



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“SIMULACION DE PROCESOS DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACION DE MANGO”

Presentado por:

BACH. BRAGA MAGALLANES, ANA MARÍA DEL CARMEN

Autor del Proyecto de Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 5% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 17 de setiembre de 2025

Nº de Recibo: 20135866

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



**“SIMULACION DE PROCESOS DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACION
DE MANGO”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

TESIS

PRESENTADO POR:

AUTOR: Bach. BRAGA MAGALLANES, ANA MARÍA DEL CARMEN

ASESOR:

Mg. Juan Toledo Huamán

ICA - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A mis padres:

Quienes fueron y siguen siendo mi más grande ejemplo e inspiración para luchar y avanzar día a día, por apoyarme y creer en mí siempre que dudaba de mí misma. Gracias a su sacrificio, dedicación y esfuerzo la culminación de esta tesis y de mi carrera profesional fue posible.

Este logro es tan mío como de ustedes, los amo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos en primer lugar a Dios, quien fue el personaje principal dándome una oportunidad más para poder seguir aquí y hacer todo esto posible.

A mis padres, quienes fueron mis pilares y apoyo incondicional, por creer en mi y motivarme a diario desde que empecé la carrera. Por guiarme en todos los sentidos de mi vida porque la persona que soy hoy es gracias a ustedes.

A mis hermanos, en especial a mi hermana menor. Gracias Mariana, por ser mi motor y refugio.

A mi abuelito Carlos, que, aunque ya no esté conmigo sé que en el cielo está celebrando conmigo este gran logro porque cada vez que podía y se acordaba me recordaba lo lejos que he llegado y lo orgulloso que estaba de mí.

A mis amigos, por el apoyo constante durante toda mi carrera universitaria, por apostar por mí aún cuando yo dejaba de hacerlo y por no dejarme abandonar la carrera. tenían razón: si me gusta. Gracias a ustedes por no dejarme sola todos estos años y motivarme durante la realización de esta tesis.

Gracias a mi asesor por su guía y apoyo constante durante este proceso, de igual manera a los miembros del comité por su tiempo y contribución en cada revisión y evaluación de este trabajo.

Y gracias a todas las personas que durante el camino contribuyeron a la realización y culminación de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

	Pag
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	iv
I. INTRODUCCION.....	10
1.1. Plan de la investigación	12
1.1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.1.2. Antecedentes de la investigación	12
1.1.3. Formulación del problema	18
1.1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	18
1.2. Objetivos	19
1.3. Hipótesis y variables de la investigación	20
II. ESTRATEGIAS METODOLOGICAS.....	21
2.1. Mango.....	21
2.1.1. Origen	21
2.1.2. Taxonomía	21
2.1.3. Composición del mango	22
2.1.4. Contenido promedio en la pulpa de mango fresco (x 100 g)....	22
2.1.5. Variedades de mango en el Perú.....	23
2.1.6. Usos del mango.....	24
2.1.7. Análisis del mango	25
2.2. Métodos para deshidratación de futas	26
2.2.1. Deshidratado con aire caliente.....	27
2.2.2. Deshidratado al aire libre	27
2.2.3. Deshidratado con energía solar.....	28
2.2.4. Deshidratado osmótico	30

2.3.	Temperatura de deshidratación.....	30
2.4.	Tiempo de deshidratación.....	30
2.5.	Ventajas del proceso de deshidratado.....	31
2.6.	Secador de frutas	31
2.6.1.	Deshidratadores utilizados en la industria alimentaria	31
2.7.	Fuentes de energía utilizadas en la deshidratación	32
2.7.1.	Generación de aire caliente.....	32
2.7.2.	Cálculo de flujo de aire en los deshidratadores	32
2.8.	Factores que afectan el proceso de deshidratación	33
2.8.1.	Área de superficie	33
2.8.2.	Temperatura	33
2.8.3.	Tiempo	33
2.8.4.	Velocidad del aire	33
2.8.5.	Humedad del aire	34
2.8.6.	Propiedades de los alimentos	34
2.8.7.	Tiempo de deshidratación.....	34
2.9.	Proceso de obtención de mango deshidratado.....	34
2.9.1.	Selección de la fruta.....	34
2.9.2.	Preparación de la muestra	35
2.10.	Propiedades iniciales de la pulpa.....	36
2.10.1.	Índice de la madurez	36
2.10.2.	Total de azúcares	36
2.10.3.	Porcentaje de acidez	36
2.10.4.	Evaluación de la humedad	37
III.	RESULTADOS.....	38
3.1.	Metodología.....	38
3.2.	Descripción del proceso de deshidratación del mango.....	38
3.2.1.	Recepción de la materia prima.....	38
3.2.2.	Selección y clasificación.....	38
3.2.3.	Lavado y desinfección	38
3.2.4.	Descascarado y rebanado.....	38
3.2.5.	Tratamiento antimicrobiano.....	39
3.2.6.	Deshidratado	39

3.2.7. Envase.....	39
3.2.8. Almacenamiento	39
3.3. Diagrama de flujo	39
3.4. Elección del método y equipo de deshidratación	40
3.4.1. Método.....	40
3.4.2. Equipo.....	40
3.5. Simulación del proceso de deshidratación	41
3.5.1. Metodología.....	41
3.5.2. Recepción de la muestra	41
3.5.3. Deshidratación	42
IV. DISCUSION DE RESULTADOS	44
V. COCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	52
VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1 : Valor medio de los componentes del mango en 100 gr de parte comestible	22
Tabla N°2 : Temperatura de deshidratación	30
Tabla N°3 : Tiempo de deshidratación para frutas	30
Tabla N°4 : Datos obtenidos en el secado de la uva	45
Tabla N°5 . Valores de humedad total, humedad libre, humedad media y velocidad crítica respecto al tiempo	46
Tabla N°6 : Valores de humedad total respecto al tiempo	47

INDICE DE FIGURAS

Fig. N°01	:	Deshidratado con aire caliente	26
Fig. N°02	:	Diagrama de flujo del deshidratado osmótico del mango....	29
Fig. N°04	:	Esquema de las fases fruta-fluido	31
Fig. N°07	:	Diagrama del proceso.....	39
Fig. N°08	:	Horno de secado con circulación de aire caliente.....	40
Fig. N°09	:	Mango rosado de Ica	41
Grafica N°01	:	Gráfica de los datos de humedad total vs tiempo.....	48
Grafica N°02	:	Gráfica de los datos de velocidad crítica del secado vs humedad media	49

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad la simulación del proceso de deshidratación del mango.

Actualmente, el mango producido en la región se destina exclusivamente a la comercialización en su estado fresco, sin incorporarle ningún valor agregado. Esta situación influye directamente en su bajo precio de venta, lo que repercute negativamente en los ingresos de los productores. Como consecuencia, se ve restringido el desarrollo económico, social y ambiental, no solo de los agricultores, sino también de recolectores, transportistas, distribuidores finales y de la comunidad en general involucrada en esta cadena productiva.

Los principales parámetros de calidad en la comercialización son el color, la forma (contracción) y el calibre. El cambio de color en los alimentos durante el procesamiento térmico es causado por reacciones químicas que tienen lugar en el alimento, como la degradación de pigmentos (especialmente carotenoides y clorofilas), reacciones de pardeamiento como la condensación de componentes amino y la oxidación del ácido ascórbico [1].

Los cambios de color en verduras y frutas han sido experimentados por varios expertos en frutas como plátano, manzana, rodajas de manzana, puré de piña, albahaca. El encogimiento también es un parámetro importante para determinar la calidad de los frutos secos; La contracción en frutos secos provoca una reducción en las características cuantitativas y cualitativas del fruto como el volumen y la absorción de agua.

Se ha experimentado la cinética de rehidratación de diversos productos secos como rodajas de plátano, rodajas de manzana, aloe vera, papa, mango y tomates. Se investigaron los parámetros de calidad, color, encogimiento y comportamiento de rehidratación del mango hidratado en tres condiciones de secado (secado con aire caliente, secado solar híbrido y secado al sol).

En el presente estudio se determinaron las características del diseño para un Deshidratador Mixto Indirecto (DMI) con una capacidad de 50 kg.

ABSTRACT

The purpose of this study is to simulate the mango dehydration process.

The regions mango is currently being designated only for fresh marketing activities and without any type of added value. This can be attributed to its low market value and therefore the low income of its producers, limiting the economic, social and environmental development not only of farmers, collectors, transporters, final distributors, community, among other participants in the harvest of this fruit.

The main quality parameters in marketing are color, shape (shrinkage) and size. The color change in foods during thermal processing is caused by chemical reactions that take place in the food, such as the degradation of pigments (especially carotenoids and chlorophylls), browning reactions such as condensation of amino components and oxidation of ascorbic acid.

Color changes in vegetables and fruits have been experienced by several experts on fruits such as banana, apple, apple slices, pineapple puree, basil. Shrinkage is also an important parameter in determining the quality of nuts; Shrinkage in nuts causes a reduction in the quantitative and qualitative characteristics of the fruit such as volume and water absorption.

The rehydration kinetics of various dried products such as banana slices, apple slices, aloe pear, potato, mango and tomatoes have been experimented. The quality parameters, color, shrinkage and rehydration behavior of hydrated mango were investigated under three drying conditions (hot air drying, hybrid solar drying and sun drying).

I. INTRODUCCION

La deshidratación es una de las técnicas de conservación de frutas más antiguas, ya que al reducir significativamente la actividad del agua, se inhibe el crecimiento de microorganismos y se detienen muchas de las reacciones químicas responsables del deterioro del producto. En especial en las zonas rurales, este método representa una alternativa eficaz y accesible para preservar frutas, gracias a su bajo costo y facilidad de implementación.

La calidad de una fruta deshidratada depende en gran medida de las condiciones del proceso, como la temperatura, el tiempo de exposición y la actividad de agua residual. Estos factores inciden directamente en la presencia de alteraciones físicas y bioquímicas. Al disminuir el contenido de humedad, se limita el desarrollo de agentes patógenos y se prolonga la vida útil del producto, manteniendo su valor comercial y nutricional.

El propósito principal de este proceso es extender la conservación de la fruta, evitar pérdidas económicas y obtener un producto más estable y atractivo para el mercado. Por ello, el presente documento explora diversas técnicas de deshidratación aplicadas al mango, tales como el secado con aire caliente, el secado al aire libre, la deshidratación osmótica y el secado solar. Asimismo, se incluye una descripción básica sobre la construcción de un deshidratador solar, destacando su bajo costo y viabilidad para pequeños productores.

