

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR Y TEXTURA EN
MANGO (*Mangifera indica L.*) DESHIDRATADO POR ÓSMOSIS Y
AIRE CALIENTE

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

JOHSELIN MELISSA LAURA HUAMÁN

Asesor:

Ing. M.Sc. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ.

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana
Fundado por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Av. Atahualpa 1050 – Pabellón 2A-202



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TESIS REVISADA EN EL SOFTWARE DE ANTIPLAGIO TURNITIN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.

El director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca, hace constar que:

La tesis y/o Trabajo de Suficiencia Profesional titulada:

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR Y TEXTURA EN MANGO (*Mangifera indica* L.) DESHIDRATADO POR OSMOSIS Y AIRE CALIENTE.

Presentada por el (la) Bach: Laura Huamán Johselin Melissa, ha sido sometida a revisión mediante el Software Antiplagio TURNITIN, por parte del asesor: Dr. Jimy Oblitas Cruz, obteniendo el puntaje 11% de similitud.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 17 de enero del 2024

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Ing. MICHAEL JIMY OBLITAS CRUZ
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los cinco días del mes de setiembre del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 315-2023-FCA-UNC, de fecha 27 de junio del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR Y TEXTURA EN MANGO (*Mangifera indica* L.) DESHIDRATADO POR ÓSMOSIS Y AIRE CALIENTE"**, realizada por la Bachiller **JOHSELIN MELISSA LAURA HUAMÁN** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y quince minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y diez minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez
SECRETARIO

Ing. Mg. Sc. Jhon Anthony Vergara Copacondori
VOCAL

Ing. M. Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar a Dios por haberme guiado y dado la voluntad para seguir adelante permitiéndome alcanzar mis metas en mi formación profesional.

Con todo mi amor a mi pequeño hijo Leandro, por ser el motor y motivo de mi vida. Hoy he logrado un sueño de tu mano y espero que te sientas orgulloso de mi.

A mi querido esposo Gilmer Ramirez por su amor y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y haberme permitido alcanzar un logro importante en mi vida.

A mis padres y hermanos por ayudarme incondicionalmente durante todo este tiempo, por acompañarme en mis momentos más difíciles y por todo lo bueno que me han enseñado.

De igual manera, mis agradecimientos a la Universidad Nacional de Cajamarca, a toda la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a mis profesores en especial al MSc. Ing. Jimy Oblitas y MSc. Ing Tony Steven Chuquizuta quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos permitieron el desarrollo de este trabajo, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

LA -AUTORA

INDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPITULO I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Descripción del Problema	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Justificación del estudio	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Hipótesis	4
CAPITULO II	5
2.1. Revisión bibliográfica.....	5
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.2. Bases Teóricas	9
2.1.3. Definición de términos básicos	23

CAPITULO III.....	27
3.1. Materiales y métodos.....	27
3.1.1. Ubicación de la investigación	27
3.1.2. Materiales	27
3.1.3. Metodología	29
3.1.4. Descripción del procedimiento.....	29
CAPITULO IV	34
4.1. Resultados y Discusiones.....	34
4.1.1. Evaluación del color	34
4.1.2. Evaluación de la Textura	48
CAPITULO V.....	52
5.1. Conclusiones y Recomendaciones	52
5.1.1. Conclusiones	52
5.1.2. Recomendaciones	52
CAPITULO VI.....	53
6.1. Bibliografía.....	53
CAPITULO VII	57
7.1. Anexos.....	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Nutricional para 100g de pulpa de mango en fresco	14
Tabla 2 Análisis de Varianza para Luminosidad	35
Tabla 3 Condiciones óptimas para la variable luminosidad en mango deshidratado por ósmosis	38
Tabla 4 Análisis de Varianza para a (cromaticidad de verde a rojo)	40
Tabla 5 Condiciones óptimas para la variable cromaticidad de verde a rojo en mango deshidratado por ósmosis	43
Tabla 6 Análisis de Varianza para b (cromaticidad de azul a amarillo)	45
Tabla 7 Condiciones óptimas para la variable cromaticidad de azul a amarillo en mango deshidratado por ósmosis	47
Tabla 8 Análisis de Varianza para Textura	48
Tabla 9 Condiciones óptimas para la variable textura (fuerza de fractura) en mango deshidratado por ósmosis	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mango variedad KENT	10
Figura 2 Deshidratador por aire forzado instalado	20
Figura 3 Tablero del deshidratador	20
Figura 4 Texture Analyzer CT3 marca BROOKFIELD®	23
Figura 5 Espacio de Color CIE-L*a*b*	25
Figura 6 Procedimiento de la investigación.....	30
Figura 7 Corte de cubos de mango	32
Figura 8 Deshidratación osmótica de cubos de mango.....	33
Figura 9 Efectos principales para Luminosidad (L)	36
Figura 10 Superficie de respuesta para luminosidad en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 5.....	36
Figura 11 Efectos principales para a cromaticidad de verde a rojo	40
Figura 12 Superficie de respuesta para luminosidad en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 19.....	40
Figura 13 Efectos principales para b Cromaticidad azul a amarillo	45
Figura 14 Superficie de respuesta para luminosidad en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 7.....	46
Figura 15 Efectos principales para Textura (fuerza de fractura)	49
Figura 16 Superficie de respuesta para textura (fuerza de fractura) en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 8.....	49

RESUMEN

La investigación se desarrolló en dos etapas: la parte experimental y el análisis, la primera se desarrolló en la Universidad Autónoma de Chota y la segunda etapa en la Universidad Nacional de Cajamarca. El objetivo de la investigación fue determinar la variación del color y la textura de mango (*Mangifera indica* L.) deshidratado por ósmosis y aire caliente. Los mangos fueron cortados en cubos de 1.5 cm, y sometidos a un pretratamiento de ósmosis en solución de sacarosa a 40 °Brix y a una temperatura constante de 20 °C que se efectuó en una incubadora por un lapso de 16 horas sin remoción, seguidamente se deshidrató en secado de bandejas de aire forzado (50 °C, 60 °C y 70 °C). Posterior al secado, se obtuvieron los valores de L*, a* y b* y textura (N). Se utilizó el diseño superficie de respuesta para optimizar las variables y análisis ANOVA para determinar las diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados de la optimización de los factores en estudio para maximizar las variables evaluadas son: temperatura 50 °C y velocidad de aire 1.63 (L* 63.1), temperatura 70 °C y velocidad de aire 1 m/s (a* 20), temperatura 50 °C y velocidad de aire 1.62 m/s (b* 64.94) y para textura el valor óptimo fue de 141.9 N a una temperatura de 57 °C y velocidad de aire de 1 m/s. Los parámetros de color presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). La temperatura que le confiere mayor estabilidad de color a los cubos de mango es 50 °C, la velocidad de aire es el factor que no afectó a los parámetros del color. La textura no se vio afectada por los factores temperatura y velocidad de aire ($p > 0.05$).

Palabras clave: mango, deshidratación osmótica, deshidratación aire caliente, color, textura

ABSTRACT

The research was developed in two stages: the experimental part and the analysis, the first was developed at the Autonomous University of Chota and the second stage at the National University of Cajamarca. The objective of the research was to determine the variation in color and texture of mango (*Mangifera indica* L.) dehydrated by osmosis and hot air. The mangoes were cut into 1.5 cm cubes, and subjected to an osmosis pretreatment in a sucrose solution at 40 °Brix and a constant temperature of 20 °C, which was carried out in an incubator for a period of 16 hours without stirring, followed by dehydration in forced-air drying trays (50 °C, 60 °C and 70 °C). After drying, the values of L*, a* and b* and texture (N) were obtained. The response surface design was used to optimize the variables and ANOVA analysis to determine the significant differences between treatments. The results of the optimization of the factors under study to maximize the evaluated variables are: temperature 50 °C and air speed 1.63 (L* 63.1), temperature 70 °C and air speed 1 m/s (a* 20), temperature 50 °C and air speed 1.62 m/s (b* 64.94) and for texture the optimal value was 141.9 N at a temperature of 57 °C and air speed of 1 m/s. The color parameters presented significant differences ($p < 0.05$). The temperature that gives the mango cubes greater color stability is 50 °C, the air speed is the factor that did not affect the color parameters. The texture was not affected by the factors temperature and air velocity ($p > 0.05$).

Keywords: mango, osmotic dehydration, hot air dehydration, color, texture

CAPITULO I

1.1. Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical de origen acuático que posee importantes cualidades nutricionales, color atractivo, sabor exquisito y composición en fibra que se manifiesta en la percepción fibrosa que se tiene al consumir (Alvis-Bermudez et al., 2016). Pero la producción de esta fruta es limitada, además las pérdidas por post cosecha y procesamientos son altas por lo que es necesario aplicar tecnologías de conservación entre ellas está el proceso de deshidratación que consiste en eliminar el contenido de agua en un alimento bajo ciertos parámetros controlados como la temperatura, humedad, tiempo, velocidad y circulación de aire. El agua contenida en los alimentos prolifera el crecimiento de microorganismo que reducen la vida útil de estos (García-Paternina et al., 2015).

En algunos procesos de deshidratación se somete al alimento a altas temperaturas que pueden influir de manera negativa sobre los componentes del alimento, para ello es importante usar técnicas adecuadas, entre ellas esta los pretratamientos de secado, por ejemplo, la deshidratación osmótica, que permite eliminar el agua contenida en un alimento al ponerlo en contacto con una dilución altamente concentrada, compuesta por solutos capaces de formar una alta presión osmótica, con una doble transferencia de masa (agua de la fruta a la solución y solutos de la solución a la fruta) (Zuluaga, et al., 2010).

Se han realizado diversas investigaciones acerca de la aplicación de la ósmosis en la deshidratación de frutas y hortalizas, ya que permite eliminar gran parte del contenido de agua, su aplicación en frutas es debido a que estas contienen compuestos bioactivos que pueden verse afectados por las condiciones de almacenamiento, por ello es necesario someterlos a técnicas de conservación adecuadas que no interfieran en la composición nutricional (Estrada et al., 2018). La

pérdida de peso, tiempo de secado, cambios de color y preferencia de los consumidores son factores que son afectados por las técnicas de deshidratación. El objetivo de esta investigación fue evaluar la variación del color y la textura de mango (*Mangifera Indica* L.) deshidratado por osmosis y aire caliente.

