del orificio, la temperatura y la cantidad de maltodextrina. De este grupo, el que tuvo mayor incidencia en el proceso es el tamaño del orificio de la entrada de alimentación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Adco, W. (2018). *Propuesta de un sistema de secado por atomización para la obtención de polvo de grenetina.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5699/MCadchw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Alca, J. (2018). *Estabilidad de emulsiones O/W obtenidas por emulsificación ultrasónica y convencional.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6551/IAalmajj.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Alcarráz, A. (2019). *Coeficiente de difusividad y energía de activación en el secado de aguaymanto (Physalis peruviana L) tratado con metasulfito de sodio.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/573

Ancco, T. (2008). *Determinación de vida en anaquel de galletas enriquecidas con cañihua (Chenopodium pallidicaule Sp) por pruebas aceleradas de almacenamiento.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Altiplano-Puno]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/627

Anria, M., González, A. & Quintero, R. (2019). Modelado de la isoterma de adsorción de zanahorias deshidratadas. *I+D Tecnológico*, *15*(1), 17-23. https://doi.org/10.33412/idt.v15.1.2093

Arce, M. & Navarro, O. (2018). *Diseño de la cámara de secado de una máquina deshidratadora por atomización de leche para bajos volúmenes de proceso*. [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica]. http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/6106/1/43003.pdf

Argueta, D., Saldaña, D., Tapia, M., Vázquez, I. & Alfaro, J. (2019). Estudio del secado solar de alimento mediante energía solar. *Jóvenes en la ciencia. Revista de divulgación de la ciencia*, *5*, 1-9. http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3047

Ariahu, C., Kaze, S. & Achem, C. (2006). Moisture sorption characteristics of tropical fresh water crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of Food Engineering*, *75*(3) 355–363. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.062

Artunduaga, K., Vargas, D. & Barrera, O. (2021). Conservación de las propiedades nutraceúticas del Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*), mediante técnicas de secado. *Revista Ingeniería y Región*, *25*, 6-21. http://dx.doi.org/10.25054/22161325.2818

Aviara, N. (2020). Moisture Sorption Isotherms and Isotherm Model Performance Evaluation for Food and Agricultural Products. En G. Kyzas y N. Lazaridis (Eds.), *Sorption in 2020s* (pp. 1-33). https://doi.org/10.5772/intechopen.87996

Babio, N., Casas-Agustench, P. & Salas-Salvadó, J. (2020). *Alimentos procesados: revisión crítica, limitaciones del concepto y posible uso en salud pública*. http://www.nutricio.urv.cat/media/upload/domain_1498/imatges/llibres/ULTRAPROCESADOS%2021-06.pdf

Bio-Pat Perú. (2017). *Aguaje*. [Boletín N° 1]. https://www.indecopi.gob.pe/documents/20791/1511615/AGUAJE+corregido.pdf/ae45188e-18b8-194f-0359-1250fa9372ef

Bonesso, M. & Roberto L. (2012). Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Buriti (*Mauritia flexuosa*). https://ispn.org.br/buriti-manual-tecnologico-de-aproveitamento-integral/

Boñón, C., Vejarano, R. & Salas, F. (2020, 27-31 de julio). *Efecto del secado por túnel, liofilización y atomización sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de huacatay* [sesión de conferencia]. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP223.html

Brousse, M., Linares, R., Vergara, M. & Nieto, A. (2017). Isotermas de sorción de puré deshidratado a partir de diferentes variedades de maíz. *Revista de Ciencia y Tecnología (RECyT)*, *28*(1), 28-36. https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/201

Caballero, B., Márquez, C. & Betancur, M. (2017). Efecto de la liofilización sobre las características físico-químicas del ají rocoto (*capsicum pubescens R&P*) con o sin semilla. *Bioagro*, *29*(3), 225-234. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131633612017000300008

Caiza, D. (2021). *Isotermas de sorción en alimentos pulverulentos y ecuaciones de ajuste: una revisión bibliográfica de datos publicados.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33611/1/AL%20787.pdf

Camelo-Silva, C., Ribeiro Sanches, M., Brito, R., Devilla, I., Tussolini, L. & Pertuzatti, P. (2021). Influence of buriti pulp (*Mauritia Flexuosa L.*) concentration on thermophysical properties and antioxidant capacity. *LWT Food Science and Technology*, 151. 10.1016/j.lwt.2021.112098

Campo-Vera, Y., Gélvez-Ordoñez, y Ayala-Aponte, A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *16(*1), 102-113. http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.628

Cárdenas, G. (2018). *Sorción de quinolonas en suelos agrícolas.* [Tesis de posgrado, Universitat de Barcelona]. http://hdl.handle.net/2445/127609