En la actualidad se han generado ideas a grandes escalas de este tipo de industrias alimentarias enfocadas a productos de frutas y vegetales mínimamente procesados listos para el consumo directo, es decir, lavado, cortado, pelado, troceado y empacado se mantienen sin ningún tipo de aditivo, también existen técnicas durante este que ayudan a una excelente conservación, como lo son los empaques que han venido evolucionando continuamente de acuerdo a los requerimientos para que este sea el más apropiado para proteger el producto, debido a que siempre existen factores que pueden hacer que se desarrollen peligros microbiológicos que afecten a la fruta o vegetal cuando sufren un

cambio de sus tejidos en el proceso de corte, un ejemplo de esto es conservar este tipo de productos como lo es el envase al vacío, el cual consiste en aumentar el dióxido de carbono y vapor de agua al momento de empacarlo, alargando la vida útil de este. Cabe destacar que cuando se obtiene el producto final el almacenamiento debe ser a bajas temperaturas y mantener la cadena de frío hasta el consumidor final, estos productos no tienen altos costos su valor siempre varía entre un 20% y 30% adicional al fruto en fresco. Este tipo de procesos, se puede realizar con una gran variedad de frutas, entre ellas el mango con una gran tendencia al crecimiento en el Perú el consumo per cápita de 1,7 kg por persona [2].

La producción de este tipo de alimentos es considerado de muy pocas etapas las cuales deben tener un alto nivel de calidad e higiene y también se pueden ofertar diferentes productos, en este caso se sigue un proceso de producción en línea, el cual consiste en que una etapa depende del cumplimiento de la etapa anterior teniendo en cuenta que esta secuencia o estructura establecida ayuda a obtener mejores resultados, hace que el proceso sea óptimo y de acuerdo a las necesidades de este y a la selección de los equipos.

Por su parte, la simulación es una herramienta de mucha efectividad en todos los procesos productivos, en especial el uso de software como FlexSim® permite la realización de modelos que acercan a la realidad; teniendo como base saber ejecutar este software, ya que brinda la posibilidad de hacer diferentes modificaciones de acuerdo a las necesidades de capacidad o requerimientos necesarios para el funcionamiento de un proceso productivo industrial, poderlo analizar de manera matemática o lógica y así tomar decisiones para una puesta en funcionamiento en la realidad, puesto que se tiene una comprensión y análisis de cómo funciona el sistema, con diferentes factores como la eficiencia, calidad de los productos, reducir o manejar los tiempos y en algunos escenarios ser extremistas para saber el comportamiento de dicho proceso, entre otros.

Se desarrolló el diseño, el proceso productivo de la plata y la simulación con el mango ya que es uno de los frutos de mayor cosecha como se mencionó anteriormente en nuestra región a los meses de verano lo cual suplente una gran demanda tanto nacional en fresco, se quiere que con el desarrollo de este “trabajo

investigativo” se dé una presentación más innovadora para los consumidores finales y tenga un buen auge en especial en nuestra región; teniendo en cuenta también las características del fruto como lo son la forma, el peso, la pulpa, la maduración, los desechos que se dan al realizar el proceso productivo, sabiendo que las cosechas de los cultivos de mango son de muy buena calidad en los últimos años, ya que no se utiliza la aplicación de agroquímicos durante su cosecha y su buena conservación al momento de la maduración [3].

1.1. Plan de la investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Para empezar, el objetivo principal de la conservación de los alimentos es alargar su vida útil, con la finalidad de que éstos puedan ser consumidos en días, semanas o incluso meses posteriores al procesamiento, y asegurar que lo producido llegue al consumidor final con la debida seguridad, o sea que no sean vehículos de agentes que puedan ocasionar daños a la salud. No obstante, debido a las exigencias de inocuidad alimentaria, cada día la industria de los alimentos requiere de métodos de preservación que cumpla con estos objetivos y alteren en lo menos posible las propiedades organolépticas y de nutrición de los productos alimentarios.

Con el propósito de satisfacer esta necesidad, se están realizando investigaciones para ofrecer diversas opciones de aplicaciones térmicas, que sean aptos para inactivar patógenos, que no alcancen las temperaturas que afectan a los distintos compuestos termosensibles que llegan a determinar la calidad alimentaria.

1.1.2. Antecedentes de la investigación.

Existen diversos artículos sobre deshidratación de alimentos y secado al sol, a continuación, se resumen los más destacados.

A nivel internacional:

“Siendo el fruto tropical más producido a nivel mundial, es una importante fuente de compuestos antioxidantes y nutrientes en la dieta. Para prolongar la vida útil de este fruto, se puede llevar a cabo un proceso de secado. Sin embargo, durante este proceso, pueden ocurrir cambios de

color no deseados y una disminución en la concentración de compuestos antioxidantes. Para contrarrestar estos efectos, se pueden utilizar pretratamientos que aceleren la velocidad de secado, mejoren la eficacia del producto, prevengan la degradación de los compuestos antioxidantes y reduzcan el oscurecimiento de la fruta. Estos pretratamientos contribuyen a mantener la calidad y características deseables del mango durante el proceso de secado, mejorando así su vida útil y conservando sus propiedades nutricionales” [4].

Buitrago Huertas [5] *Indica en su trabajo “Estudio preliminar para deshidratación del mango utilizando la energía solar (Mangifera indica L. var. Común) en Colombia (Tesis para optar Título). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia”.*

Con el fin de abordar la pregunta de investigación sobre la viabilidad de utilizar secadores solares industriales para el procesamiento de mango común en Colombia, se llevó a cabo un estudio que consideró varios aspectos relevantes. Esto incluyó la evaluación de la demanda global de snacks saludables, el análisis de la cadena agroindustrial del mango en Colombia, la revisión de los avances tecnológicos en secadores solares, y la propuesta de una escala y condiciones técnicas operativas para el secado de mango común utilizando secadores solares. El estudio se centró en analizar la factibilidad técnica y operativa de emplear secadores solares industriales para procesar mango común en Colombia. Se consideraron las tendencias de mercado de snacks saludables, la disponibilidad de materia prima en la cadena agroindustrial del mango en el país y los avances en tecnología de secado solar. Como resultado del estudio teórico, se propuso una escala y condiciones técnicas operativas específicas para el secado de mango común utilizando secadores solares. Estas propuestas consideran aspectos como la capacidad de producción, el diseño del secador solar, los parámetros de temperatura y humedad, y otros factores relevantes para garantizar un proceso eficiente y de calidad.

La síntesis de los descubrimientos notables es la siguiente:

El panorama del mercado de alimentos aperitivos, en particular los snacks saludables, ubica a los Estados Unidos en la posición más prometedora, con ingresos anuales estimados en 1.4 mil millones de dólares. No obstante, el sector colombiano de exportación de snacks elaborados a base de frutas tropicales es sorprendentemente escaso. Una de las pocas empresas destacables en este espacio es FRUTAS FRUANDES LTDA., una entidad colombiana dedicada a la producción de diversas mercancías, entre las cuales se encuentra la fruta tropical deshidratada, un producto que se realiza mediante tecnología de secado convencional. En el año 2012, se registró que esta empresa generó exportaciones que ascendieron a 126932 dólares estadounidenses. En relación a la cadena agroindustrial del mango en Colombia, es evidente que aún carece de consolidación, y las mayores limitaciones están en la fase inicial de este proceso. En la industria hortofrutícola, que abarca igualmente hierbas y especias, se ha recurrido a los secadores solares para el procesamiento de una gama extensa de productos, desde el mango y el banano, hasta el pimiento para pimentón, arroz, maíz, manzana, piña, uvas, entre muchos otros.

La teoría indica que, para procesar 16 kg de mangos frescos en las condiciones geográficas y climáticas de Anapoima, Cundinamarca, con un secador solar, se requiere un aporte energético de 650690,84 kJ al día. Esta demanda puede ser cubierta en un 70% por la captación solar, mientras que el 30% restante podría obtenerse a través de un sistema auxiliar de calefacción a base de GLP, lo cual implica la combustión de 0.0007 kg de GLP diariamente. Por tanto, y tomando en cuenta estos elementos, podemos inferir de forma preliminar que la implementación de secadores solares industriales para el procesamiento del mango común en Colombia es viable. Sin embargo, para confirmar su factibilidad, es imprescindible llevar a cabo una evaluación minuciosa en términos financieros, logísticos y de cualquier otra consideración pertinente.

A nivel nacional:

El mango (*Mangifera indica*), con sus raíces trazadas hasta el sur de Asia, figura prominentemente en el repertorio de frutas tropicales

reconocidas a nivel mundial. Existen más de 500 variedades distintas de este fruto, destacando entre ellas la variedad Kent. Esta se ha posicionado como una de las variedades más cultivadas en Perú, constituyendo alrededor del 75% de la producción total de mangos en el país. Piura, en particular, es un foco notable de esta producción. Muchas publicaciones mencionan que el mango peruano es la fruta de mayor calidad, razón por la cual tiene tan buena acogida en el exterior. En Perú, los mangos se cultivan principalmente en Piura, Chiclayo y Ica debido al clima.

Perú concentra actualmente la mayor producción de mango en Piura, representa el 84% de la producción del país. Sin embargo, no todo el mango se exporta debido a que algunos de estos se maduran, siendo Piura uno de los departamentos que más mango fresco exporta, se pensó que hacer con el mango que no se exporta y se malogra descomponiéndose y generando un foco de contaminación. Entonces el mango que no se exporta ni se vende en mercado nacional, sirve como materia prima para una empresa de deshidratado, además de aprovechar el producto de descarte de las empresas de mango fresco se está reduciendo un foco de contaminación.

La calidad del producto deriva del beneficio del mango (la recolección y deshidratación) que ha mantenido su prestigio en el mercado mundial y ocupa una buena posición en el mercado.

Las técnicas para deshidratar alimentos se dividen en dos categorías principales: secado directo e indirecto. En el secado directo, la fuente de energía interactúa directamente con el alimento para eliminar su contenido de agua. Esto implica una transferencia de calor inmediata del agente de secado al producto, que puede incluir métodos como el secado al sol o el uso de aire caliente. Por otro lado, el secado indirecto se basa en un medio intermedio que es calentado por la fuente de energía para llevar a cabo la deshidratación del alimento. En este proceso, el calor se transmite al producto a través de un agente como la pared de un recipiente o un fluido intermediario. Este proceso podría involucrar métodos como el secado al vacío o el secado por convección en un horno. Ambos métodos tienen sus propias ventajas y desventajas, y la elección del método a utilizar depende

en gran medida del tipo de alimento y de los objetivos específicos del proceso de deshidratación.

Por lo tanto, se trata de diseñar un secador indirecto con la finalidad de deshidratar pulpa de mango mediante el control de propiedades psicométricas del aire, su velocidad y las condiciones de higiene en el proceso dentro de la cámara (aislada de agentes externos y solamente en unión con el aire caliente). Este sistema de deshidratado nos permite determinar el tiempo de secado del mango, la humedad crítica y la humedad final de la fruta después de la operación de secado. Sin embargo, debido a la falta de recursos económicos no fue posible obtener un higrómetro que permitiera medir la humedad relativa del aire, ya que en el pasado se tomaba como base para los valores de a_w .

La deshidratación es una técnica que se orienta a la reducción del contenido de agua en un producto, y se lleva a cabo frecuentemente a través de la utilización de aire caliente. Este método ofrece una solución eficaz para la conservación de los productos agrícolas, ya que disminuye los costos asociados al empaquetado, transporte y almacenamiento. El principio central de la deshidratación es la eliminación de la humedad, la cual impide la proliferación de bacterias y hongos que comprometen la calidad de los alimentos. A pesar de que el proceso de secado se acelera con el incremento de la temperatura, es importante señalar que los materiales orgánicos tienden a ser más susceptibles a las temperaturas elevadas, dado que pueden alterar sus propiedades sensoriales y valor nutritivo.