1.2. Descripción del Problema

Un problema que limita el consumo de frutas es que estas tienen una estacionalidad acentuada, un valor de humedad (contenido total de agua libre que puede ser aprovechada para los procesos metabólicos) mayor al 80%, motivo que los hace muy perecederos en condiciones ambientales. En la actualidad, la tendencia de los consumidores está orientada a ingerir alimentos naturales, optando por comportamientos que les ayuden a mantener una salud física y mental. Hoy en día ha aumentado la producción mundial de frutas deshidratadas debido a la gran demanda que existe en el mercado local e internacional ya que los frutos deshidratados son fuente de energía, ideales para la nutrición, contienen grasas saludables, fibra y gran cantidad de proteínas de origen vegetal. La máxima autoridad en Salud a nivel mundial: La Organización Mundial de la Salud (OMS), aconseja consumir de frutos deshidratados o secos, para luchar contra la epidemia mundial de la obesidad infantil, llevando una dieta saludable; en este caso el producto mango deshidratado es una alternativa. El desarrollo del proceso de deshidratación de frutas es una alternativa para conservar frutas en buen estado que, por cualquier motivo como calibre fuera de especificación, deformaciones, exceso de producción, etc., no son vendidos como productos frescos en los mercados. Adicional a ello, que estas sean contribuyan a llevar una buena salud. Existe la necesidad de aplicar nuevas técnicas que permitan aumentar el período de vida en anaquel, además conservar las características fisicoquímicas y sensoriales de los alimentos.

En este contexto, el siguiente trabajo permite evaluar la deshidratación por aire caliente aplicada al mango osmodeshidratado, como una propuesta alternativa para generar una oportunidad de valor agregado; puesto que con este proceso se lograría mejorar sus criterios de calidad (color y textura), y conseguir la preservación del mango; así mismo, este proyecto presenta una alternativa viable para disminuir las pérdidas producidas como fruta fresca y lograr su comercialización como “mango deshidratado” a precios accesibles.

Para ello, es necesario determinar los parámetros óptimos en la deshidratación osmótica y por aire caliente del mango; con la finalidad de mejorar el color y textura del producto final, usando la variedad de mango “Kent”, cultivada en el distrito de Magdalena, departamento de Cajamarca, a fin de lograr su comercialización en la presentación de fruta deshidratada y mejorar el ingreso de los agricultores.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la variación de color y textura en mango (*Mangifera indica* L.), deshidratado por osmosis y aire caliente?

1.4. Justificación del estudio

El aporte de esta investigación contribuirá la mejora de las características de color y textura del mango deshidratado por ósmosis (en sacarosa) y deshidratado por aire caliente a tres temperaturas de secado. La caracterización en color y textura se realizará de forma instrumental (colorímetro y texturómetro), lo que permitirá mejorar las aplicaciones industriales de este producto y su comercialización para consumo directo como snack de frutas.

Así mismo aportara para los exportadores peruanos que envían mango a los exigentes mercados de Asia, Europa y Norteamérica para cumplir con los más altos estándares de calidad mediante la optimización de la temperatura y velocidad de aire aplicando la osmodeshidratación

como pretratamiento en la deshidratación de mango evaluando los parámetros de color y textura siendo cruciales en la determinación de la calidad del producto terminado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la variación de color y textura en mango (*Mangifera indica* L.), deshidratado por osmosis y aire caliente.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la temperatura en el color y textura de cubos de mango (*Mangifera indica* L.), deshidratado por osmosis y aire caliente.

Evaluar el efecto de la velocidad de aire en el color y la textura de cubos de mango (*Mangifera indica* L.), deshidratado por ósmosis y aire caliente.

1.6. Hipótesis

La variación del color y la textura es mayor cuando la temperatura de deshidratación es 60 °C y la velocidad de aire es 1.5 m/s.

CAPITULO II

2.1. Revisión bibliográfica

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Zuluaga et al. (2010), realizaron la evaluación de influencia del proceso (secado con aire caliente y deshidratación osmótica-secado con aire caliente) y la temperatura de secado (60 y 70 °C) sobre las características físicas del mango (*cv. Tommy Atkins*). Encontrando como resultado, que el secado de mango sin pretratamiento a 70 °C presenta una mayor velocidad de eliminación de agua del interior de la fruta, la menor humedad final (10.2 %), la menor actividad de agua (0.362) y la mayor fuerza de fractura (399.8 N). Los pretratamientos con deshidratación osmótica presentaron una menor velocidad en la eliminación del agua desde el interior de la fruta durante el proceso de secado, la mayor humedad final (14 %- 15 %) y la mayor actividad de agua (0.612), pero su fuerza de fractura estuvo en un rango de 115.6 a 140.8 N, lo cual es menor comparado con las muestras secadas directamente. Las muestras con pretratamiento tuvieron un color más oscuro debido a la caramelización en la superficie del mango del jarabe residual del proceso de osmodeshidratación. Al aplicar deshidratación osmótica sin agitación mecánica constante y a una temperatura de 20 °C como pretratamiento se obtienen resultados deficientes en cuanto la actividad de agua (0.61), contenido de humedad (14.4-15.1 %) y color (oscurecimiento) en los productos de mango deshidratados, lo cual podría generar problemas de almacenamiento. Esta investigación sirve como antecedente porque nos da la idea de que parámetros de temperatura se debe utilizar para la deshidratación y lograr la determinación de color y textura en mango osmodeshidratado.

Kowalski et al. (2013) Evaluaron “aspectos de calidad de las frutas y hortalizas secas por convección con pretratamiento osmótico” para su estudio utilizaron rodajas de remolacha y plátano con un espesor de 3mm y 8mm respectivamente, los cuales fueron secados por convección.

Obteniendo como resultados que el secado por convección de frutas y verduras con tratamiento preliminar osmótico mejora significativamente la calidad de estos productos biológicos, no acorta significativamente el tiempo de secado. Un acortamiento del tiempo de secado. Se puede lograr solo a través de la elongación del tiempo de deshidratación osmótica y un aumento de la solución concentración. Afirma que la deshidratación osmótica preliminar limita significativamente los cambios de color de las muestras secas. A mayor concentración de la solución hipertónica y mayor tiempo de deshidratación menor grado de contracción y deformaciones de la forma de la muestra, tanto para la remolacha roja como para el plátano. Esta investigación sirve porque utiliza el método de deshidratación osmótica con la finalidad de limitar significativamente los cambios de color de las muestras deshidratadas.

Encalada (2017) En su tesis titulada “Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (*Mangifera indica* L.) Variedad Kent” evaluó los tratamientos de mayor aceptación para el deshidratado de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Kent por desecación en estufa de aire caliente, a través de temperaturas de 55 °C, 65 °C y 75 °C y espesores de 4 y 8 mm durante 15 horas sobre las características físico-químicas, microbiológicas y aceptación sensorial. Las variables utilizadas en este trabajo son: determinaciones de porcentaje de humedad, porcentaje de acidez, grados Brix y atributos de color, sabor, textura y apariencia general e intención de compra. Concluye que los tratamientos de mayor aceptación del efecto en temperatura y espesor para el deshidratado de “mango” (*Mangifera indica* L.) Variedad Kent en los atributos sensoriales de color, sabor, textura y apariencia general son los siguientes: Color: El tratamiento 2 a temperatura de 65 °C y espesor de 4mm. Sabor: El tratamiento 2 a temperatura de 65 °C y espesor de 4 mm. Textura: El tratamiento 6 a temperatura de 75 °C y espesor de 8 mm. Apariencia general: El tratamiento 2 a temperatura de 65 °C y espesor de 4mm. Realizando el análisis post ANOVA,

el atributo del sabor presenta diferencia significativa en los tres niveles de temperatura y en la textura hay diferencia significativa en 55 °C y 65 °C. Los parámetros físico-químicos y evaluación sensorial de la materia prima aplicado a los 6 tratamientos son: 14.41 ± 0.5 °Brix (grado 5 del color de pulpa), 0.61 ± 0.5 por ciento de acidez, 3.73 ± 0.5 de pH y 79.2 ± 0.5 por ciento de humedad y para la evaluación sensorial (sabor: característico de la fruta; color: piel verde con naranja; textura: listo para el consumo y apariencia general: producto libre de materias extrañas). Esta investigación sirve como antecedente sobre el estudio porque aporta a el rango de temperatura y espesor óptimos para la deshidratación mediante la caracterización del color, sabor, textura y apariencia general.

Guiné y Barroca (2012) En su artículo de investigación “Efecto de los tratamientos de secado sobre la textura y el color de verduras (calabaza y pimiento verde)” concluyen que la temperatura de secado redujo drásticamente la dureza de los pimientos verdes y la liofilización tuvo un intermedio efecto entre verduras secadas a 30 °C y 70 °C. Además, la elasticidad fue mayor en pimientos verdes secos, aunque se observó un efecto opuesto en la masticabilidad. Con respecto a la calabaza, no se observó dependencia entre la orientación de las fibras y la dureza de la verdura fresca. Es más, el secado de la calabaza reduce particularmente la dureza y la masticabilidad del producto seco, pero la cohesión y la elasticidad permanecen aproximadamente constantes. Con respecto al color, los resultados obtenidos para el verde pimiento nos permiten concluir que el secado al aire a 30 °C, ha producido muy pequeños cambios de color mientras que el secado al aire en 70 °C originó cambios de color más intensos. Los valores de L^* han aumentado, mientras que los valores de a^* y b^* han disminuido durante secado por aire caliente. El cambio de color de pimientos liofilizados fue pequeño, en comparación con las verduras secadas a alta temperatura. El aumento de temperatura en el secado al aire aumentó la saturación de color de la calabaza seca mientras disminuía linealmente el ángulo de matiz. Esta investigación sirve como antecedente

porque experimenta el efecto del tratamiento de secado por aire caliente y liofilización obteniendo mejores resultados con respecto al color por tratamiento de secado por aire caliente a una temperatura de 70 °C.

Núñez (2018) En su tesis titulada “Ganancia de sólidos, pérdida de agua y textura durante la deshidratación osmótica del yacón (*smallanthus sonchifolius*) evaluado a diferentes presiones y temperaturas” Realizo la deshidratación osmótica de rodajas de yacón de 0.3 cm. de espesor y 5 cm de diámetro; para ello utilizo como agente osmótico, sacarosa. Para el proceso aplico presiones de (100, 200, 300 mbar), por cada 10 minutos, luego se restableció a presión atmosférica por otros 10 minutos, en un tiempo de 2:30 horas. La relación muestra/solución fue de 1:5, usando soluciones de 20, 30 y 40 °Brix. Obtuvo una mayor ganancia de sólidos y pérdida de agua máxima con la concentración de solución osmótica de 40 °Brix. Para la textura óptima de cada rodaja de yacón se necesitó carga máxima de 1913.06 g. con concentración de 20 °Brix aplicando temperatura de 49.99 °C y presión de 101.887 mbar. Este trabajo de investigación sirve como antecedente porque enseña la metodología más adecuada para la concentración de solución osmótica del proceso de deshidratación, y la metodología para la evaluación del perfil de textura.

2.1.2. Bases Teóricas

2.1.2.1. Mango KENT. Es una de las variedades más populares e importantes del mundo debido a sus excelentes características organolépticas y nutricionales, esto ha propiciado que, en muchos países, especialmente en Asia se le conozca como “el rey de las frutas”. Tiene efecto laxante, diurético, astringente y refrescante. Además, es buena fuente de calcio, fósforo y hierro, así como de las vitaminas de C, A, tiamina y niacina, entre otros componentes benéficos. (Yahia, 2006). El mango kent tiene un fruto con forma ovoide ensanchado. La piel presenta un color de fondo amarillo con chapa roja. El peso medio de estos frutos considerando el árbol cargado es de 470 a 550 gr. La pulpa tiene poca fibra y se adapta muy bien al consumo con cuchara. El tamaño de la semilla es pequeño. El fruto de esta variedad tiene una excelente calidad y larga vida comercial. El mango kent es un árbol de un crecimiento erecto y un vigor medio (fitoagícola).