Carrasco, D. (2019). *Aprovechamiento de productos nativos amazónicos (Aguaje y Ungurahui) para desarrollar bombones de chocolate con valor agregado.* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1890

Carvajal, E. (2019). *Modelo de sorción para la remoción de cobre y plomo de lixiviados de rellenos sanitarios*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69616

Cerviño, V., Sosa, C., Vergara, L., Schmalko, M. & Sgroppo, S. (2016, 7-9 de septiembre). *Obtención y modelado de isotermas de sorción de caramelos "gummy" de batata* [sesión de congreso]. III Congreso Argentino de Ingeniería, Chaco, Argentina. http://hdl.handle.net/20.500.12272/1081

Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C., Ramos-Pacheco, B., Taipe-Pardo, F., Peralta-Guevara, D. & Solano, A. (2018). Evaluación de las isotermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*amaranthus caudatus*). *Revista Ion*, *31*(2), 67-81. http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018005

Coronel, J. (2016). *Evaluación de las características fisicoquímicas del barquillo tipo oblea enrollada durante su tiempo de vida útil*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1948

Daza, G. (2014). *Caracterización edáfica y su relación con el contenido de grasa y colorantes totales en la flor masculina de (Mauritia flexuosa L.F) "Aguaje"*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/920

Deusa, J. (2019). *Obtención de los isotermas de sorción de pollo a temperaturas de congelación*. [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València]. http://hdl.handle.net/10251/126447

Diaz, Y., Torres, L., Serna, J. & Sotelo, L. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Información Tecnológica*, *28*(6), 23-34. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004

Erbaş, M., Ertugay, M. & Certel, M. (2005). Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. *Journal of Food Engineering*, *69*, 191–198. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.017

Falen, H. & Honorio., E. (2018). Evaluación de las técnicas de aprovechamiento de frutos de aguaje en el distrito de Jenaro Herrera, Loreto-Perú, *27* (2), 131-150. https://doi.org/10.24841/fa.v27i2.443

Fennema, O. (1993). *Química de los Alimentos*. [2ª edición. Editorial Acribia, S.A.

Freitas, L., Bardales, R., Pinedo, M., Del Castillo, D. & Vásquez A. (2021) Factores climáticos, fenología reproductiva y biometría de *mauritia flexuosa* (aguaje) en plantaciones forestales de la Amazonía peruana. *Ciencia amazónica (Iquitos)*, *9* (1), 17-30. http://dx.doi.org/10.22386/ca.v9i1.317

Freitas, L., Zárate Gómez, R., Bardales Lozano, R. & Castillo Torres., D. (2019). Efecto de la densidad de siembra en el desarrollo vegetativo del aguaje (*mauritia flexuosa L.f.*) en plantaciones forestales. *Revista peruana de biología 26*(2): 227- 234 (Julio 2019). http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i2.16378

García, M. (2016). *Análisis de las condiciones límite para un modelo de secado al vacío por contacto*. [Tesis de posgrado, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/402/1/Garcia%20Pati%c3%b1o%2c%20M.%20A..pdf

Gómez, A. (Febrero, 2021). *El moriche o cananguche, el bello árbol de la vida*. [Boletín N°588]. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/13404

Guzmán-Hincapié & Zapata, J. (2018). Propiedades termodinámicas e isotermas de sorción de sales con interés alimentario. *Información Tecnológica*, *29*(3), 105-120. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300105

Huamán, B. (2016). *Isotermas de Adsorción de la harina de castaña (Bertholletia excelsa h.b.k) en la región de madre de Dios* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/326

Huille, A. (2018). *Determinación de las isotermas de sorción de agua, propiedades microestructurales y térmicas de dos variedades de granos de cañihua (chenopodium pallidicaule aellen) con y sin perigonio*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11136

Koolen, H., Da Silva, F., Da Silva, V., Paz, W. & Bataglion, G. (2018). *Buriti fruit—Mauritia flexuosa*. En Exotic Fruits, 61–67. doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00004-6

Maldonado, R. (2005). *Obtención de lúcuma (pouteria obovata) en polvo por atomización*. https://es.scribd.com/document/360689998/Lucuma-en-Polvo-Por-Atomizacion

Martin, J. (2016). *Cinética de sorción de humedad en productos de molinería. Obtención acelerada de datos y caracterización matemática* [Tesis Doctoral, Universidad de Córdova]. http://hdl.handle.net/10396/13189

McMinn, W., McKee, D. & Magee, T. (2007). Moisture adsorption behaviour of oatmeal biscuit and oat flakes. *Journal of Food Engineering*, *79*(2), 481–493. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.009