Un sistema de secado eficiente es esencial para optimizar la rentabilidad de una empresa que se dedica a la deshidratación de alimentos. El alto coste de los combustibles y su consumo excesivo debido a la ineficiencia de los procesos de secado ha incentivado no solo la adopción de fuentes de energía alternativas, como la energía solar, sino también el desarrollo de modelos que propicien las condiciones más óptimas para el proceso de deshidratación.

Estos modelos de secado no solo permiten predecir el proceso más eficaz, sino que también proporcionan herramientas para pronosticar las condiciones óptimas para el almacenamiento y envasado de los productos. El fundamento de los estándares de deshidratación radica en los principios de equilibrio entre el adsorbente (o adsorbato) y el agua. Por lo tanto, resulta crucial definir las isotermas de desorción que dependen de la capacidad de almacenamiento de la humedad, un parámetro determinado por la actividad del agua.

Una isoterma de desorción describe el comportamiento de la actividad del agua bajo condiciones de equilibrio a una temperatura específica y a varios porcentajes de humedad. Así, permite prever las condiciones más adecuadas para el deshidratado y envasado de los alimentos.

Esta investigación presenta el diseño de un deshidratador y un modelo matemático que anticipa el patrón de deshidratación del mango. El modelo se fundamenta en una simplificación de las condiciones a una dimensión, así como en ciertas abstracciones matemáticas permitidas para el caso específico en el que se aplica el modelo. En otras palabras, a pesar de que el modelo puede no incorporar todas las complejidades del proceso de secado real, proporciona una aproximación útil y manejable para entender y predecir el comportamiento del secado de mango.

Encalada Rojas, 2017 [6] ofrece la siguiente información en su tesis. *“Efecto de la temperatura y el grosor en el proceso de deshidratado de mango (Mangifera indica L.) Variedad Kent (Tesis para optar Título). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Chulucanas, Perú”*. El propósito del presente estudio es evaluar los métodos de procesamiento deshidratado del mango variedad Kent (*Mangifera indica L.*) más aceptados de mediante del aire caliente a 55 °C, 65 °C y 75 °C y espesores de 4 a 8 mm durante 15 horas según aceptabilidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial. Para la Tesis se adquirieron mangos de un mercado local de Chulucanas, seleccionados, pelados y cortados a mano en rodajas de y 8 mm de espesor. luego se deshidratan a 55 °C, 65 °C y 75 °C; También se evalúan análisis

físico-químicos, microbiológicos y sensoriales, cuyas variables en este trabajo son:

- Porcentaje de humedad
- Porcentaje de acidez
- Grados Brix
- Atributos de color, sabor, textura y aspecto en general
- Intención de compra.

Para la estimación de los datos se manipuló el software estadístico Minitab 17, para el análisis de la varianza (ANOVA) con un margen de error del 5%; posteriormente se determinó mayor aceptación del consumidor determinada por la descripción de la escala sensorial "Me gusta moderadamente", para la apariencia general, el color y sabor se dio un puntaje de 2 para el contenido de humedad de $11.51 \pm 0.5^\circ$ por ciento, de $68.67 \pm 0,5$ grado Brix y acidez de 2.90 ± 0.5 y la textura es el tratamiento 6 a $9.8 \pm 0,5$ % de humedad, $51.50 \pm 0,5$ °Brix y 3.68 ± 0.5 % de acidez; En correspondencia a la intención de compra, tratamiento 6 y descripción "probabilidad de compra"; además, sin la presencia y/o ausencia de microorganismos en dicho tratamiento.

Antecedentes a nivel local.

No existe registro alguno sobre investigaciones relacionadas con el tema que se desarrolla en el presente proyecto en las Universidades locales.

1.1.3. Formulación del problema.

Problema general:

¿Se podrá optimizar la obtención de pulpa deshidratada de mango (*Mangifera indica*) evaluando las tecnologías de secado?

1.1.4. Justificación e importancia de la investigación.

La Región de Ica se encuentra ubicada en la costa sur central del litoral peruano. Abarca una superficie de $21\,328\text{ km}^2$, equivalente al 1,7 por ciento del territorio nacional, la que incluye 22 km^2 de superficie insular oceánica. Limita por el norte con Lima, por el este con Huancavelica y Ayacucho, con Arequipa por el sur y al oeste con el Océano Pacífico. En Ica destacan extensos desiertos como las pampas de

Lancha y Villacurí. Asimismo, algunos plegamientos geológicos han determinado la formación de terrenos que avanzan hasta el mar, dando lugar a la península de Paracas; mientras que, al sur, unas formaciones aisladas han determinado el complejo de Marcona, donde se ubican los más grandes depósitos de hierro de la costa del Pacífico [7].

Actividad productiva:

En el año 2021, el sector agropecuario se posicionó como la tercera actividad económica con mayor aporte al Valor Agregado Bruto (VAB) del departamento, representando el 14,0 % del total. Esta actividad mantuvo su operatividad incluso durante el estado de emergencia decretado por la pandemia de la COVID-19. El departamento dispone de aproximadamente 254 mil hectáreas de tierras con aptitud agrícola, de las cuales alrededor del 91,3 % cuentan con sistemas de riego, mientras que el resto depende exclusivamente de las precipitaciones (secano).

En términos de infraestructura hídrica, predomina el riego por inundación o gravedad en cultivos destinados al consumo local, mientras que las plantaciones orientadas a la exportación utilizan sistemas de riego tecnificado, optimizando el uso de aguas subterráneas. Sin embargo, provincias como Ica enfrentan una creciente escasez hídrica, atribuida al uso intensivo del agua subterránea por parte de empresas agroexportadoras, lo cual restringe la expansión de nuevas áreas agrícolas. En consecuencia, la instalación de cultivos permanentes implica, en muchos casos, la sustitución de otros productos.

Desde la perspectiva agrícola, destacan tanto los cultivos de exportación como los destinados a la agroindustria, tales como espárrago, uva, palta, cebolla amarilla, cítricos (mandarina, naranja, tangelo y limón), arándano, granada, páprika, tomate, alcachofa y algodón. Asimismo, se cultivan productos de consumo interno como camote, maíz amarillo duro, papa, pallar y zapallo. En cuanto a superficie cosechada en 2021, resaltan el maíz amarillo duro con 20,9 mil hectáreas, la uva con 17,0 mil hectáreas, el espárrago con 14,3 mil hectáreas y el mango con 5,7 mil hectáreas) [8].

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Realizar el análisis por modelación computacional la transmisión de calor, así como obtener el índice de eliminación de humedad durante la primera etapa del proceso del secado de los alimentos dentro del deshidratador.

Objetivos específicos:

- Evaluar los principales parámetros que influyen el proceso de secado de los alimentos como: la temperatura y la substracción de la humedad.
- Conocer la distribución de la temperatura dentro de la cámara de secado.
- Estimar los resultados de la simulación computacional de la operación de deshidratación del mango.

1.3. Hipótesis y variables de la investigación

La evaluación de las tecnologías de deshidratación ¿es posible mediante la comparación de las humedades a la entrada y salida del secador determinar el % de deshidratación del mango (*Mangifera indica*).

Variable Independiente (V₁):

Evaluación de tecnologías del secado por congelación y el secado al vacío.

Indicadores:

- Concentración
- Temperatura
- Carga microbiana

Variable dependiente (V₂):

La optimización de la elaboración de pulpa deshidratada de Mango (*Mangifera indica*).

Indicadores:

- Sabor
- Color
- Olor
- Textura
- Viscosidad

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Mango.

2.1.1. Origen

El mango (*Mangifera indica*) es un árbol frutal que forma parte de la familia Anacardiaceae. Esta especie ha tenido gran relevancia histórica en la India, donde sus frutos han constituido una fuente significativa de nutrientes para la población. Se considera que su origen se sitúa en la región noroeste de la India, desde donde su cultivo se expandió hacia el sudeste asiático y el archipiélago malayo. Según registros históricos, el mango habría llegado al sur del continente africano alrededor del siglo XVI a. C., y posteriormente fue introducido en las islas Canarias y Madeira en la segunda mitad del siglo XVIII, para finalmente establecerse en Estados Unidos.

En Perú se origina en los años 90 en la costa norte del Perú (Piura, Ica, Lambayeque) [9].

A nivel mundial existen más de 1.000 variedades de mango y la más comercializada en Perú es Kent.

2.1.2. Taxonomía

El mango (*Mangifera indica* L.) es un árbol perteneciente a la familia Anacardaceae y presentan la siguiente clasificación taxonómica.

- Reino : Plantae
- División : Magnoliophyta
- Subdivisión : Magnoliophytina
- Clase : Rosidae
- Orden : Sapindales
- Familia : Anacardaceae
- Género : *Mangifera*
- Especie : *Mangifera indica* L.

El árbol de mango presenta un crecimiento vertical, alcanzando alturas que pueden oscilar entre 10 y 30 metros. Su copa es amplia y redondeada, mientras que las hojas, de disposición alterna y forma lanceolada, miden entre 10 y 32 cm de longitud. Las flores se desarrollan en las ramas

terminales, tienen una coloración verde amarillenta y presentan una longitud de 0,2 a 0,4 cm, con un diámetro que varía entre 0,5 y 0,7 cm cuando están completamente extendidas. El fruto del mango es una drupa carnosa, cuya forma, tamaño, color y calidad pueden ser muy diversos: desde casi redondos hasta ovalados, con longitudes de 6,25 a 25 cm y un peso que oscila entre 1,8 y 2,26 kilogramos[10].

2.1.3. Composición del mango

La fruta del mango posee una cascara y una pulpa de muy buen olor, sabor, muy digestivo y medicinal, rico en nutrientes tales como ácidos, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos, azúcares, etc.

En la fruta del mango se distinguen cuatro partes:

- La cascara
- La pulpa
- La corteza y
- La almendra

La pulpa, la cascara es el 85% y 15% la semilla.

2.1.4. Contenido promedio en la pulpa de mango fresco (x 100 g)

El análisis común del mango peruano, los resultados se dan en gramos de sustancia por cada 100 gr de fruta fresca.

Tabla N°1

Valor medio de los componentes del mango en 100 gramos de parte comestible.

Componente	Cantidad (gramos)
Agua	83.50
Proteína	00.50
Grasa	00.40
Glúcidos	15.00
Carbohidratos	16.4
Fibra	01.60
Azúcares	13.17
Energía Kcal	60.00

Fuente: Wall-Medrano, 2015

De la tabla N°1 se puede percibir que la fruta es hidratante, pues tiene alto contenido de agua.

En la actualidad, la tendencia hacia una alimentación saludable por parte del consumidor, está en franco crecimiento. Por otra parte, el mango es también valorado por su uso con fines medicinales. Diversos estudios realizados en extractos de la hoja y fruto evidenciaron la existencia de compuestos bioactivos que evitan diferentes patologías, entre las que resaltan las cardiopatías, arterosclerosis y enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer y Parkinson). El mango posee también propiedades que favorecen la disminución de riesgos de padecer diferentes tipos de cáncer [11].