2.1.2.2. Origen del mango. Aparece en los bosques de las montañas Himalaya de la India, donde todavía se encuentran tipos de mango al estado silvestre. A su vez, en este ámbito existen otras 14 especies del Género *Mangifera* de frutos comestibles (Aparicio y Díaz, 2015).

Al Perú llegó el mango a partir del siglo XVIII, en fecha no precisada. Las introducciones sucesivas que se efectuaron a las áreas de la costa, selva y valles abrigados de la sierra, dieron lugar a los cultivares denominados “criollo” o “regional”, unos más que otros con las características de pulpa fibrosa, aroma variable y sabor a trementina (CONAFRUT, 1998).

2.1.2.3. Variedad KENT. Se considera actualmente como una de las frutas más finas en el mundo, existiendo una gran variedad de este. La variedad KENT tiene tamaño medio a grande (470 a 650 g) y que a la madurez adquiere un color rojo-amarillo con chapa rojiza, es de forma ovalada, de pulpa firme, color y sabor agradable. Es una variedad de media estación. De la gran diversidad de variedades de mango, son las “rojas” las más cultivadas actualmente, siendo la variedad Kent en estado fresco más comercial en exportación, correspondiéndole aprox. 82 por ciento de lo sembrado y 88 por ciento del volumen exportado, le siguen en orden decreciente en porcentaje las variedades Haden, Tommy Atkins y Edward; ello marca una diferencia con los demás (Rubio y Guerrero, 2012).

Figura 1

Mango variedad KENT



2.1.2.4. Taxonomía mango KENT. Es indudablemente la especie de mayor importancia de la familia de las Anacardiáceas, tanto por su distribución mundial y por su importancia económica, y se cultiva en más de 100 países (Rimache, 2007). De acuerdo a la clasificación taxonómica el mango se ubica de la siguiente manera:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Subdivisión : Magnoliophytina

Clase : Rosidae

Orden : Sapindales

Familia : Anacardaceae

Género : Mangifera

Especie : *Mangifera indica* L.

2.1.2.5. Usos. Es uno de los pocos frutos que se puede procesar en cualquier estado de su desarrollo. El estado fisiológico y la variedad necesarios en el fruto por procesar dependen del producto que se va a elaborar, aunque también es de vital importancia considerar color, tamaño, forma, textura, consistencia, sabor y aroma, para obtener un producto final de excelente calidad (Yahia, 2006).

Según Yahia (2006), es muy poco el mango que se procesa en México y América Latina. Se limita a la producción de jugos, néctares y refrescos. En cantidades reducidas también se producen rebanadas en almíbar, mermeladas, jaleas, cubos congelados, conservas, helados y dulces. En contraste, en algunos países de Asia (como India) grandes cantidades de mango son procesadas. Los niveles de producción de estos productos pueden incrementarse y, además, otros

productos pueden elaborarse (ates, hojuelas, rebanadas, orejones, rollos, vinos, polvo de mango, cereales con mango, etc.). Por ejemplo, los mangos verdes de cuatro a seis semanas de edad pueden emplearse para elaborar encurtidos dulces. La cáscara del mango es una buena fuente de pectinas y el hueso podría emplearse como fuente de fibra.

2.1.2.6. Textura de la pulpa y Color de la piel del mango KENT. Tiene forma ovalada, con la piel no comestible y color variable de amarillo pálido a rojo intenso. La pulpa es pegajosa y su coloración también varía, desde amarillo a anaranjado. El sabor del mango maduro es dulce, y bastante ácido cuando aún está verde. Es una fruta jugosa y fibrosa, y poseen un hueso interior. Su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud, con un peso de 300-400 g, llegando algunas piezas a alcanzar más de un kilo (Agrobanco, 2007).

2.1.2.7. Contenido químico y nutricional del mango KENT. Contiene un elevado porcentaje de humedad (74 – 87 %) e hidratos de carbono (15-23 %) y escaso contenido de proteínas (0.4-0.8 %) y lípidos (0.3-1.0 %), como se puede identificar en la Tabla n° 1. Además de su alto contenido en fructosa, sacarosa y glucosa, es una importante fuente de la fibra dietética, siendo ésta particularmente soluble en la pulpa (pectina, almidones) e insoluble en la piel (ligninas y hemicelulosa) (Wall-Medrano et al. 2015, como se citó en Honorio, 2018).

Cabe destacar la alta aportación de vitamina C (ácido ascórbico), además de vitamina A (β -caroteno) y vitamina E (a-tocoferol). Su alto contenido en ácido ascórbico y β -caroten, junto con los compuestos fenólicos (taninos y manguiferina) aporta a la dieta humana cantidades significativas de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, que conduce a la peroxidación de lípidos, daño al ADN y enfermedades degenerativas, así como reducir el riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Dembitsky et al. 2011; Masivo et al. 2008, como se citó en Honorio, 2018).

En menor medida contiene vitaminas de grupo B, entre las que destaca la niacina. Entre los minerales, predomina la presencia de potasio, fósforo, calcio y magnesio. También cabe destacar que es un fruto rico en ácidos orgánicos, entre los que destacan el cítrico y málico, los cuales también le confieren propiedades antioxidantes en la lucha contra los radicales libres; la composición nutricional del mango en fresco se presenta en la tabla N° 1 (Dembitsky et al. 2011, como se citó Honorio, 2018).

Tabla 1*Composición Nutricional para 100g de pulpa de mango en fresco*

Componente	Valor	Unidad
Energía Total	245/59	KJ/KCal
Agua (humedad)	83	g
Lípidos Totales	0.2	g
Proteínas	0.6	g
Hidratos de carbono	13.4	g
Fibra dietética total	2.3	g
Vitamina A	25	µg
Vitamina E	1.8	mg
Folato	31	µg
Equivalentes de Niacina totales	0.4	mg
Rivoflavina	0.05	mg
Tiamina	0.03	mg
Vitamina B6	0.08	mg
Vitamina C	44	mg
Calcio	20	mg
Hierro	1.2	mg
Potasio	1.50	mg
Magnesio	9	mg
Sodio	2	mg
Fosforo	22	mg
Selenio	0.6	µg
Zinc	0.1	mg

Nota: tomado de (BEDCA, 2017).

2.1.2.8. Deshidratación. La deshidratación de alimentos se ha utilizado desde la época que los humanos abandonaron la vida nómada (Periodo Neolítico). El uso de calor fue utilizado por muchos hombres del viejo y nuevo mundo para secar alimentos. El deshidratado es la reducción de la actividad de agua y se adapta mejor a cada tipo de producto alimenticio, ofrece estabilidad microbiológica, debido que el agua se extrae del interior de los alimentos, estos productos se deshidratan normalmente tales como: carnes, pescados, frutas, verduras, hierbas, entre otros (Cordero y Urbina, 2011).

Entre las tecnologías de procesamiento utilizadas a escala industrial para la conservación de alimentos, la deshidratación es la más antigua, menos costosa y una forma de preservación muy práctica.

La deshidratación del mango KENT alcanza la preservación en dos formas: Primero, remueve el agua necesaria para el crecimiento de microorganismos y para la actividad enzimática. Por lo tanto, retirando agua de los alimentos o haciéndola menos disponible, se puede extender la vida útil de los mismos. Además de facilitar la conservación del producto, reduce el peso y el volumen por unidad de valor alimenticio. Segundo, remueve el agua, lo que aumenta la presión osmótica cuando concentra las sales, azúcares y ácidos, creando un ambiente químico desfavorable para el crecimiento de muchos microorganismos. Las frutas deshidratadas contienen alrededor de un 20 % de agua, 3 % de proteínas, 70 a 5 % de glúcidos asimilables y 3 a 5 % de fibras. Son, por tanto, alimentos ricos en energía y minerales, y si la deshidratación está bien realizada, constituyen una excelente fuente de vitamina A y C. La fruta seca presenta un contenido bajo en humedad, lo que hace que se conserve durante más tiempo y no haya que consumirla recién recolectada. (Ramaswamy y Marcotte, 2006).

2.1.2.9. Deshidratación por ósmosis

Colina (2010), define ósmosis como el movimiento molecular de ciertos componentes presentes en una solución, a través de una membrana semipermeable, hacia otra solución de menor concentración.

El secado osmótico de alimentos consiste en la remoción de una parte del agua contenida en los alimentos sólidos mediante su inmersión en soluciones concentradas de sólidos solubles, que poseen mayor presión osmótica y menor actividad de agua que el alimento en cuestión. (Colina, 2010).

Si la membrana celular es perfectamente semipermeable, el soluto es incapaz de difundir hacia el interior de las células. Sin embargo, en lo alimentos es difícil tener membranas perfectamente semipermeables, debido a su compleja estructura interna, y entonces, siempre se produce alguna difusión del soluto al alimento, y viceversa, una lixiviación de los componentes del alimento hacia la solución (Rocca, 2011).

Por consiguiente, el fenómeno presenta dos procesos simultáneos en contracorriente: el movimiento de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica, en el que se pueden arrastrar algunos componentes disueltos del alimento junto con el agua extraída y, la impregnación del alimento con los solutos que provienen de la solución (Rocca, 2011).

El agua se elimina principalmente por difusión y flujo capilar, mientras que la impregnación del alimento con los solutos y la lixiviación de los componentes del alimento se producen solamente por difusión. (Rocca, 2011).

Barboza-Cánovas (2000), menciona a este método como una etapa acertada para el proceso previo a la liofilización, secado con aire, secado solar o secado a vacío; además la ósmosis le sirve

a estas técnicas de secado como un medio para reducir el tiempo de procesado, reducir el consumo energético y reducir el daño de las características sensoriales del producto final.

Estudios realizados por Madrid (1993) afirman que la sacarosa es el principal soluto utilizado en frutos dada su alta capacidad de remoción de agua y de retener compuestos volátiles.

De acuerdo con Oviedo-Lopera et al. (2005), el mango cortado en tajadas presenta mayor pérdida de humedad. Azoubel y da Silva (2007), aplicaron deshidratación osmótica a tajadas de pulpa de mango variedad Tommy Atkins utilizando soluciones de sacarosa. La mejor condición en la osmodeshidratación fue para la concentración de solución de sacarosa de 44 % con temperatura cercana a 38 °C (tiempo de inmersión de 80 min).

Factores que influyen en la velocidad de transferencia de masa.

Según Colina (2010), la velocidad con que se efectúa la transferencia de masa (entrada de solutos y salida de agua) de un producto, depende de diversos factores como:

Características del producto.