Miguel-Olivares, J. (2019). *Efecto del secado a vacío y vacío asistido con ultrasonido en cubos de manzana (red delicious)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/3451896

Ministerio de la Producción. (febrero, 2018). Aprovechamiento de los residuos de *Mauritia Flexuosa*. [Boletín 01]. https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/AGROINDUSTRIA_001-2018.pdf

Miranda, C., Matos, R. & Medina, G. (2018). Fenología del crecimiento, desarrollo y producción del aguaje (*Mauritia Flexuosa L. F.*). *Investigación y Amazonía, Tingo María, Perú*; *8*(6): 6-10. https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/206/189

Moraes, M., Rosember, H. & Mejía, K. (2020). *Mauritia flexuosa - un símbolo de las palmas útiles sudamericanas*. En Palmeras y usos: Especies en Bolivia y la región. https://www.researchgate.net/profile/Monica-Moraes-R/publication/342150637_Palmeras_y_usos_Especies_de_Bolivia_y_la_region/links/5ee4c6b8458515814a5b8e84/Palmeras-y-usos-Especies-de-Bolivia-y-la-region.pdf#page=72

Moreira, S. (2018). *Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papillas elaboradas con harina de papas nativas ecuatorianas (Solanum andigena) deshidratadas mediante secado convectivo por aire caliente* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28025/1/AL%20676.pdf

Moreno-Piraján, J., Rodríguez-Estupiñán, J., Giraldo, L. & Cantor-Campos, P. (2020). Propiedades texturales a partir de isotermas de N2 de carbón activado y sílice mesoestructurada tipo SBA-15 magnetizados para explorar su capacidad de adsorción según modelos para el fenol. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (57), 26-33. http://www.gecarbon.org/boletingec57.asp

Mosquera-Vivas, E., Ayala-Aponte, A. & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo L.*). *Información Tecnológica*, *30*(3), 179-188. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179

Muñoz, A., Adame, R., Limon, P. & Sandoval, I. (2016). Determinación del valor de sorción de azul de metileno para fillers mediante la técnica de espectrofotometría visible. *RIOC. Revista Ingeniería de Obras Civiles*, *6*, 16-21. http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1993

Murrieta-Pazos, I., Galet, L., Patry, S., Gaiani, C. & Scher, J. (2014). Evolution of particle structure during water sorption observed on different size fractions of durum wheat semolina. *Powder Technology*, *255*, 66–73. https://doi.org/ff10.1016/j.powtec.2013.10.049

Noguera, D. & Rivero, D. (2021). Isotermas dinámicas de sorción de humedad y propiedades termodinámicas de café soluble. *Ingeniería y Región*, *25*, 32-45. https://doi.org/10.25054/22161325.2840

Obas, F. (2017). *Determinación de la humedad relativa crítica en la cual ocurre la transición vítrea en confites amorfos utilizando isotermas de sorción*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. http://hdl.handle.net/11036/6134

Orbe, M. (2019). *Optimización del Proceso de Maduración del Aguaje (mauritia flexuosa L.), Aplicando el Método de Superficie de Respuesta*. [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma]. https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2734

Ordoñez, A., Campos, A., Collazos, A. & Guitierrez, N. (2018). Modelado de las isotermas de desorción y calor isosterico de sorción en granos de café pergamino húmedo (*Coffee arabica L.*). *Revista Ingeniería y Región*, *20*, 12-22. https://doi.org/10.25054/22161325.1909

Ovalle, J. (2015). *Evaluación de las isotermas de adsorción en harina de pijuayo "Bactris gasipaes"*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/69/004-2-1-016.pdf?sequence=1

Padilla-Frías, K., Granados-Conde, C., Leon-Mendez, G., Arrieta, Y. & Torrenegra-Alarcon, M. (2018). Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado. *LIMENTECH Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *16*(1), 107-117. http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/3935

Peñaranda, I. (2019). *Influencia del secado por atomización de mucílago de cacao (theobroma cacao l.) en el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://hdl.handle.net/20.500.12996/4225

Perez, C. (2017). *Propuesta de mejora del sistema de secado de producto granulado empleado en la empresa Punto Natural Zamora Prieto S. A. S.* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6262/1/6101378-2017-1-IQ.pdf

Pérez-Campos S., Chavarría-Hernández N., Alfaro-Rodríguez R. & Rodríguez-Hernández A. (2016). Ultrasonido: Tecnología emergente en la extracción de biomoléculas de interés para la industria de alimentos y farmacéutica. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, *2*(3). https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/998 /996

Portocarrera, F. (2018). *Efectos de la temperatura sobre el polvo de Mauritia flexuosa (Aguaje) obtenido en secador spray*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5489

Pulla, P. (2011). *Determinación de las isotermas de adsorción del ají (Capsicum annum L) seco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios].