La pulpa presenta concentraciones variables de los aminoácidos libres Alanina, ácido glutámico, etc.

2.1.5. Variedades de mango en el Perú.

La calidad de una fruta deshidratada se evalúa en función del grado de alteraciones físicas y bioquímicas que experimenta durante el proceso, las cuales dependen fundamentalmente de factores como la temperatura, el tiempo de exposición y la actividad del agua. El objetivo principal de este estudio es preservar el mango de manera eficiente, previniendo su deterioro y pérdida de valor comercial, y obteniendo un producto final más estable, seguro y con mejores características organolépticas. En este marco, se examinarán diferentes métodos de deshidratación aplicables al mango, incluyendo el secado con aire caliente, el secado al aire libre, la deshidratación osmótica y el secado solar.

Mango Haden

El mango Haden, caracterizado por su intenso color rojo con tonalidades verdes y amarillas, se consolidó como una de las variedades más cultivadas a nivel mundial tras su introducción en las primeras décadas del siglo XX. Esta variedad se distingue por alcanzar hasta 14 cm de longitud y superar los 500 gramos de peso.

En su estado de maduración, la pulpa adquiere un tono amarillo anaranjado, presenta una textura carnosa y jugosa, con muy poca presencia de fibras y una semilla de tamaño reducido, lo que permite un mayor rendimiento del fruto. Además, se destaca por su aroma intenso, sabor dulce con un leve toque ácido y altos niveles de azúcares,

superiores a los de otras variedades, lo que lo convierte en un mango especialmente dulce y apetecible para el consumo fresco y la transformación industrial.

Mango Kent.

El mango, de forma ovalada y ligeramente ensanchada, presenta una piel de fondo amarillo cubierta parcialmente por un rubor rojizo. Se caracteriza por su sabor intensamente dulce, con un delicado matiz a melocotón. Su pulpa es jugosa, de textura suave, con escasa presencia de fibra y un peso promedio que oscila entre 450 y 600 gramos. La piel es relativamente gruesa, lo que facilita su manipulación y transporte.

La carne del fruto posee una consistencia media, carece de fibras perceptibles y presenta una tonalidad anaranjada similar al color mandarina. Además de su agradable perfil sensorial, destaca por ser baja en calorías y rica en fibra dietética, lo que la convierte en una opción saludable. Por sus propiedades físicas y organolépticas, esta variedad de mango resulta especialmente adecuada para procesos de deshidratación, obteniéndose un producto final de alta calidad.

Mango Tommy Atkins

El mango Tommy Atkins, al alcanzar su madurez, desarrolla una coloración que combina tonos rojos y amarillos, con una característica chapa rojiza en su superficie. Su peso promedio varía entre 450 y 700 gramos. La pulpa presenta una textura ligeramente fibrosa, lo que le confiere una consistencia firme. Su color va desde el amarillo oscuro hasta el tono limón, y se distingue por ofrecer un sabor dulce y suave, agradable al paladar.

2.1.6. Usos del mango.

En la producción de mango, los frutos provenientes de árboles injertados se destinan principalmente a la exportación en su forma fresca, mientras que los no injertados suelen ser consumidos en el mercado local o utilizados como materia prima para la elaboración de concentrados y pulpas. Además, el mango es procesado en diversas presentaciones como rodajas congeladas, productos deshidratados y conservas, incluyendo purés, mermeladas y frutas en almíbar. Estos

derivados agroindustriales tienen un amplio uso como ingredientes base en la elaboración de helados, refrescos, alimentos infantiles, productos de repostería y confitería.

El mango es una fruta altamente nutritiva, reconocida por su efecto laxante natural y por ser una fuente importante de vitamina A, así como en menor proporción de vitaminas B y C. En los procesos industriales de jugo de mango, las semillas y las cáscaras constituyen los principales subproductos, representando aproximadamente el 60 % del volumen total del fruto procesado.

2.1.7. Análisis del mango.

Existen cientos de variedades de mango cultivadas en diferentes regiones del mundo, cada una con perfiles únicos de compuestos aromáticos y de sabor. Estos componentes presentan una notable variabilidad química, lo que permite distinguir entre diferentes tipos de mango, aunque también complica su análisis y la comparación entre variedades.

Dentro de los indicadores sensoriales de madurez, el aroma y la textura son los más representativos. Un mango maduro se identifica por su fragancia característica y una textura suave al tacto. Asimismo, el color de la pulpa constituye un parámetro relevante para determinar el estado de maduración: una tonalidad anaranjada suele indicar que la fruta ha alcanzado su punto óptimo de consumo. A medida que el mango madura, la firmeza de su pulpa disminuye progresivamente.

La pulpa del mango, por su sabor, color y consistencia, es ampliamente utilizada en la elaboración de productos como mermeladas, confituras, gelatinas, batidos y jugos, lo que evidencia su versatilidad en la industria alimentaria.

2.2. Métodos para deshidratación de frutas

La deshidratación constituye uno de los métodos más antiguos y eficaces para conservar frutas, ya que al reducirse significativamente la actividad del agua, se impide el crecimiento de microorganismos y

se detienen muchas de las reacciones químicas que provocan el deterioro del alimento.

Este proceso consiste en disminuir el contenido de humedad de la fruta hasta niveles que aseguren su estabilidad y prolonguen su vida útil. Debido a que las frutas contienen nutrientes que favorecen la proliferación de microorganismos e insectos, el alto porcentaje de agua presente en su composición crea un ambiente ideal para su desarrollo, lo que compromete su calidad y seguridad. Por ello, la reducción del agua disponible es fundamental para evitar el deterioro microbiológico y físico del producto.

La calidad de una fruta deshidratada depende de los cambios físicos y bioquímicos que ocurren durante el proceso, los cuales son influenciados principalmente por la temperatura, el tiempo de exposición y la actividad del agua residual. En este sentido, el objetivo del presente estudio es preservar el mango de manera eficiente, evitando su degradación y pérdida de valor, y obteniendo un producto más estable, duradero y con buenas propiedades organolépticas.

Para ello, se analizarán distintas técnicas de deshidratación aplicadas al mango, entre las que se incluyen el secado con aire caliente, el secado al aire libre, la deshidratación osmótica y el secado solar, todas ellas con potencial uso tanto artesanal como industrial.

Al extraer el agua. En la fruta se producen los siguientes cambios:

- Se Incrementa la concentración de ingredientes como el azúcar, sal, minerales, etc.
- Merma la masa aproximadamente en un 85%.
- Alteración del color.
- Conserva todas las vitaminas y antioxidantes, alcanzando a mantener hasta el 80% de los nutrientes.

2.2.1. Deshidratado con aire caliente

El secado con aire caliente es un proceso térmico utilizado para eliminar total o parcialmente el contenido de agua presente en una sustancia. Esta técnica se aplica comúnmente en sólidos, aunque

también puede emplearse en líquidos y gases, siendo útil además en otras operaciones unitarias como la evaporación o la adsorción.

El principio de funcionamiento de este método se basa en el uso de aire calentado, que al adquirir energía térmica, incrementa su capacidad para evaporar la humedad presente en los alimentos. El aire se calienta previamente mediante fuentes térmicas como serpentines de vapor, agua caliente, gas licuado de petróleo (GLP), electricidad o petróleo. Al elevar su temperatura, disminuye su humedad relativa, lo que le permite absorber mayor cantidad de agua al entrar en contacto con el producto.

Para aplicar esta técnica en el mango, se requiere un equipo deshidratador que canalice el aire caliente a través de ventiladores sobre las tajadas del fruto. La diferencia de temperatura entre el aire caliente y el mango genera una transferencia de calor que provoca la evaporación del agua libre contenida en el alimento. Este vapor de agua es arrastrado por el flujo de aire, lo que permite reducir progresivamente la humedad del producto.

La eliminación de la humedad en el interior del mango se produce mediante dos mecanismos principales: la difusión del vapor de agua desde el interior hacia la superficie y la acción capilar que impulsa el desplazamiento del líquido hacia el exterior, facilitando su evaporación. [12].

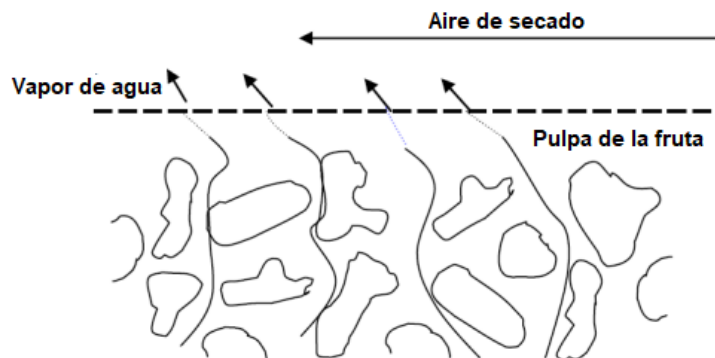


Fig. 01: Deshidratado con aire caliente

2.2.2. Deshidratado al aire libre

El secado al aire libre es una técnica tradicional de deshidratación que no requiere el uso de equipos especializados. Consiste en colocar las frutas directamente sobre superficies como mantas, lonas, tablas de madera, o suspenderlas mediante cuerdas, de modo que queden expuestas a la radiación solar y a la circulación del aire. Esta combinación de calor natural y aireación permite la evaporación progresiva del agua contenida en el alimento.

No obstante, esta metodología presenta importantes limitaciones. La principal desventaja radica en la escasa capacidad de control sobre factores sanitarios y ambientales, lo que suele derivar en productos de calidad inferior. Las condiciones climáticas variables, la elevada humedad ambiental y la exposición a contaminantes contribuyen al deterioro del fruto durante el proceso.

Entre los inconvenientes más frecuentes de este método destacan:

- La lentitud del secado, especialmente en ambientes con alta humedad relativa.
- La posibilidad de que la fruta se descomponga, se enmohezca o fermente debido a una deshidratación incompleta.
- En el caso del mango, las tajadas quedan vulnerables a la acción del polvo, insectos, aves u otros animales, lo que puede afectar su calidad y representar un riesgo para la salud del consumidor.

2.2.3. Deshidratado con energía solar

El deshidratado con energía solar es una técnica que permite eliminar gran parte del contenido de agua de los alimentos mediante la acción de un flujo de aire calentado por radiación solar. Este proceso se realiza a través de deshidratadores solares, dispositivos que capturan la energía del sol y la transforman en calor, facilitando así la evaporación de la humedad contenida en productos agrícolas como las frutas.