Naturaleza de los solutos en la solución.

Concentración de los solutos en las soluciones osmóticas.

Temperatura de la solución osmótica.

Presión del sistema.

Tiempo de inmersión del producto en la solución.

Evaluación de la transferencia de masa durante el secado por ósmosis con jarabe de sacarosa.

El análisis de la transferencia de masa durante el secado por ósmosis en alimentos implica la evaluación de la masa del producto sometido a la solución osmótica, la humedad del producto a través del tiempo y su concentración en sólidos solubles (Colina, 2010).

Además, se pueden realizar curvas respecto a la ganancia de sólidos (GS), pérdida de agua (PA) y pérdida de peso (PP) durante el pretratamiento de secado por ósmosis. Según Colina (2010) esta transferencia de masa producida durante la ósmosis puede calcularse como se observa en la Ecuación 1, 2 y 3:

$$PA = \frac{F_0 Y_0 - F_t X_t}{F_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

$$GS = \frac{F_t X_t - F_0 X_0}{F_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

$$PP = \frac{F_0 - F_t}{F_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

PA = Pérdida de agua al tiempo t (porcentaje)

F₀ = Peso inicial del producto (Kg)

F_t = Peso del producto al tiempo t (Kg)

Y₀ = Contenido inicial de humedad del producto (fracción masa)

Y_t = Contenido de humedad del producto al tiempo t (fracción masa)

X₀ = Contenido inicial de sólidos del producto (fracción masa)

X_t = Contenido de sólidos del producto (fracción masa)

GS = Ganancia de sólidos (porcentaje)

PP = Pérdida de peso (porcentaje)

2.1.2.10. Deshidratación por aire caliente.

El aire se calienta en la cámara, con la convección del calor de las resistencia y el aire forzado (deshidratador por flujo de aire caliente), la transformación de agua del interior del alimento se da en vapor de agua, gracias a la convección de calor entre el aire y el producto, permitiendo la transformación del agua libre contenida en este, y se elimina en forma de vapor de agua y así así se extrae por evaporación, y a la vez, hay una reducción de la humedad relativa del alimento (Cordero y Urbina, 2011).

2.1.2.11. Deshidratador de Armario (bandejas)

Según Barboza-Cánovas (2000), consiste en una cabina aislada, provista de un ventilador, para movilizar el aire sobre el producto que se desea deshidratar. Busca la forma de calentar el aire con energía solar, u otra fuente alternativa como energía eléctrica o de combustión. El aire caliente es dirigido por pantallas ajustables, ya sea horizontalmente entre las bandejas cargadas de frutas, o verticalmente a través de bandejas perforadas y las piezas de fruta. El secadero dispone de mecanismos reguladores, para controlar la velocidad de admisión de aire fresco y la cantidad deseada de aire circulante. Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados con vapor o, en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica. La temperatura del aire es controlada por un termostato que se fija normalmente entre 50 a 70 °C. Son relativamente baratos, muy flexibles y de bajo costo de mantenimiento.

Los secadores de bandejas son útiles para secar cantidades pequeñas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 Kg/h de producto seco. En ellos se puede secar prácticamente cualquier material, pero a causa de la mano de obra requerida para la carga y descarga, su operación resulta costosa para su baja capacidad de producción. Sin embargo, su polivalencia y la buena calidad comercial de los productos obtenidos los hace

utilizables en la deshidratación de productos agrícolas tales como la carlota, espinacas, ajos, perejil, guisantes, judías verdes, champiñones, cebollas, etc. Los secadores de bandeja pueden funcionar en régimen semicontinuo (Albors, 2001).

Figura 2

Deshidratador por aire forzado instalado



Nota. La figura muestra el deshidratador de aire caliente.

Figura 3

Tablero del deshidratador



Nota. La figura muestra temperatura del tablero. Fuente: Diaz (2021)

2.1.2.12. Actividad de agua.

Al considerar la influencia del contenido en agua en la estabilidad de los alimentos, no es el contenido total en agua lo importante, sino la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y la actividad química. Existe una abundante bibliografía que pone de manifiesto que una parte del contenido en agua de los alimentos se halla fuertemente ligado a puntos específicos de los componentes sólidos y que otra cantidad adicional se halla menos firmemente ligada, pero que tampoco es fácilmente disponible como disolvente para diversos solutos.

Para Brennan (2008) en el estudio de la disponibilidad del agua en los alimentos, se mide una propiedad fundamental, conocida como actividad de agua. Esta propiedad viene definida por la ecuación (4):

$$a_w = \frac{P_v}{P_w} \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 4}$$

Donde:

P_v: es presión de vapor de agua ejercida por la disolución, o el sólido húmedo y

P_w: es la presión de agua pura, ambas presiones a la misma temperatura.

2.1.2.13. Textura. Definida por Szczesniak (2002) “...es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos determinadas a través de los sentidos de la vista, oído, tacto y las cinéticas involucradas en cada caso”. Esta definición encierra conceptos importantes, tales como que la textura:

Es una propiedad sensorial, y, por tanto, su percepción se encuentra supeditada al ser humano que tiene la capacidad de describir sus sensaciones. Los instrumentos mecánicos de medición de la textura pueden detectar y cuantificar de forma alternativa ciertos parámetros físicos que deben posteriormente interpretarse en términos de la percepción sensorial. En este caso, la

percepción de la textura se deriva o parte de la reacción de los alimentos a un estrés aplicado que se cuantifica mediante propiedades mecánicas tales como dureza, firmeza, adhesividad, cohesividad, gomosidad, elasticidad, o viscosidad y que son percibidas en los sentidos quinestésicos en los músculos de la mano, dedos, lengua, mandíbula o labios (Meilgaard et al., 1999).

Durante el proceso de masticación en sólidos o de manipulación en semisólidos se utilizan varios sistemas sensoriales. El primero es el sentido quinestésico (movimiento), mediante el cual los receptores responden a la resistencia que ofrece el alimento durante el corte de masticación o bien la manipulación con los consiguientes movimientos de la lengua y las mandíbulas. El segundo sistema somestésico (piel), gracias al cual se perciben en la cavidad bucal cambios relacionados con el contacto, presión y temperatura. El tercero es el sentido auditivo (oído), mediante el que los sonidos emitidos son integrados por el cerebro con el resto de información relevante, para proporcionar la percepción textural (Carpenter et. Al., 2002).

Hoy día, estas mismas propiedades son perfectamente medibles de una manera cuantitativa y consistente en la utilización de un texturómetro (analizador de textura).

Un texturómetro funciona aplicando una fuerza controlada, ya sea comprimiendo o tensando una muestra bajo condiciones definidas de prueba. El usuario selecciona el tipo de probador para llevar a cabo la deformación, después selecciona la distancia que el probador debe cubrir para deformar la muestra, así como el rango de deformación. El parámetro que se mide es la carga de la fuerza que causa la deformación mecánica; este dato se registra continuamente durante la prueba. Utilizando diferentes formas geométricas en los probadores, las fuerzas cinéticas generadas con una muestra pueden ser manipuladas.

Una prueba de compresión comienza cuando la aguja o placa recorre la superficie de una muestra y detecta una resistencia inicial de un valor determinado (fuerza de gatillo), ya que comienza a hacer contacto. Es en éste punto en que el instrumento registra la respuesta de la muestra mientras el probador hace el corte, penetra o comprime la muestra durante una distancia determinada o un valor determinado de fuerza.

Figura 4

Texture Analyzer CT3 marca BROOKFIELD®



Nota: La figura muestra el equipo usado para determinar la textura. Fuente: Concereal (2021)

2.1.3. Definición de términos básicos

2.1.3.1. Deshidratación Osmótica. Es un proceso complejo de contra-difusión simultáneo de agua y solutos (Saputra, 2001). En él, podemos reconocer tres flujos: 1. Flujo del agua del producto a la disolución 2. Flujo de los solutos de la disolución al producto 3. Flujo de los solutos solubles en el agua desde el producto a la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas).

2.1.3.2. El color indicador de las reacciones de pardeamiento (Método $L^*a^*b^*$). La calidad de los alimentos en cuanto al sabor, textura, olor y color son atributos que los consumidores tienen presente en el momento de su adquisición, asimismo, el cambio del color en frutas y hortalizas es ocasionada por reacciones entre sus componentes tales como clorofilas, carotenoides, antocianinas, o por reacciones enzimáticas, estas reacciones de pardeamiento enzimático garantizan el estudio de la evolución en el tiempo del cambio de color de un tejido vegetal por acción de la polifenol oxidasa es por ello que se deriva el cálculo de ciertos parámetros como el Índice de Pardeamiento (IP) o el cambio de color normalizado (ΔE), los 41 cuales son útiles en la investigación del control del pardeamiento en frutas y hortalizas (Pompa, 2017).

Pompa (2017) señala que el espacio CIE- $L^*a^*b^*$ está definida por tres coordenadas:

L^* : este valor es una coordenada fotométrica que indica la luminosidad de la superficie de un color que varía desde cero a un negro hasta 100 para un blanco (los colores fluorescentes pueden dar un valor de L^* mayor que 100).

a^* : este valor es un índice de la composición en verde o rojo según arroje sus valores sean negativos o positivos $+a^*$: rojo $-a^*$: verde.

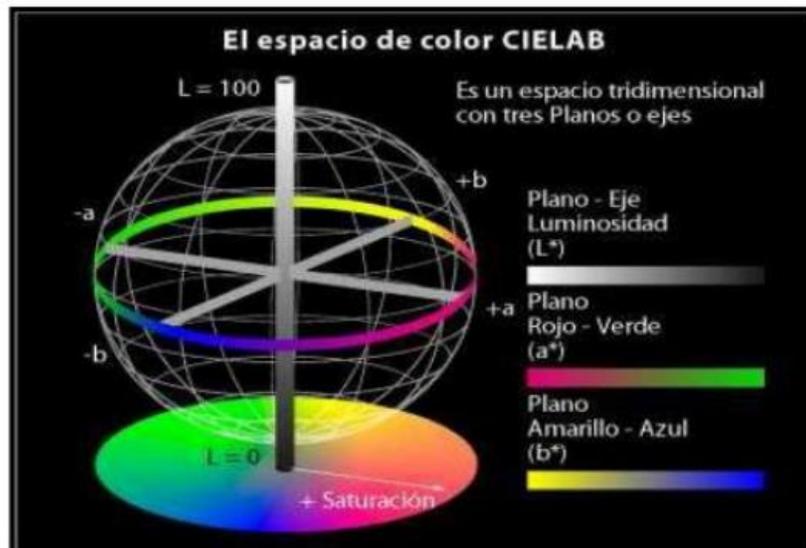
b^* : en cuanto a esta coordenada indica la composición en color azul o amarillo según los valores que alcance sean negativos o positivos respectivamente $+b^*$: amarillo y $-b^*$: azul 24. Los números L^* , a^* , b^* son importantes cuando se busca obtener numéricamente las diferencias de color.