Ramirez, B. (2016). Isoterma de sorción de humedad de aguaymanto (*Physalis peruviana I.*) deshidratado (pasa). *Ciencia y Tecnología*, *21*(1), 30-35. http://revistas.unac.edu.pe/index.php/CYT/article/view/43

Ramírez-Miranda, M., Cruz y Victoria, M., Vizcarra-Mendoza, M. & Anaya-Sosa, I. (2014). Determinación de las isotermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química,* 13(1), 165-178. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62031166013

Resende, L., Franca, A. & Oliveira, L. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chemistry*, 270, 53–60. 10.1016/j.foodchem.2018.07.07

Rodríguez, M. (2010). *Efecto de las fluctuaciones de temperatura ambiente sobre el valor de la actividad de agua de un alimento deshidratado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2644/Rodr%C3%ADguez%20Pe%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. & Montes, L. (2016). Encapsulación de alimentos probióticos mediante liofilización en presencia de prebióticos. *Información Tecnológica*, *27*(6), 135-144. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014

Rubiela, I., Benavides, A. & Barrera, A. y Pardo, Y. (2016). Potencial agroindustrial de frutas amazónicas del departamento del Caquetá: caso arazá. *Revista FACCEA. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas*, *6*(1), 96-101. http://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/faccea/article/view/564/575

Salvatierra, I. (2019). *Manual de conservación de alimentos*. INACAP. https://www.curriculumnacional.cl/docentes/Diferenciado-Tecnico-Profesional/Alimentacion/181497:MANUAL-DE-CONSERVACION-DE-ALIMENTOS

Sánchez D. (2013). *Estimación de la vida media del queso mozzarella mediante pruebas aceleradas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1220/TESIS%20SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sapailla, R. (2020). *Estimación de las isotermas de adsorción y caracterización de la sangre de pollo (Gallus domesticus) deshidratada*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/15791

Segura, D. & Urango, J. (2019). *Optimización de las condiciones de secado por atomización de estevia (stevia rebaudiana bertoni) utilizando la metodología de superficie de respuesta*. [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba]. Https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4367

Tafur, H. (2018). *Modelamiento de la cinética de secado de las hojas de sachaculantro (Eryngium Foetidum L.) por convección forzada*. [Tesis de posgrado, Universidad Agraria de la Selva]. http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1600

Talens, P. (2017). *Determinación de la isoterma de sorción de agua un alimento*. Universitat Politècnica de Valencia. http://hdl.handle.net/10251/83506

Universidad San Ignacio de Loyola. (29 de agosto de 2020). *El aguaje es un aliado contra el calentamiento global*. https://www.usil.edu.pe/noticias/el-aguaje-es-un-aliado-contra-el-calentamiento-global

Vallejos, L. (2016). *Efecto de la proporción de quimua: kiwicha: arracacha en la aceptabilidad general, carga comprensiva y vida útil de hojuelas*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. http://200.62.226.186/bitstream/20.500.12759/2889/1/IND.ALIM_LIANA.VALLEJOS_PROPORCION.DE.QUINUA_DATOS.PDF

Vásquez-Tantas, G. (2017). *Modelación matemática, simulación, análisis paramétrico y financiero de una cámara de secado solar para cacao*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. https://hdl.handle.net/11042/3234

Vidaurre, R. (2013). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos*. Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Departamental de Lambayeque.

Vito J. (2019). *Determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLF) de un producto extruido enriquecido con concentrado protéico de pota (Dosidicus gigas)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://hdl.handle.net/20.500.12996/4195

Yong, A., Calves. E., González, Y., Permuy, N. & Pavón, M. (2017). La conservación de alimentos, una alternativa para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria a nivel local. *Cultivos tropicales*, *38*(1), 102-107. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193250540013

Yoplac, I., Goñas, K., Bernal, W., Vásquez, H. & Maicelo, J. (2021). Caracterización química y digestibilidad in vitro de semillas y subproductos agroindustriales amazónicos con potencial para alimentación animal. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *32*(3), 1-15. https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.18765

Zapana, F. (2017). *Estudio comparativo de isotermas de adsorción, propiedades físicas y microestructurales de tres variedades de quinua (chenopodium quinoa willd.), cultivadas a diferentes altitudes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7493

EDITORIAL
TERCER SOL
MEXICO