En estos sistemas, la energía solar es aprovechada mediante el efecto invernadero generado en un colector solar, que cumple la función de calentar el aire que luego será conducido hacia la cámara de secado. Este colector está compuesto por varios elementos fundamentales:

- Una superficie metálica oscura, preferiblemente de color negro y orientada hacia la dirección del sol, que actúa como absorbente de la radiación solar. El calor generado se transfiere al aire en contacto con dicha superficie.
- Una cubierta transparente, comúnmente de vidrio o material plástico resistente, que permite el ingreso de la radiación solar pero impide la pérdida de calor, contribuyendo así al mantenimiento de una temperatura interna elevada.
- Un área de deshidratación, equipada con paneles aislantes y una cobertura superior que filtra la radiación ultravioleta (UV), donde se colocan las bandejas con los productos a deshidratar.

El proceso de secado se produce cuando el aire caliente y seco circula por el interior del secador, atravesando las tajadas de mango dispuestas en bandejas. El calor provoca que la humedad interna del fruto migre hacia la superficie y se evapore, pasando al aire circundante en forma de vapor. Este método, además de ser sostenible y de bajo costo, permite una deshidratación progresiva y menos agresiva, conservando mejor las propiedades organolépticas del alimento.

Beneficios del deshidratador solar

- Bajo costo de inversión y utilización.
- Diseño simple que puede reproducirse.
- Flexibilidad en la aplicación por diferentes frutas (piña, papaya, mango, etc)
- Alta calidad en los productos finales.
- Utilización en zonas sin electricidad.

2.2.4. Deshidratado osmótico

La deshidratación osmótica es un proceso que consiste en sumergir las tajadas de mango en una solución concentrada de azúcar, generalmente compuesta por agua con un 70 % de sacarosa. Esta

solución hiperosmótica provoca un gradiente de concentración que permite la salida del agua desde el interior del tejido del fruto hacia el medio externo, mediante un fenómeno de ósmosis. Como resultado, las tajadas de mango pueden llegar a perder hasta un 40 % de su peso inicial en forma de agua.

Este procedimiento no suele aplicarse de manera aislada, sino que se emplea como etapa previa a otros métodos de secado, tales como la deshidratación con aire caliente o la solar, lo cual permite reducir el tiempo total del secado final y mejorar algunas características del producto.

Entre las principales ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica se pueden señalar las siguientes:

Esta técnica presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- La concentración de azúcar en la superficie reduce la decoloración y oscurecimiento de la fruta.
- Algunos ácidos son eliminados, resultando un producto menos fuerte de sabor y más dulce.
- El período de deshidratado se reduce.

Desventajas

- La disminución del nivel de acidez puede resultar una desventaja ya que los hongos tendrán mayor posibilidad de desarrollarse.
- Puede mantenerse una delgada capa de azúcar que hará pegajosa la superficie de la fruta, esto se reduce enjuagándola ligeramente y secándola nuevamente antes de envasarla.

DIAGRAMA DE FLUJO

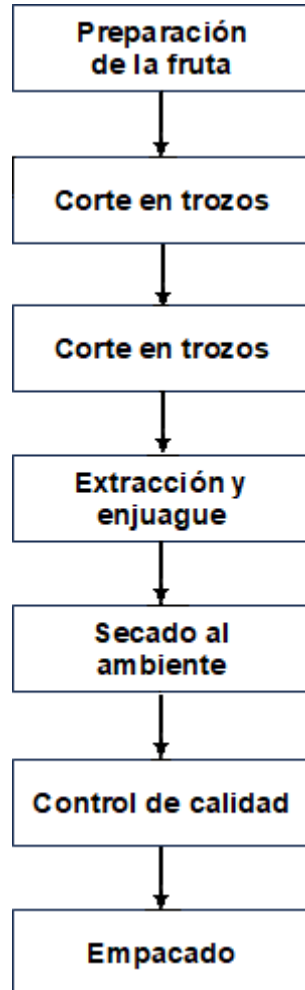


Fig. N°02: Diagrama de flujo del deshidratado osmótico del mango

2.3. Temperatura de deshidratación

Tabla 2: Temperatura de deshidratación

PRODUCTO	TEMPERATURA RECOEMDADA
Frutas	Mayor que 50 °C
Hierbas	Mayor a 35 °C
Frutas	Mayor que 42 °C

Fuente: Omar Cabascango [13].

2.4. Tiempo de deshidratación.

El tiempo de secado depende del contenido de agua también de factores como grosor de la fruta, humedad relativa y temperatura ambiente.

Tabla 3:

Tiempo de deshidratación para frutas

FRUTA	TIEMPO ENTRE 40 °C Y 50 °C (Horas)
Durazno	24-36
Frutilla	20
Mango	5-6
Piña	24-26
Manzana	6-12
Uva	24-48

Fuente: Omar Cabascango [14].

2.5. Ventajas del proceso de deshidratado

- Permite conservar por mucho tiempo: Mientras los alimentos estén totalmente deshidratados se conservan perfectamente por mucho más tiempo mientras estén perfectamente envasados.
- Reducen el espacio de almacenaje manipulación y transporte.
- Se aprovecha mejor la energía.
- Dar valor agregado al producto.
- No requiere congelar o refrigerar para almacenar.
- La pérdida de nutrientes es mínima y no requiere de conservantes.
- Aprovechamiento de la fruta durante la época producción.
- Disponibilidad de las frutas durante la época de escasez.

2.6. Secador de frutas

Es un deshidratador es un dispositivo que reduce el contenido de agua de los alimentos para ayudar a su conservación.

2.6.1. Deshidratadores utilizados en la industria alimentaria.

Clasificación:

Los equipos de deshidratación se clasifican en base a:

- a. Las características y propiedades físicas del producto húmedo.
- b. El procedimiento para transmitir el calor al sólido húmedo.

Según este segundo criterio de clasificación, los equipos de secado pueden agruparse en diferentes tipos, dependiendo del mecanismo utilizado para transferir el calor al material húmedo. En primer lugar, se encuentran los secadores directos, que emplean gases calientes en contacto directo con el sólido para suministrar energía térmica y simultáneamente arrastrar el vapor generado. En contraste, los secadores indirectos transfieren el calor al sólido a través de una pared o superficie que lo separa del medio calefactor, permitiendo que la eliminación del vapor se realice por vías independientes. Adicionalmente, existen los secadores dieléctricos, que utilizan ondas electromagnéticas para generar calor dentro del producto, y los secadores por radiación, que emplean energía radiante para calentar y evaporar la humedad del material.

Para el presente trabajo se utilizará un secador de aire caliente.

La mayoría de las frutas son sólidas por lo que se adecua mejor el secador de aire caliente basándose en la operación básica de transferencia de calor de un sólido a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad del agua (a_w) entre ambas fases (fig.02).

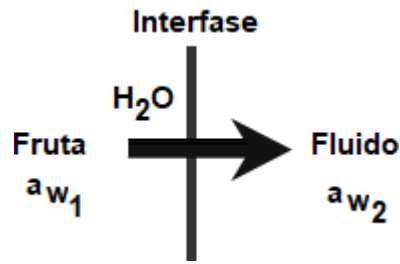


Fig. 03: Esquema de las fases fruta-fluido

2.7. Fuentes de energía utilizadas en la deshidratación

Uno de los criterios para seleccionar al deshidratador es por el modo de transmitir el calor, para el presente trabajo de investigación es por convección. Los diferentes mecanismos de transporte de calor implicados en el deshidratado van a influir notablemente en la cinética del proceso y por lo tanto en los costos por lo que debe tenerse en cuenta la fuente de energía que puede ser utilizada para el funcionamiento del equipo deshidratador. En el deshidratado convectivo el calor se transfiere a la fruta que se está deshidratando mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir calor necesario para la evaporación del agua es a su vez el agente transportador del vapor de agua que elimina la fruta. En este tipo de hidratadores el aspecto energético es importante evaluar es decir la energía a utilizar en la generación de aire caliente.

2.7.1. Generación de aire caliente

En los sistemas de deshidratación por convección, el aire caliente se genera y se distribuye mediante ventiladores que lo impulsan a través del equipo. La fuente de energía utilizada para calentar el aire puede variar según la disponibilidad y las condiciones operativas. Entre las opciones más comunes, el gas natural destaca por ofrecer una mayor capacidad de respuesta térmica, permitiendo alcanzar rápidamente las temperaturas deseadas a un costo relativamente bajo. Además, facilita el trabajo a temperaturas más elevadas, lo cual incrementa la eficiencia del proceso de secado.

No obstante, el uso de gas natural implica el cumplimiento estricto de medidas de seguridad debido a su naturaleza inflamable. En este contexto, el metano, principal componente del gas natural, es

considerado una de las alternativas más apropiadas para la generación de aire caliente en procesos de deshidratación, gracias a su alto poder calorífico y su eficiencia en la transferencia de energía térmica.

La mayoría de las deshidratadoras son calentadas con vapor de agua evitando así el contacto de la pulpa que se está deshidratando con los gases procedentes de la reacción de combustión.

El calentamiento del aire con corriente eléctrica, rara vez se utiliza a su baja eficacia y levado costo, sin embargo, se utiliza para aquellos casos en los que se requieren temperaturas altas.

La combustión indirecta de gas dentro de tubos tampoco se utiliza debido a su baja eficacia y elevado costo.

2.7.2. Cálculo de flujo de aire en los deshidratadores.

Cálculo del calor necesario para calentar la fruta (mango); hasta la temperatura de deshidratación:

Asumiendo que lo que se extrae de la fruta es vapor de agua y el proceso es a presión constante.

Cálculo de la Capacidad calórica del vapor agua (Cp):

$$C_p \text{ del agua en fase de vapor} = 4.22 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\text{Temperatura ambiente: } 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 298.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Temperatura de deshidratado: } 70 \text{ } ^\circ\text{C} = 343.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Para el cálculo del calor (q) necesario se ha tomado la masa de la fruta antes de deshidratar y ya deshidratada, esto es la cantidad de agua que contenía:

$$\text{Masa de la fruta antes de deshidratar: } m = 0.73 \text{ Kg}$$

$$\text{Fórmula para el calor: } q = (C_p)(m)(\Delta T)$$

$$q = \left(4.22 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right) (0.73 \text{ Kg}) (343.15 - 298.15) ^\circ\text{K}$$

$$q = 138.63 \text{ Kj}$$

2.8. Factores que afectan el proceso de deshidratación.

El proceso de deshidratación está influenciado por diversos factores físicos y operativos que determinan la eficiencia del secado y

la calidad final del producto. A continuación, se describen los principales factores que inciden en esta operación[15].

2.8.1. Área de superficie

La superficie de exposición es fundamental en el proceso de secado. A mayor área superficial del alimento, se facilita una mayor transferencia de calor y masa, lo que incrementa la velocidad del secado. Por esta razón, es recomendable que las tajadas de fruta sean lo más delgadas posible, permitiendo que la humedad interna se desplace más fácilmente hacia la superficie y, de allí, al entorno.

2.8.2. Temperatura

La temperatura del aire de secado influye directamente en la velocidad de evaporación. Cuanto mayor sea la diferencia térmica entre el aire caliente y el producto, más rápida será la eliminación de humedad, hasta cierto límite. Sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden provocar el endurecimiento de la superficie del alimento, formando una barrera que impide la salida del agua desde el interior, fenómeno conocido como "encostrado" o endurecimiento superficial

2.8.3. Tiempo

La temperatura del aire de secado influye directamente en la velocidad de evaporación. Cuanto mayor sea la diferencia térmica entre el aire caliente y el producto, más rápida será la eliminación de humedad, hasta cierto límite. Sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden provocar el endurecimiento de la superficie del alimento, formando una barrera que impide la salida del agua desde el interior, fenómeno conocido como "encostrado" o endurecimiento superficial.