Por tanto, El valor numérico de la diferencia de color (ΔE), valor de la ΔE^* es siempre positiva y es estrictamente la medida de la diferencia total de color entre el estándar y la muestra; Solo si la diferencia de claridad sea positiva o negativa nos dirá si la muestra del ensayo es más clara o más oscura que la referencia; este realmente expresa la dirección de la diferencia de

color (Pompa, 2017). A partir de los espectros de reflexión se obtienen las coordenadas de color del CIE- $L^*a^*b^*$, donde L^* es un indicador de la luminosidad, a^* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b^* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)).

Figura 5

*Espacio de Color CIE- $L^*a^*b^*$*



Nota: La figura muestra las coordenadas de color. Fuente: Pompa (2017)

Cie $L^*a^*b^*$. Es un espacio de color que se utiliza para describir todos los colores que podemos percibir. Tiene tres parámetros, L^* luminosidad ($L^* = 0$ negro y $L^* = 100$ blanco), si su posición está en la coordenada a^* es rojo / verde (+a indica rojo, -a indica verde) y si su posición está en la coordenada es b^* amarillo y azul (+b significa amarillo, -b significa azul).

2.1.3.3. Espesor. Se denomina al grosor de un elemento: es decir, a qué tan grueso, abultado o ancho es. La idea de espesor también puede vincularse a la condensación o la densidad de una sustancia.

2.1.3.4. Fuerza de fractura. Se define como el punto donde se produce una caída apreciable de la fuerza causada por el rompimiento parcial o total de la muestra (Zuluaga, et al., 2010).

2.1.3.5. Fracturabilidad. Es el pico inicial de fuerza durante la primera compresión. Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta. Se expresa en unidades de fuerza, generalmente Newton (Gonzales, 2015).

2.1.3.6. Mango. Es un fruto oriundo del sudeste asiático, caracterizada por su valor nutricional, color, sabor y composición en fibra, esta fruta se encuentra entre las 3 frutas más consumidas, después del plátano y la manzana (Aparicio, 2015).

2.1.3.7. Temperatura de aire. La temperatura elevada acelera la velocidad de respiración, ocasionando un aumento en la producción de etileno y niveles altos de dióxido de carbono, y así cambios en sabor, color, textura, apariencia y nutrimentos de los productos. Es la principal y más efectiva herramienta para extender la vida útil y mejorar la calidad de un producto. Puede darse por medio del calentamiento como por enfriamiento (FAO, 2002).

2.1.3.8. Velocidad de secado. Esta magnitud es de gran interés y permite realizar el análisis del proceso de secado, así como la cantidad de tiempo que demandará en secar un sólido en particular a ciertas condiciones, o también permitirá determinar las dimensiones del equipo destinado a esta operación. La velocidad de secado es definida como la cantidad de humedad que de un sólido se elimina por unidad de tiempo y área (Treybal,2007).

2.1.3.9. Velocidad de aire. La velocidad de aire influye en la velocidad de deshidratación siendo una relación directamente proporcional, entre más rápida sea la velocidad de aire más rápido será el proceso de deshidratación del alimento (Ricco, 2006).

CAPITULO III

3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Ubicación de la investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en dos fases; la primera fase en el Laboratorio de tecnología emergentes del Instituto de Investigación del mejoramiento productivo de la Universidad Nacional Autónoma de Chota y la segunda fase en el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.1.2. Materiales

3.1.2.1 Materia Prima.

Se utilizó 30 kilogramos de Frutos de mango (*Mangífera Indica L.*): Variedad KENT, con madurez fisiológica (color verde con ciertos nódulos rosáceos), 14° Brix (según la Norma Técnica Peruana para promover estándares de calidad en el mango fresco “NTP 011.010:2002”), obtenido del distrito de Magdalena - Cajamarca.

Solución osmótica: Sacarosa como agente osmótico 40° Brix a 20° C. Relación 5:1 entre solución osmótica y fruta.

3.1.2.2 Equipos.

Balanza digital de sensibilidad 0,01 g (Sartorius).

Refractómetro marca Kendall®

Deshidratador por aire forzado semi industrial de 5 kg, Temperatura de 30 °C a 80 °C.

Anemómetro marca EXTECH, modelo AN200

Incubadora marca “VELP SCIENTIFIC®

Agitador marca VELP SCIENTIFIC®

Texture Analyzer CT3 marca BROOKFIELD® (accesorio de penetración cilíndrico de 2 mm de diámetro (TA39))

Colorímetro de esfera (modelo SP60, X RITE Inc, MI, USA), con iluminante D65 y un observador de 10° como referencia.

Determinador de actividad de agua Equipo AQUALAB

3.1.2.3 Materiales.

Recipientes

Papel toalla

Cuchillos de acero inoxidable

Jarras graduadas (10 ml)

Guantes látex

Mandil

Mallas blancas 1x1

Tablas de picar

3.1.2.4 Trabajo de gabinete.

Libreta de apuntes

Lapiceros y/o lápices

Computadora

Cámara

Papel Bond.

3.1.3. Metodología

3.1.3.1. Evaluación del color

Para la evaluación del color se utilizó el Colorímetro de esfera (modelo SP60, X-RITE Inc, MI, USA), con iluminante D65 y un observador de 10° como referencia, se determinó la coloración de la superficie de las muestras de mango fresco y osmodeshidratado cortados en cubos de 1.5*1.5 cm respectivamente. Los resultados se obtuvieron colocando las muestras de mango en la base del colorímetro a través de los espectros de reflexión donde se obtuvieron las coordenadas de color del CIE- $L^*a^*b^*$, donde L es un indicador de la luminosidad, a^* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b^* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)).

3.1.3.2. Evaluación de la textura

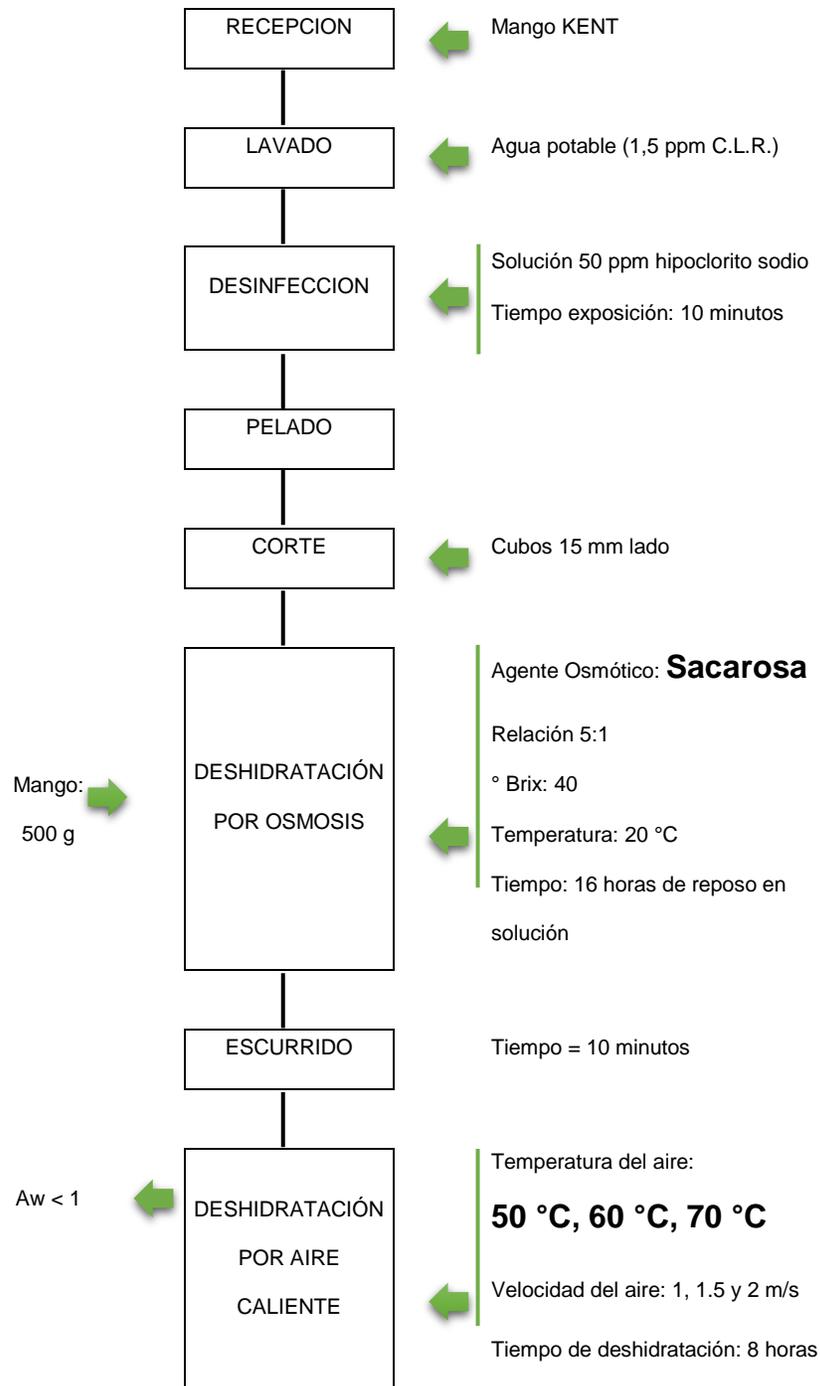
Para la determinación de la textura se utilizó un analizador de Texture Analyzer CT3, marca BROOKFIELD, las muestras fueron colocadas en la base del texturómetro en el cual fueron sometidas a penetración por el accesorio cilíndrico de 2mm de diámetro (TA39) a una velocidad de 2 mm/s programada a través de una computadora. La fuerza de fractura se definió como el punto donde se produce una caída apreciable de la fuerza causada por el rompimiento parcial o total de la muestra.

3.1.4. Descripción del procedimiento

El procedimiento de la investigación se describe a continuación, véase la Figura 6:

Figura 6

Procedimiento de la investigación



Nota. Flujograma del proceso de mango deshidratado por ósmosis y aire caliente.

Fuente: (Zuluaga, et al., 2010)

3.1.4.1. Recepción y Selección. Se recolectaron los mangos (*Mangifera indica* L.) variedad Kent en el Distrito de Magdalena, estas fueron recolectadas directamente del árbol, se seleccionaron teniendo presente su similitud en tamaño color y firmeza.

Luego fueron trasladadas al Laboratorio de Tecnologías limpias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma de Chota, en una caja para evitar que fueran maltratadas, se trabajó con esta muestra como materia prima en todas las evaluaciones realizadas para evitar variación.

3.1.4.2. Lavado. Se lavó la fruta para quitar impurezas en un contenedor con suficiente capacidad para la cantidad requerida de fruta diariamente para el proceso de deshidratación.

3.1.4.3. Desinfección. Se realizó la desinfección de los mangos en una solución clorada de 50 ppm por alrededor de 5 minutos (Luque 2016) con la finalidad de eliminar gran parte de los contaminantes biológicos. Luego se enjuagó con abundante agua y se dejó secar.