2.8.4. Velocidad del aire

La humedad creada por el calor agregado y el vapor debe ser eliminado de la superficie para que el proceso continúe, por lo que el aire debe fluir a través de la fruta a una cierta velocidad. En estos términos, el aire seco que está en movimiento resulta más efectivo que el aire caliente que se usa para secar.

2.8.5. Humedad del aire

La humedad relativa del aire es un factor clave en la eficiencia del proceso de secado. Cuando el aire está seco, su capacidad para absorber la humedad del alimento es mayor, lo que acelera el proceso de deshidratación. Por el contrario, un ambiente con alta humedad relativa disminuye la tasa de evaporación del agua contenida en el producto, prolongando el tiempo necesario para alcanzar la humedad de equilibrio.

2.8.6. Propiedades de los alimentos

Las frutas presentan variaciones significativas en su composición interna, estructura celular, contenido de agua y distribución de solutos, lo que genera una falta de homogeneidad entre piezas aparentemente similares. Esta variabilidad natural dificulta la predicción precisa del comportamiento durante la deshidratación, ya que cada fruta puede responder de forma diferente al calor y al flujo de aire durante el proceso.

2.8.7. Tiempo de deshidratación

El tiempo requerido para completar la deshidratación es un parámetro crucial, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Este tiempo incide directamente en el consumo energético y en la productividad del sistema de secado. Sin embargo, debido a la complejidad de los fenómenos involucrados —como la transferencia simultánea de calor y masa—, la velocidad de secado no siempre puede predecirse mediante cálculos teóricos, por lo que frecuentemente debe determinarse a través de pruebas experimentales.

2.9. Proceso de obtención de mango deshidratado

Para establecer las condiciones de secado bajo las cuales es posible obtener una fruta deshidratada de buena calidad, el método a seguir se inicia con la selección de la fruta, luego la determinación de las características iniciales. Para los fines del presente trabajo se analizarán las condiciones para deshidratar el mango evaluando la calidad del producto deshidratado bajo la medición de tres parámetros: color, actividad del agua y el porcentaje de humedad final.

La parte experimental se realiza utilizando el equipo del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica de la Universidad San Luis Gonzaga.

2.9.1. Selección de la fruta.

La adecuada selección del mango es un paso fundamental en el proceso de deshidratación, ya que de sus características, especialmente el grado de madurez, dependerá la calidad del producto final. La madurez de la fruta se define como el estado de desarrollo fisiológico en el que presenta condiciones óptimas para continuar su maduración poscosecha y alcanzar su mejor perfil organoléptico.

Para una deshidratación efectiva, el mango debe cosecharse en estado de madurez fisiológica, es decir, cuando ha completado su desarrollo en la planta, aunque aún no ha alcanzado su punto óptimo de consumo. En este estado, el fruto experimentará una maduración progresiva que incluye el cambio del color interno de un tono amarillo claro cremoso a un amarillo intenso o anaranjado, un incremento del contenido de sólidos solubles (medido en grados Brix) y una reducción en la firmeza (medida en libras de fuerza), indicadores clave para determinar su aptitud para el secado.

Posteriormente, se procede al rebanado del mango sobre una superficie plana —preferiblemente una tabla de madera—, utilizando cuchillos de acero inoxidable debidamente higienizados. Es esencial que las rebanadas tengan un espesor uniforme, idealmente de 5 mm, ya que esto facilita la salida homogénea del agua durante el proceso de deshidratación, mejorando la eficiencia y regularidad del secado.

El control del grosor de las tajadas es especialmente importante, pues rebanadas demasiado gruesas dificultan la eliminación del agua interna, mientras que cortes muy delgados pueden comprometer la textura o provocar quiebres durante el secado.

2.9.2. Preparación de la muestra.

Para la deshidratación de la fruta, es imprescindible seguir una serie de procedimientos de tal forma que permita un deshidratado

uniforme, conservando las características físicas de la fruta y así obtener un producto de calidad.

Al inicio se debe lavar y pelar la fruta de manera manual, debido a que la cascara del mango es lamida, para ello se debe utilizar un pelador de fruta.

Posteriormente al pelado se debe rebanar sobre una superficie plana que puede ser una tabla preferible de acero inoxidable, utilizando un cuchillo de acero inoxidable, cuidando que cada corte tenga un espesor de 5 milímetros.

Es importante tener en cuenta el grosor de la fruta que se va a deshidratar, es más fácil eliminar el contenido de agua que se encuentra en su interior, así mismo tener en cuenta el tamaño que debe ser uniforme.

2.10. Propiedades iniciales de la pulpa

2.10.1. Índice de la madurez

Existen diferentes métodos para determinar la madurez de la fruta.

Índice Físico: Color de la piel, pulpa y de la semilla, tamaño, masa y densidad.

Uno de los métodos que con mayor frecuencia se utiliza para determinar el índice de madurez de la fruta es por medio del contenido de azúcar, la cual se expresa en °Brix.

$$\text{Índice de madurez(IM)} = \frac{\text{°Brix}}{\text{Acidez}} \quad (1)$$

2.10.2. Total de azúcares

Los azúcares (°Brix), constituyen los sólidos totales presentes en la fruta y su determinación se realiza utilizando el refractómetro previamente graduado.

Para hallar los sólidos solubles del mango, es necesario diluir la pulpa, para la cual se pesa aproximadamente 30 gr. de pulpa y se homogenizan con 90 mL de agua destilada durante 3 min., empleando una licuadora. La dos o tres gotas de la solución se vierte en el refractómetro el cual nos da una lectura en °Brix.

2.10.3. Porcentaje de acidez.

La acidez, determina el contenido de ácidos en la fruta. A mayor madurez menor contenido de ácidos.

Para la acidez se prepara una solución utilizando 25 mL de agua destilada y 25 mL de la solución del mango.

El porcentaje de acidez se halla mediante la reacción de neutralización ácido-base, utilizando a la fenolftaleína como indicador y como titulante al hidróxido de sodio de concentración 0.1 N. El resultado se expresa en términos del ácido que se encuentre en mayor proporción [16].

$$\% \text{ del Acido} = \frac{(\text{mL gastados de NaOH})(N_{\text{NaOH}})(\text{meq acido})}{\text{Masa de la muestra}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

N : Normalidad

Meq : Mili equivalentes. (Peso molecular ac. Málico = 67.045 gr/mol)

W : Masa de la muestra (8.33 gr).

Para utilizar la formula se recomienda que el pH de la pulpa 8.2.

2.10.3. Evaluación de la humedad.

La cantidad de humedad es de la masa del agua presente en la fruta.

Para determinar el contenido de humedad en la pulpa se utilizará una balanza electrónica, el procedimiento será el siguiente:

1. Se deposita en la charola de la balanza la pulpa hasta obtener 4 gramos de masa inicial (m_i). Las rodajas deben ser delgadas aproximadamente 1 mm de espesor. La operación debe ser rápida pues desde el momento en que la fruta es despojada de su cascara esta se pone en contacto con el medio perdiendo humedad.
2. Poner a secar las muestras en el horno, las condiciones de secado son: 78 °C de temperatura por un tiempo de 70 min.
3. Extraiga la muestra del horno y póngala a enfriar en un desecador durante 10 minutos.
4. Hallar la masa final (m_f) en la balanza electrónica.

5. Calcule el contenido de humedad como (%HR) de la muestra durante el secado según la siguiente fórmula:

$$\%HR = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

III. RESULTADOS

3.1. Metodología

La realización de este proyecto de investigación fue de carácter cuantitativo-experimental y se desarrolló en tres etapas como se relacionan a continuación:

- Etapa 1: Selección de la línea de proceso y método que intervienen en ella.
- Etapa 2: Selección del equipo.
- Etapa 3: Simulación del proceso productivo

3.2. Descripción del proceso de deshidratación del mango.

3.2.1. Recepción de la materia prima

El mango se acoge en la planta de proceso, donde se almacena en el ambiente frío a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, para poder conservar lo más frescos posible con la finalidad impedir variaciones en su estructura.

3.2.2. Selección y clasificación.

El mango se selecciona de acuerdo a las características de uniformidad, color debe ser lo más uniforme posible siendo en un 50% de viraje de la cascara de morado a rojo o verde a amarillo, dependiendo del tipo de mango, con un peso entre 300 – 400 g.

3.2.3. Lavado y desinfección.

Consiste en la eliminación de restos no deseables presentes en la materia prima y luego se somete al enjuague con agua, con una concentración de 50 ppm de cloro durante 5 minutos.

3.2.4. Descascarado y rebanado.

La cascara de los mangos debe retirarse manualmente. Subsiguientemente se realiza el corte con un cortador acerado, calibrando al grosor deseado.

3.2.5. Tratamiento antimicrobiano.

La fruta se baña en una solución de sorbato de potasio (1%) y metabisulfito de sodio (0.3%) por un tiempo de 5 minutos a fin de prevenir el pardeamiento enzimático y el crecimiento de bacterias y hongos.

3.2.6. Deshidratado

La fruta es deshidratada a una temperatura de 60°C por 4 horas, en un secador con aire caliente.

3.2.7. Envase

La fruta deshidratada se debe realizar en un envase de polietileno celofán sellado al vacío.

3.2.8. Almacenamiento

Debe efectuarse en un lugar seco, bien ventilado, no expuesto a la luz y sobre anaqueles.

3.3. Diagrama de flujo.

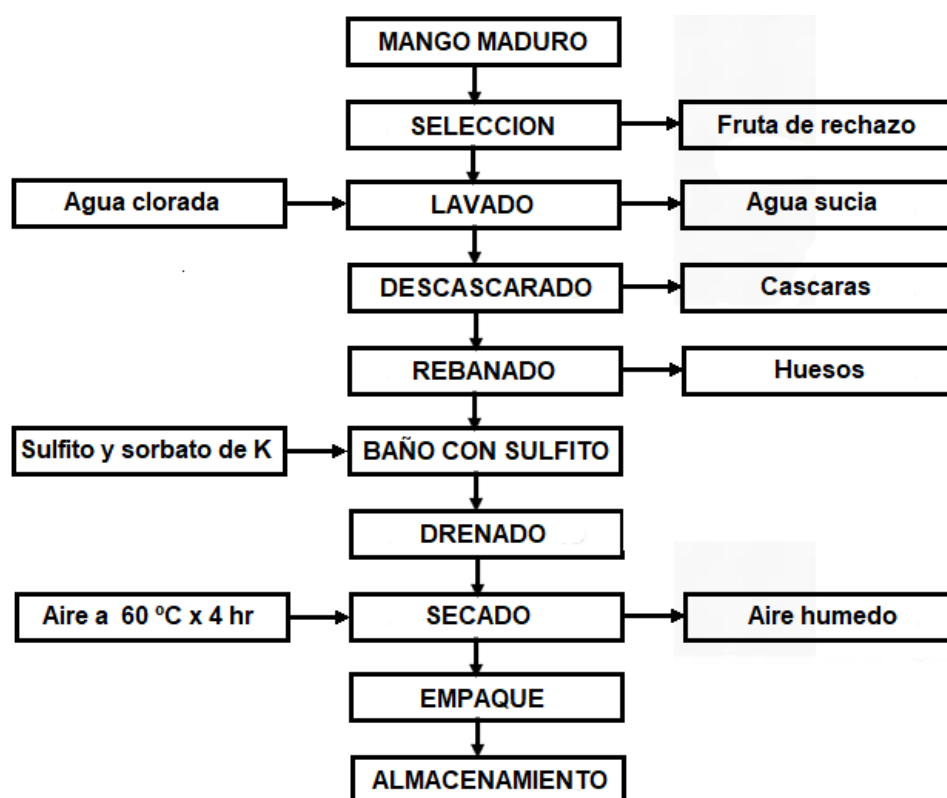


Fig. 07: Diagrama del proceso.