3.1.4.4. Pelado. Se pelo hasta exponer completamente la pulpa de los frutos con ayuda de cuchillos en acero inoxidable desinfectados, la pulpa que se separó de la semilla.

3.1.4.5. Corte

A continuación, se realizaron cortes en cubos de mango de 1.5 cm de lado manualmente.

Figura 7

Corte de cubos de mango



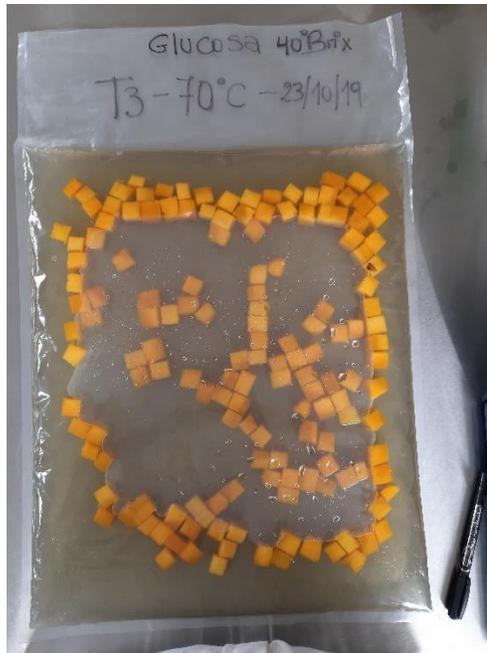
Nota. La figura muestra los cubos de mango de 1.5 cm cada lado.

3.1.4.6. Deshidratación por Osmosis. La solución osmótica se preparó con azúcar blanca refinada (sacarosa comercial) en agua destilada a una concentración del 40 %, se utilizó 500 ml de agua y se agregó 200 g de sacarosa, la mezcla se llevó a cabo en un matraz de 1000 ml, con la ayuda de un agitador magnético con placa calefactora de aluminio con cuatro posiciones independientes marca Velp Scientific, luego se verificó con un refractómetro (marca Leica). La temperatura en el proceso de DO fue de 20 °C. Los trozos de mango fueron sumergidos en la solución osmótica, la cual a su vez estaba contenida en bolsas de polietileno calibre 3. Se empleó una proporción de fruta/solución de 1:5. Para cada experimento de DO se utilizaron 500 g de cubos de mango. Las bolsas con la solución osmótica se colocaron en una incubadora marca Velp

Scientific, con ajuste electrónico de temperatura a 20 °C, constante las bolsas con solución osmótica y cubos de mango se mantuvo en reposo durante 16 horas.

Figura 8

Deshidratación osmótica de cubos de mango



Nota. La figura muestra la osmodeshidratación de los cubos de mango.

3.1.4.7. Escurrido. Después de la deshidratación por osmosis las muestras se colocaron en un colador para eliminar el exceso de jarabe de sacarosa esta operación tuvo un tiempo de 10 minutos.

3.1.4.8. Deshidratación por aire caliente. Temperatura del aire: Se utilizarán tres temperaturas de secado por aire caliente: 50 °C, 60 °C y 70 °C. Se utilizo un Deshidratador por aire forzado semi industrial de 5 kg, Temperatura de 30 °C a 80 °C. El tiempo de secado por aire caliente fue de 8 horas hasta alcanzar una actividad de agua de 0.6.

CAPITULO IV

4.1. Resultados y Discusiones

4.1.1. Evaluación del color

Los valores del análisis de varianza de las variables propias del color (L, a* y b*) del mango osmodeshidratado sometido a los diferentes tratamientos se muestran en las tablas 2, 4 y 6.

4.1.1.1. Luminosidad (L). En la tabla 2 se muestra el ANOVA para la variable luminosidad en muestras de mango osmodeshidratado, donde se observa alta significancia para el factor temperatura puesto que $p < 0.05$, por tanto este factor produce efectos en la muestra, mientras que el valor velocidad de secado y las interacciones de ambos factores no influyen puesto que el valor de $p > 0.05$, lo cual significa que estos factores no producen efectos en las muestras y se afirma que ambos factores no están asociados o correlacionado es decir no actúan conjuntamente. Los resultados de la luminosidad para mango OD vario entre 48.25 y 58.32 en función de la temperatura, siendo menores a lo que presento el valor de mango fresco (59.73). La luminosidad en alimentos es muy importante cuando este disminuye significa que el producto empieza a oscurecer, por tanto, pierde su atractivo (Urfalino y Werlock, 2015). En la figura 9 se observa que cuando la temperatura aumenta la luminosidad o claridad de las muestras disminuyen, estos resultados coinciden con lo reportado por Ortega-Quintana et al. (2019) quienes encontraron que la luminosidad de muestras de yuca osmodeshidratada disminuyo cuando aumentaron la temperatura, debido a los azúcares reductores que son los responsables de los cambios de color como producto de la reacción de Maillard, por otro lado para García-Paternina et al. (2015), Los cambios en los parámetros de color en diferentes estudios son debidos principalmente al índice de madurez, las condiciones de proceso y las características físicas, además mencionan que los agentes osmóticos pueden generar cambios en el color observando diferencias en comparación con

mango fresco. A su vez Zuluaga et al. (2010) encontraron que la luminosidad en mango osmodehidratado y secado a 70 °C presento menor valor de L (57), este resultado es similar a los encontrados en este estudio, mencionan que en los procesos de deshidratación cambian las características de la superficie de los alimentos estos generalmente se expresan en pérdidas de color, variando su color y reflectancia. Esto se debe al pardeamiento enzimático, por acción de la polifenol oxidasa, por otro lado, la foto-oxidación de los pigmentos por acción de la luz, que en combinación con el oxígeno produce una grave decoloración.

Otra causa del cambio de color puede deberse a la formación de la corteza de jarabe, y también a la reacción de caramelización de la sacarosa que queda en la superficie del mango después del proceso de deshidratación osmótica (BeMiller y Whistler 1996, como se citó en Zuluaga et al., 2010).

Tabla 2

Análisis de Varianza para Luminosidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	34.4761	1	34.4761	7.81	0.0314
B: velocidad de secado	1.42107	1	1.42107	0.32	0.5911
AA	3.41072	1	3.41072	0.77	0.4133
AB	14.9672	1	14.9672	3.39	0.1152
BB	22.5768	1	22.5768	5.11	0.0644
Error total	26.4915	6	4.41525		
Total (corr.)	113.173	11			

Figura 9

Efectos principales para Luminosidad (L)

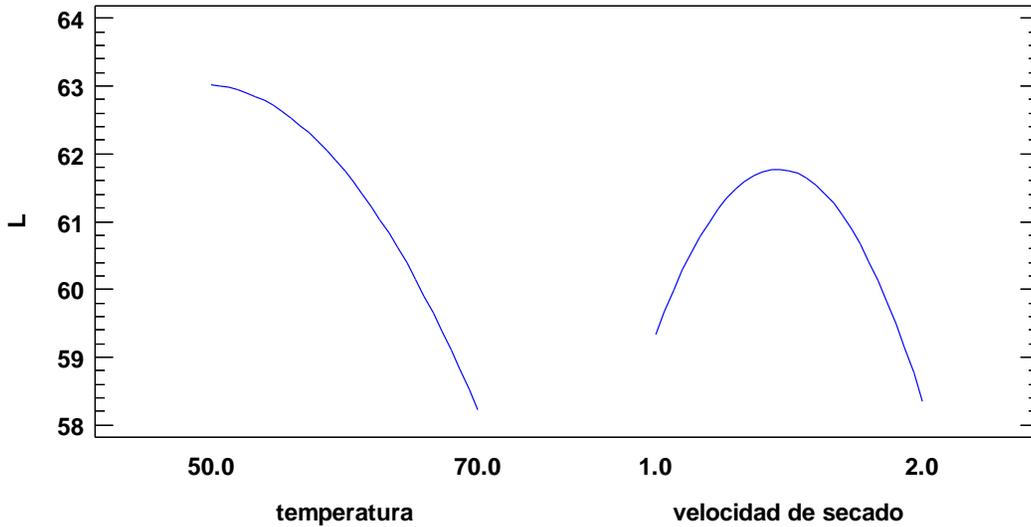
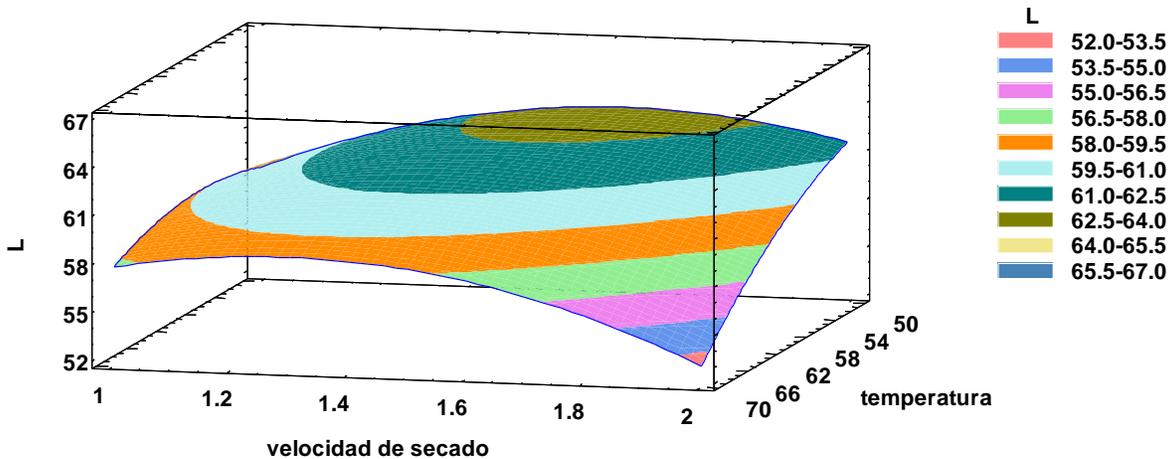


Figura 10

Superficie de respuesta para luminosidad en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 5.



Se observa el gráfico de superficie de respuesta estimada para fracción Luminosidad (L) en mango en función a la temperatura y velocidad de secado, teniendo como valores máximos a 62.5 y 64 de luminosidad.

Se puede apreciar la región óptima de color verde ubicada en la parte superior, de acuerdo al diseño estadístico a una temperatura de 50 °C y una velocidad de secado de 1.624 m/s mediante estas condiciones se logra obtener un valor óptimo de luminosidad de 63.169. Las condiciones analizadas opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color rosado ubicado en la esquina inferior derecha, en el cual se aprecia que la luminosidad es menor, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la luminosidad del mango. Estos hallazgos coincide con lo dicho por Ortega-Quintana et al. (2019) a mayor temperatura menor luminosidad las temperaturas más altas generan oscurecimiento ya que las reacciones de pardeamiento no enzimático son altamente dependientes de la temperatura. A su vez (Guiné y Barroca (2012) encontraron que el color de calabaza y pimiento verde deshidratado por aire caliente disminuye drásticamente cuando la temperatura aumenta. Por otro lado, Kowalski et al., (2013) afirman que la deshidratación osmótica preliminar es un factor que limita significativamente los cambios de color de las muestras secas de remolacha y plátano, pero en la investigación solo se realizó una sola solución de sacarosa, por lo que se afirma que como factor principal en los cambios de color esta la temperatura, que se evidencio cambios en el atributo, mientras menor fue la temperatura de secado mayor claridad o luminosidad presentaran las muestras de mango osmodeshidratado.

La ecuación que describe la superficie de respuesta estimada para la luminosidad con las variables de proceso relevantes se muestra en la ecuación n° 5.

$$\text{Luminosidad} = -24.1244 + 1.69773*\text{temperatura} + 57.1554*\text{velocidad de secado} - 0.0113094*\text{temperatura}^2 - 0.386875*\text{temperatura}*\text{velocidad de secado} - 11.6388*\text{velocidad de secado}^2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 5}$$

Para maximizar el valor de luminosidad se realizó un proceso de optimización, buscando tener un producto con máxima luminosidad y mínima variación con respecto al producto fresco, para ello, se usó el modelo que se presenta en la ecuación 5. Por medio de software Statgraphics centurión. El resultado de este proceso entregó la combinación de valores de los factores para el resultado óptimo en términos de luminosidad, expresado como "deseabilidad óptima". Estos resultados se presentan en la Tabla 3 así como la combinación de los factores temperatura y velocidad de secado. Estos factores maximizan la diferencia de luminosidad sobre la región indicada. Bajo estas condiciones logramos obtener un valor óptimo de 63.169 de luminosidad. Este resultado es similar a los encontrados en mango fresco el cual presenta un color amarillo intenso (61) el cual varía en función al índice de madurez (Zuluaga et al., 2010).

Tabla 3

Condiciones óptimas para la variable luminosidad en mango deshidratado por ósmosis

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	50.0	70.0	50.0
Velocidad de secado	1.0	2.0	1.62433
Deseabilidad			63.169

4.1.1.2. Cromaticidad de verde a rojo (a*). En la tabla 4 se muestra el ANOVA para la variable a*(cromaticidad verde a rojo) muestra una alta significación estadística para el factor en estudio temperatura, puesto que $p = 0.0388$ siendo menor a 0.05 lo cual indica que este factor produce efectos en la muestra, mientras que el valor velocidad de secado y la interacción de los factores no influyen ya que el valor de $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas. Los resultados obtenidos para el parámetro (a*) variaron entre 13.64 y 20.50, siendo valores superiores

a los encontrados en mango fresco (11.08). Sin embargo, para Zuluaga et al. (2010) a^* no presento diferencias significativas en función de la temperatura los resultados reportados fueron 15.19 para mango OD a temperatura de 70 °C este resultado es menor a los encontrados en este estudio para dicha temperatura (18.4 – 20.5), por otro lado (García-Paternina et al. (2015) no reporto diferencias estadísticas para a^* , encontraron valores menores en mango OD (11.76) la diferencia se basa por un lado en la solución de sacarosa y la temperatura empleada en el tratamiento osmótico y en los factores estudiados. La figura 12 muestra que la temperatura de secado está relacionada directamente con el aumento de a^* , debido a que se relaciona con la formación de compuestos de coloración marrón, por otro lado la reducción del color rojo puede estar asociado a la degradación de carotenoide (Ramos et al., 2006). La degradación de carotenoides se acelera cuando la temperatura de tratamiento aumenta, los carotenoides contienen enlaces insaturados por lo que siguen la mismo ruta de oxidación de los lípidos (Mendoza-Corvis et al., 2017). Esta degradación hace que el plano cromático las muestras tengan un desplazamiento hacia el interior al área de los grises y tengan una disminución se la saturación.

Tabla 4

Análisis de Varianza para a (cromaticidad de verde a rojo)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	19.1173	1	19.1173	6.95	0.0388
B: velocidad de secado	0.062526	1	0.062526	0.02	0.8851
AA	1.46768	1	1.46768	0.53	0.4928
AB	0.111389	1	0.111389	0.04	0.8472
BB	1.78488	1	1.78488	0.65	0.4514
Error total	16.515	6	2.75249		
Total (corr.)	40.6792	11			

Figura 11

Efectos principales para la cromaticidad de verde a rojo

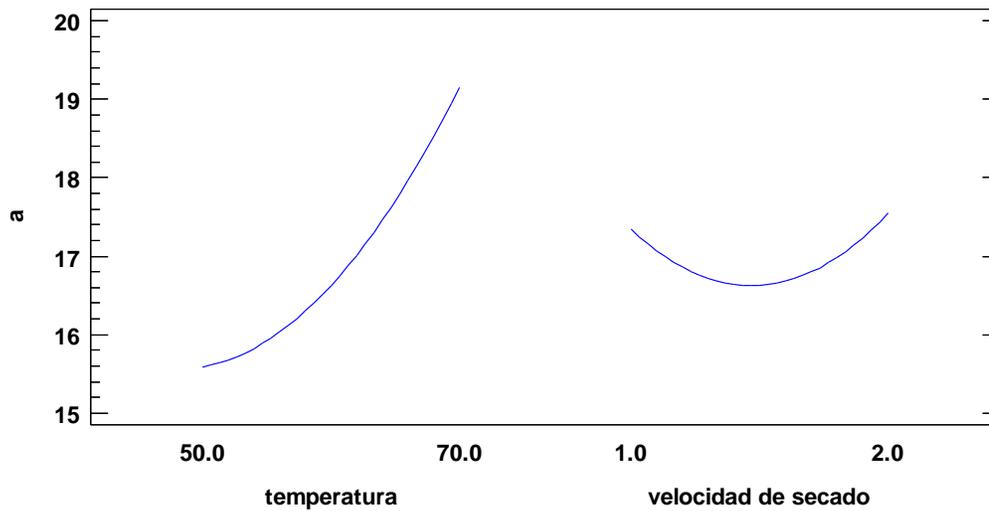
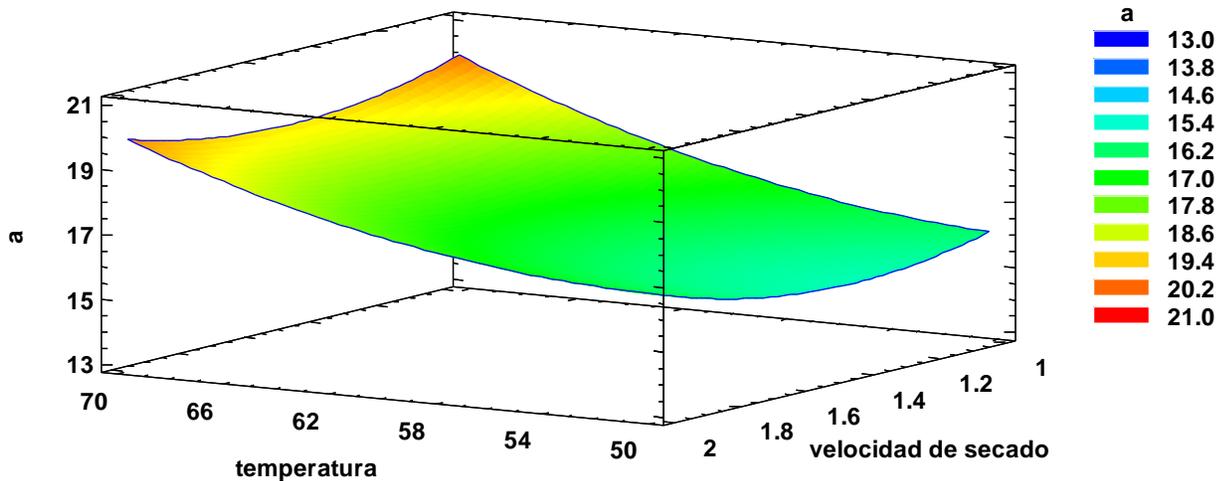


Figura 12

Superficie de respuesta para la variable a^ de verde a rojo en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado*



Se observa el gráfico de superficie de respuesta estimada para cromaticidad verde a rojo (a^*) en mango en función a la temperatura y velocidad de secado, donde se puede apreciar la región óptima entre el color anaranjado y rojo ubicada en la parte superior izquierda, de acuerdo al diseño estadístico a una temperatura de 70 °C y una velocidad de secado de 1 m/s mediante estas condiciones se logra obtener un valor óptimo de cromaticidad a^* (verde a rojo) de 20.038. Bajo las condiciones analizadas opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul ubicado en la esquina inferior derecha, en el cual se aprecia que la cromaticidad a^* (verde a rojo) es menor, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la determinación de la cromaticidad a^* (verde a rojo) del mango. Cuando el parámetro a^* (verde a rojo) aumenta significa que hay una degradación de carotenos (Ramos et al., 2006), por tanto, si se busca muestras menos oscuras es necesario aplicar temperaturas menores a 70 °C. por ejemplo, Encalada (2017) obtuvo mayor aceptación en función al color para mango deshidratado a 65 °C.

Por otro lado Moreno et al. (2012) observaron que la menor disminución del color de fresas osmodeshidratadas se da cuando menor temperatura, además mencionan que cuando los valores de a^* y b^* son mayores es la claridad de las muestras, estos coincide con lo encontrado en esta investigación.

La ecuación que describe la superficie de respuesta estimada para la cromaticidad verde a rojo con las variables de proceso relevantes se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Cromaticidad verde} = 36.6783 - 0.661687 * \text{temperatura} - 7.61083 * \text{velocidad de secado} + 0.00741875 * \text{temperatura}^2 - 0.033375 * \text{temperatura} * \text{velocidad de secado} + 3.2725 * \text{velocidad de secado}^2 \dots \dots \dots (6)$$

Para maximizar el valor de a^* se realizó un proceso de optimización, buscando tener un producto con máxima cromaticidad verde a rojo y mínima variación con respecto al producto fresco, para ello, se usó el modelo que se presenta en la ecuación 6. Por medio de software Statgraphics centurión. El resultado de este proceso entregó la combinación de valores de los factores para el resultado óptimo en términos de a^* , expresado como "deseabilidad óptima". Estos resultados se presentan en la Tabla 5 así como la combinación de los factores temperatura y velocidad de secado. Estos factores maximizan la diferencia de a^* sobre la región indicada. Bajo estas condiciones se logra obtener un valor máximo de 20.038 de a^* que corresponde a una temperatura de 70 °C mientras que el valor mínimo de deseabilidad es 13.64 y corresponde a la temperatura de 50 °C. Este resultado es mayor a los encontrados en mango fresco (11.4-14.75) por (García-Paternina et al., 2015; Zuluaga et al., 2010).