3.4. Elección del método y equipo de deshidratación.

3.4.1. Método

El método para el trabajo de investigación del deshidratado del mango es por aire caliente. En este método el calor se trasmite por conducción desde la superficie de intercambio a través de la capa fina del alimento se elimina el vapor de agua por la cara libre.

3.4.2. Equipo

Para el proceso de deshidratación se ha seleccionado un deshidratador de circulación de aire caliente, el cual opera mediante un ventilador de flujo axial diseñado para soportar altas temperaturas y mantener un bajo nivel de ruido. Este equipo incorpora un sistema de control automático de temperatura que permite una regulación precisa del proceso térmico.

El aire caliente utilizado en el secado es generado mediante fuentes como electricidad, vapor o gas, y se distribuye de manera forzada al interior de la cámara de secado. El sistema de circulación se encuentra completamente cerrado, lo que incrementa significativamente la eficiencia térmica en comparación con los hornos tradicionales. Mientras que los modelos convencionales presentan una eficiencia del 3 al 7 %, este diseño permite alcanzar valores entre el 35 y el 45 %, pudiendo llegar incluso hasta un 50 % en condiciones óptimas.

Esta mejora en la eficiencia térmica favorece una transferencia de calor más efectiva, acelera la evaporación de la humedad contenida en los productos y reduce sustancialmente el tiempo total de secado, contribuyendo así a un proceso más eficiente y con menores costos energéticos.



Fig N° 08: Horno de secado con circulación de aire caliente

Características técnicas:

Capacidad de secado por lotes (kg)	: 25
Potencia (kilovatios)	: 5
Vapor a consumir (kg/h)	: 5
Superficie de intercambio de calor (m ²)	: 5
Velocidad (m ³ /h)	: 3400
Temperatura diferente de la parte superior e inferior (°C): ±2	
Bandejas para deshidratar	: 8

3.5. Simulación del proceso de deshidratación

3.5.1. Metodología.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental de tipo descriptivo. El proceso de deshidratación fue realizado utilizando una estufa como medio de secado controlado, donde se llevaron a cabo mediciones precisas de parámetros como humedad total, humedad media, humedad libre y velocidad crítica de secado. Estos resultados fueron obtenidos a partir del análisis del peso de las muestras en función del tiempo y de las diferentes

temperaturas a las que fueron sometidas durante el proceso. El experimento fue ejecutado en las instalaciones del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, garantizando condiciones controladas y reproducibles para el estudio de las variables asociadas al secado del mango.

3.5.2. Recepción de la muestra.

El mango rosado de Ica fue obtenido en un mercado local de la provincia de Ica de la Región Ica; estas frutas fueron seleccionadas y lavadas con el fin de eliminar algún residuo que contengan.



Fig. 09: Mango rosado de Ica

3.5.3. Deshidratación

El proceso de deshidratación del mango se llevó a cabo mediante una estufa de circulación de aire caliente forzado, la cual facilita la evaporación del agua contenida en la muestra a través de la aplicación de calor, provocando una pérdida progresiva de peso. Este método se basa en el principio de secado por estufa, que permite determinar el contenido de humedad mediante el uso conjunto de una estufa y una balanza analítica. El procedimiento incluye las etapas de preparación, pesado inicial, exposición al calor, enfriamiento y pesado final de la muestra.

En referencia al estudio de Laborde(17), en el que se aplicó un proceso de deshidratación combinada para obtener pasas de uva con bajo contenido calórico, se empleó una temperatura constante de 60 °C.

Dicho estudio demostró que, mediante la sustitución parcial de azúcares naturales por edulcorantes sin calorías, es posible conservar los polifenoles totales en la fruta, aunque con una ligera disminución de su capacidad antioxidante. A partir de estos antecedentes, en la presente investigación se adoptó la misma temperatura (60 °C) como referencia para la deshidratación del mango, modificando únicamente la variable de tiempo para observar su efecto sobre la pérdida de humedad.

El procedimiento experimental consistió en colocar una muestra de mango en un crisol, la cual fue previamente pesada con una balanza analítica de alta precisión para obtener su masa inicial. Posteriormente, la muestra fue introducida en la estufa de secado a 60 °C. A partir de ese momento, se realizaron pesajes cada 5 minutos, registrando las variaciones de masa en función del tiempo hasta que se alcanzó un peso constante, lo que indicó la finalización del proceso de deshidratación. En total, se obtuvieron 15 registros durante la ejecución del ensayo, lo que permitió analizar la cinética de pérdida de humedad del fruto.

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

Los datos recolectados durante el proceso de deshidratación del mango permitieron analizar la cinética del secado, a partir de la cual se construyeron dos curvas fundamentales: la de velocidad de secado en función de la humedad media, y la de humedad total en función del tiempo. El experimento se llevó a cabo durante un periodo de 1 hora y 25 minutos, bajo condiciones controladas a una temperatura constante de 60 °C.

A continuación, se presenta una descripción general del procedimiento seguido para el cálculo de los parámetros asociados al proceso de deshidratación, incluyendo las ecuaciones aplicadas para la determinación de la humedad total, humedad media, humedad libre y la velocidad crítica de secado. Estos valores permitieron caracterizar el comportamiento del mango durante el proceso térmico, así como identificar la etapa de mayor eficiencia en la eliminación de agua y establecer condiciones óptimas para futuros tratamientos de secado.

Nomenclatura:

Se mencionan a continuación la nomenclatura de las variables en las fórmulas aplicadas.

Y: Humedad total (Kg H₂O).

R: Velocidad crítica de secado (Kg/h).

M₁: peso de la uva con humedad (kg)

Ls: Sólido seco (kg)

A: Área de crisol (0,007853982 m²).

Δt=Diferencia del tiempo (h).

Δx = Diferencia de humedad libre $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg solido seco}} \right)$

Para el cálculo se utilizó un peso final del mango deshidratado de 0,0077899 kg.

Se realizó la diferencia de pesos, siendo estos el inicial y el final, así sucesivamente con cada peso restando 0,0077899 kg de uva seca, para obtener la humedad total de la muestra de uva.

$$Y = M_1 - Ls \dots\dots\dots (4)$$

Reemplazando en (4):

$$Y = (0.0082753 - 0.0077899) = 0,0004854 \text{ kg H}_2\text{O}$$

Mientras que la humedad libre, se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Humedad libre} = \frac{Y}{L_s} \dots\dots\dots (5)$$

Humedad media:

$$\text{Humedad media} = \frac{M_1 - M_2}{2} \dots\dots\dots (6)$$

Velocidad critica del secado:

$$R = - \frac{L_s}{A} \frac{\Delta X}{\Delta t} \dots\dots\dots (7)$$

Los resultados fueron obtenidos mediante la sustitución de las variables de peso del mango en función del tiempo, lo cual permitió calcular los valores de humedad total, humedad libre, humedad media y velocidad crítica de secado, aplicando las fórmulas previamente establecidas. Las mediciones de peso se expresaron en kilogramos, mientras que el tiempo fue registrado en minutos y posteriormente convertido a horas para facilitar el análisis de la cinética del secado.

El procedimiento se realizó utilizando una estufa de aire caliente forzado a una temperatura constante de 60 °C, realizando pesajes cada cinco minutos. En total, se obtuvieron quince mediciones hasta alcanzar un valor de peso constante, lo que indicó que el proceso de deshidratación había concluido. Estos datos permitieron trazar las curvas representativas y analizar el comportamiento de pérdida de humedad del mango a lo largo del tiempo.

Tabla 04:
Datos obtenidos en el secado de la uva

Nº	Tiempo (hora)	Peso mango (kilogramo)
0	0.00000000	0.0082753
1	0.08333333	0.0082585
2	0.16666667	0.0082506
3	0.25000000	0.0082389
4	0.33333333	0.0082287
5	0.41666667	0.0082023
6	0.50000000	0.0081830
7	0.58333333	0.0081580
8	0.66666667	0.0081195
9	0.75000000	0.0080866
10	0.83333333	0.0080588
11	0.91666667	0.0080294
12	1.00000000	0.0080022
13	1.08333333	0.0079782
14	1.16666667	0.0079229
15	1.25000000	0.0078601

Fuente: Autora

Tabla 05. Valores de humedad total, humedad libre, humedad media y velocidad crítica respecto al tiempo

Nº	H. total (kg H ₂ O)	H. libre (KgH ₂ O/Kg S.S)	H. media (KgH ₂ O/Kg S.S)	Velocidad critica (Kg/h)
0	0.0004854	0.062311455		
1	0.0004686	0.060154816	0.00047700	0.025668509
2	0.0004607	0.059140682	0.00046465	0.012070311
3	0.0004490	0.057638737	0.00045485	0.017876283
4	0.0004388	0.056329350	0.00044390	0.015584452
5	0.0004124	0.052940346	0.00042560	0.040336229
6	0.0003931	0.050462779	0.00040275	0.029488228
7	0.0003681	0.047253495	0.00038060	0.038197186
8	0.0003296	0.042311198	0.00034885	0.058823667
9	0.0002967	0.038087780	0.00031315	0.050267497
10	0.0002689	0.034519057	0.00028280	0.042475271
11	0.0002395	0.030744939	0.00025420	0.044919891
12	0.0002123	0.027253238	0.00022590	0.041558539
13	0.0001883	0.024172326	0.00020030	0.036669299
14	0.0001330	0.017073390	0.00016065	0.084492176
15	7.02E-05	0.009011669	0.00010160	0.095951332

Fuente: Autora

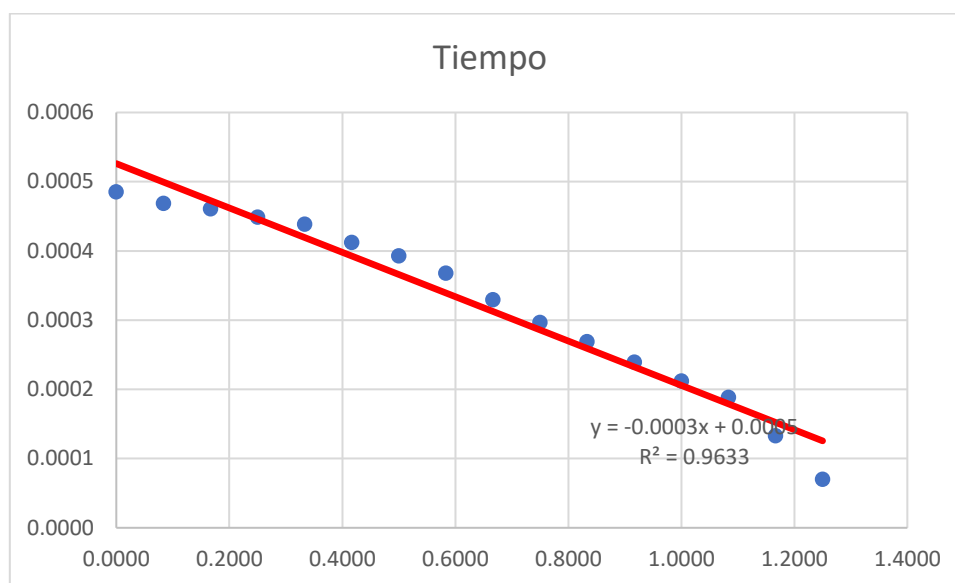
A continuación, se presenta el modelo matemático y la gráfica 01, que refleja los datos obtenidos de humedad total con respecto al tiempo de deshidratación del mango.

Tabla 06: Valores de humedad total respecto al tiempo

Tiempo	H. total
0.0000	0.0005
0.0833	0.0005
0.1667	0.0005
0.2500	0.0004
0.3333	0.0004
0.4167	0.0004
0.5000	0.0004
0.5833	0.0004
0.6667	0.0003
0.7500	0.0003
0.8333	0.0003
0.9167	0.0002
1.0000	0.0002
1.0833	0.0002
1.1667	0.0001
1.2500	0.0001

Fuente: Autora

Grafica 01: Gráfica de los datos de humedad total vs tiempo.



Las ecuaciones de ajuste de la gráfica son las siguientes:

Modelo matemático : $y = -0.0003x + 0.0005$

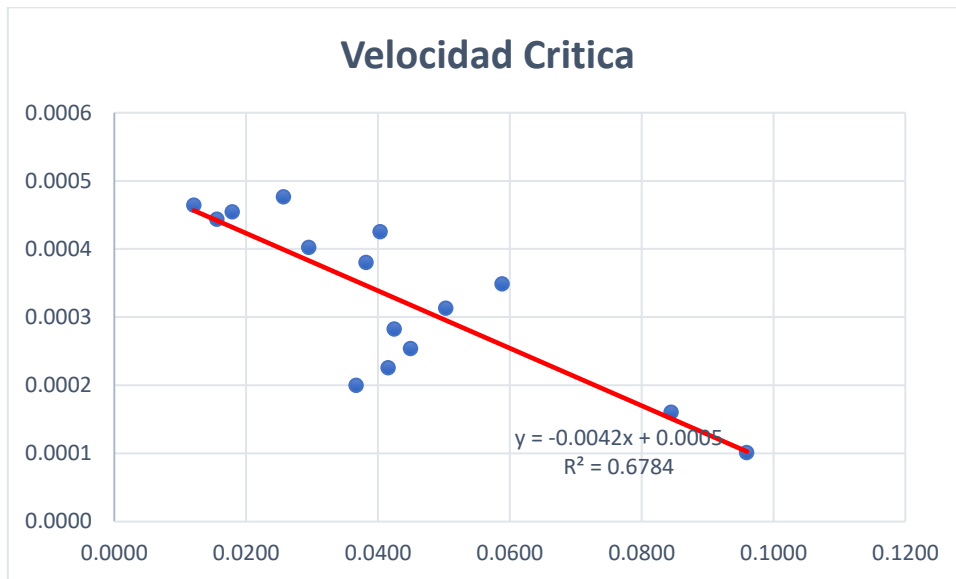
Factor de correlación : $R^2 = 0.9633$

Tabla 07: Valores velocidad crítica del secado y humedad media

Velocidad critica (Kg/h)	Humedad media (Kg H ₂ O/Kg S.S)
0.0257	0.000477
0.0121	0.00046465
0.0179	0.00045485
0.0156	0.0004439
0.0403	0.0004256
0.0295	0.00040275
0.0382	0.0003806
0.0588	0.00034885
0.0503	0.00031315
0.0425	0.0002828
0.0449	0.0002542
0.0416	0.0002259
0.0367	0.0002003
0.0845	0.00016065
0.0960	0.0001016

Fuente: Autora

Grafica 02. Gráfica de los datos de velocidad crítica del secado vs humedad media



Las ecuaciones de ajuste de la gráfica son las siguientes:

Modelo matemático : $y = -0.0042x + 0.0005$

Factor de correlación : $R^2 = 0.6784$

Los resultados presentados en la Tabla 04 contienen los valores experimentales correspondientes al tiempo (expresado en horas) y al peso del mango (en kilogramos), los cuales sirvieron como base para calcular parámetros fundamentales del proceso de secado, tales como la humedad total, la humedad libre, la humedad media y la velocidad crítica de deshidratación.

La humedad libre inicial del mango fue determinada en 0.0623 kg H₂O/kg de sólido seco, valor que representa la cantidad de agua susceptible de ser eliminada mediante secado continuo a 60 °C durante un tiempo estimado de 24 horas, hasta alcanzar un peso constante que indique la imposibilidad de seguir extrayendo humedad. Para una muestra con peso inicial de 0.0082753 kg, se estimó una humedad presente de 7.034×10^{-3} kg (equivalente al 85 % del peso), lo que sugiere que aún restaría eliminar 6.964×10^{-3} kg de agua para completar el proceso de deshidratación.

En cuanto al ajuste de los modelos matemáticos utilizados para describir el comportamiento del secado, los resultados mostraron un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9633 en la Gráfica 1, lo cual indica una fuerte correspondencia entre los datos experimentales y el modelo aplicado. No obstante, en la Gráfica 2, el modelo lineal mostró un ajuste deficiente, con un

R^2 de apenas 0.6784, por lo que se sugiere evaluar modelos alternativos más apropiados para representar adecuadamente la tendencia de los datos.

Finalmente, se observó que las curvas de encogimiento del mango durante la deshidratación están influenciadas por la velocidad del aire de secado, y que dichas diferencias tienden a acentuarse conforme avanza el proceso. Este hallazgo respalda la importancia de controlar no solo la temperatura y el tiempo, sino también la dinámica del flujo de aire en la optimización del secado convectivo.

V. COCLUSIONES

1. Se logró obtener la cinética de secado del mango a una temperatura constante de 60 °C, representada mediante dos curvas principales: humedad total en función del tiempo y velocidad de secado en relación con la humedad media. Los factores operativos temperatura, tiempo y velocidad de secado influyeron significativamente en el proceso, siendo el tiempo el más determinante. Durante el ensayo, se observó una velocidad de secado inicial baja de 0.0256 kg/h, la cual aumentó progresivamente hasta alcanzar 0.0959 kg/h a los 75 minutos. Se concluye que la velocidad de secado presenta una relación inversamente proporcional con la humedad total del producto.
2. El proceso de deshidratación generó alteraciones estructurales evidentes en el mango, reflejadas principalmente en la reducción del grosor y el diámetro de las muestras, lo que indica encogimiento progresivo asociado a la pérdida de agua.
3. El mango se confirma como un alimento funcional valioso, con alto contenido de vitaminas C y A, así como fibras, minerales y antioxidantes, siendo además un fruto bajo en calorías, ideal para dietas saludables.
4. El proceso de secado se efectuó en un equipo de circulación de aire caliente a 60 °C durante un periodo continuo de 4 horas, logrando una reducción significativa de humedad sin comprometer las características organolépticas del fruto.
5. Las frutas deshidratadas presentan un comportamiento altamente higroscópico, es decir, tienden a absorber fácilmente la humedad del ambiente. Por ello, una vez finalizado el proceso de secado, es fundamental permitir que el producto se enfríe completamente antes de ser empaquetado de inmediato en envases adecuados que aseguren su conservación.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación con otras muestras de frutas.
2. Que se equipe la Facultad de Ingeniería Química con deshidratador con sistema con programas de simulación del proceso de secado para obtener las curvas de secado.
3. Así mismo la adquisición de un equipo para determinar la Actividad de agua

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. L. y. A. Ibarz, "Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures".
- [2] C. M. A. Luciano Pérez V., «Técnicas para el deshidratado del mango,» FUNDACION PRODUCE, 2003.
- [3] U. d. Magdalena, «INFORME DE AUTOEVALUACION PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA,» All Rights Reserved, 2014.
- [4] J. Duran, «Deshidratado de rebanadas de mango (Tommy Atkins) utilizando extracto de sus semillas y metabisulfito de sodio como pretratamientos,» Universidad Tecnologica de la Mixteca, Oaxaca, Mexico, 2015.
- [5] H. Buitrago, «Estudio preliminar para deshidratación solar de mango Mangifera Indica L. var. Común,» Universidad Nacional Abierta, Colombia, 2014.
- [6] H. J. Encalada Rojas, «Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (Mangifera indica L.) Variedad Kent (Tesis para optar Titulo),» Chulucanas, Perú, 2017.
- [7] S. H. D. E. E. BCRP, 2023.
- [8] S. H. D. E. E. BCRP.
- [9] D. F. A. Mendieta, Estudio de Tendencias de mercado MANGO, Lima-Peru: Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, 2022.
- [10] R. e. al, Estudio de Tendencia de mercado MANGO, Lima-Peru: Instituto nacional de Innovacion, Diciembre, 2022.
- [11] R. o. t. R. Agro-Industries, REGIONAL AGRO-INDUSTRIES FORUM, Lima-Peru, 2009.
- [12] A. M. A. J. M. B. A. M. A. Pedro F. Maupoey.
- [13] O. Cabascango, Manual de deshidratacion, Ecuador: Universidad tecnica del Norte (UTN), 2018.
- [14] O. Cabascango, Manual de deshidratacion, Ecuador: Universidad tecnica del Norte (UTN), 2018.
- [15] C. H. V. A. I. R. Gustavo V. Barbosa, Deahidratacion de alimentos, Acribia, Editorial, S.A., 2000.
- [16] INDECOPI, Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI, Lima-Peru, 2017.
- [17] M. B. Laborde, «PASAS DE UVA DE BAJAS CALORIAS OBTENIDAS POR DESHIDRATACIÓN COMBINADA,» 2014. [En línea]. Available:

https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/58118/CONICET_Digital_Nro.cda31374-07c4-46e3-8e9d-b479fef411a6_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

- [18] H. J. Encalada Rojas, «Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (Mangifera indica L.) Variedad Kent (Tesis para optar Título),» Chulucanas, Perú, 2017.
- [19] C. H. V. A. I. R. Gustavo V. Barbosa, Deahidratacion de alimentos, Acribia, Editorial, S.A., 2000.