Tabla 5

Condiciones óptimas para la variable cromaticidad de verde a rojo en mango deshidratado por ósmosis

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	50.0	70.0	70.0
Velocidad de secado	1.0	2.0	1.0
Deseabilidad			20.038

4.1.1.3. Cromaticidad de azul a amarillo (b*). Los resultados de la tabla 6 muestra el ANOVA para la variable b* (cromaticidad azul a amarillo) y se observa una alta significación estadística para el factor en estudio temperatura, puesto que $p = 0.0219$ siendo menor a 0.05 lo cual indica que este factor produce efectos en la muestra, mientras que el factor velocidad de secado y la interacción de los factores no influyen ya que el valor de $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas, los hallazgos para el parámetro azul a amarillo (b*) variaron entre 41.29 y 47.95 en función de la temperatura siendo inferiores a los resultados mostrados para mango fresco (54.95). Sin embargo, el factor temperatura al cuadrado y velocidad de secado elevado al cuadrado son significativos lo que indica que hay una curvatura en la figura 13. De igual manera Zuluaga et al., (2010) encontraron diferencias significativas entre pretratamientos y temperaturas, reportando un valor mayor de b* para las muestras deshidratadas a 60 °C y sin pretratamiento, el mango fresco presenta un color amarillo intenso que al aplicarlo un secado este parámetro disminuye. A su vez Mendoza-corvis et al. (2015) la variación del parámetro b* podría deberse a la degradación de los pigmentos presentes en la pulpa de mango, los carotenoides confieren el color amarillo, estos al degradarse producto de la oxidación reducen la coloración amarilla. Zou et al. (2013) encontraron

que los chips de mango tratados osmóticamente produjeron colores similares al mango fresco, concluyendo que el pretratamiento osmótico tuvo un efecto protector general sobre el color, esto se debe a que el **MONOSACÁRIDO** presente en el tejido del mango se reduce, que sirve como sustancia reactiva importante para las reacciones de pardeamiento. La desactivación de la polifenol oxidasa se logra con temperaturas superiores a 50 °C, pero se puede generar un color marrón amarillento (Martinez y Whitaker, 1995, como se citó en Guiamba et al., 2016), . Así mismo, Guiamba et al. (2016) en su estudio encontraron un color ligeramente más oscuro en mango osmodeshidratado secado a 70 °C en comparación con mango fresco, debido posiblemente a la reacción de Maillard provocado por la presencia de azúcar y por la oxidación que puede ocurrir durante el secado con aire caliente. Por otro lado Alvis-Bermudez et al. (2016) mencionan que los tratamientos sometidos a OD en general obtienen un brillo y solidez en el color amarillo por lo que resulta ser más adecuada, cuando el tiempo de secado se prolonga y la temperatura aumenta mayor es la pérdida de pigmentos en los alimentos. Por su parte Vásquez-Caicedo et al. (2006) demostraron que el pretratamiento osmótico favorece la retención de los pigmentos por formación de la corteza de jarabe y la caramelización en la superficie de la hojuela de mango. Esto coincide con lo encontrado en esta investigación las muestra OD obtuvieron valores mayores de b* en comparación con mango fresco.

Tabla 6

Análisis de Varianza para b (cromaticidad de azul a amarillo)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	53.1037	1	53.1037	9.44	0.0219
B: velocidad de secado	9.48784	1	9.48784	1.69	0.2417
AA	174.582	1	174.582	31.03	0.0014
AB	7.33733	1	7.33733	1.30	0.2970
BB	74.942	1	74.942	13.32	0.0107
Error total	33.7564	6	5.62607		
Total (corr.)	298.613	11			

Figura 13

Efectos principales para b Cromaticidad azul a amarillo

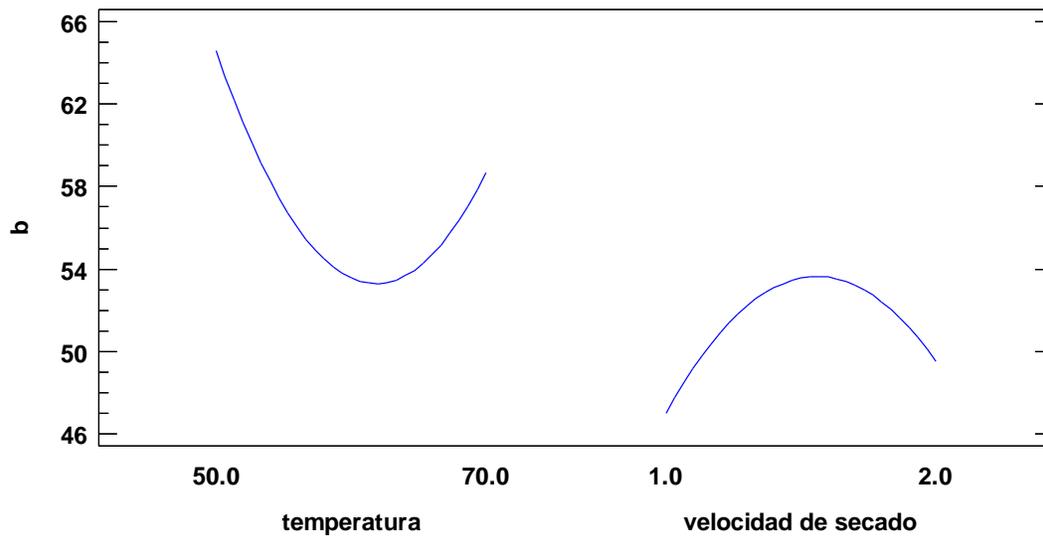
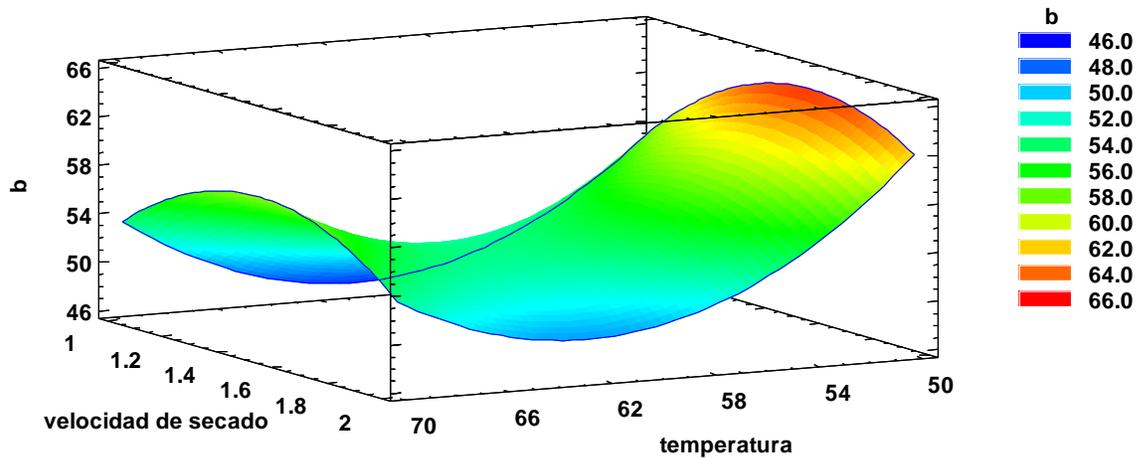


Figura 14

Superficie de respuesta para la variable b^ azul a amarillo en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado*



Podemos apreciar la región óptima de color entre anaranjado y rojo en el lado superior derecho, donde se logra aumentar al máximo la cromaticidad azul a amarillo (b^*) en el mango, estas condiciones analizadas mediante el modelo arrojado por el diseño estadístico indican que se dan con una temperatura de 50 °C y una velocidad de secado de 1.623. Bajo estas condiciones se puede lograr maximizar la cromaticidad azul a amarillo (b^*) de mango hasta un valor óptimo de 64.943. Opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul en la parte inferior, en el cual se aprecia que la cromaticidad azul a amarillo (b^*) alcanza valores más bajos, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la cromaticidad azul a amarillo (b^*) en el mango.

La ecuación que describe la superficie de respuesta estimada para la cromaticidad b^* con las variables de proceso relevantes se muestra en la siguiente ecuación:

$$b = 286.828 - 9.60069 \cdot \text{temperatura} + 82.3825 \cdot \text{velocidad de secado} + 0.0809125 \cdot \text{temperatura}^2 - 0.270875 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{velocidad de secado} - 21.205 \cdot \text{velocidad de secado}^2 \dots\dots\dots(7)$$

Para maximizar el valor de b* se realizó un proceso de optimización, buscando tener un producto con máxima cromaticidad azul a amarillo y mínima variación con respecto al producto fresco, para ello, se usó el modelo que se presenta en la ecuación 7. Por medio de software Statgraphics se realizó la optimización. El resultado de este proceso entregó la combinación de valores de los factores para el resultado óptimo en términos de b*, expresado como "deseabilidad óptima". Estos resultados se presentan en la Tabla 7 así como la combinación de los factores temperatura y velocidad de secado. Estos factores maximizan la diferencia de b* sobre la región indicada. Bajo estas condiciones se logra obtener un valor máximo de 64.943 de b* que corresponde a una temperatura de 50 °C, y una velocidad de secado de 1.623 m/s mientras que el valor mínimo de deseabilidad es 46.285 y corresponde a la temperatura de 60 °C. Este resultado es mayor a los encontrados en mango fresco (57.02 - 61.35) por (García-Paternina et al., 2015; Zuluaga et al., 2010).

Tabla 7

Condiciones óptimas para la variable cromaticidad de azul a amarillo en mango deshidratado por ósmosis

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura	50.0	70.0	50.0
Velocidad de secado	1.0	2.0	1.62317
Deseabilidad			64.943

4.1.2. Evaluación de la Textura

El análisis de ANOVA no determinó diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre tratamientos para textura (fuerza de fractura), es decir ningún factor produce efectos en la fuerza de fractura de los cubos de mango OD tal como se observa en la tabla 8, el valor de la fuerza de fractura para mango OD vario entre 137.64 y 142.80 N, mientras que el mango fresco obtuvo un valor de 6.76 N. Sin embargo, Zuluaga et al. (2010) reportaron diferencias estadísticas entre tratamientos y temperaturas de secado en mango OD, el cual presento una fuerza de fractura entre 115 y 140 N, además mencionan que la fuerza de fractura aumenta cuando la temperatura de secado es mayor, estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo con un tratamiento osmótico de 40°Brix. Wang et al. (2023) compararon muestras frescas con muestras con DO de rodajas de durazno y obtuvieron aumento significativo en las muestras pretratadas y deshidratadas debido a la perdida de agua y destrucción del tejido celular ocasionado por la OD.

Tabla 8

Análisis de Varianza para Textura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	0.02535	1	0.02535	0.00	0.9462
B: velocidad de secado	0.00806667	1	0.00806667	0.00	0.9696
AA	1.33128	1	1.33128	0.26	0.6283
AB	0.507656	1	0.507656	0.10	0.7635
BB	1.21838	1	1.21838	0.24	0.6430
Error total	30.7145	6	5.11908		
Total (corr.)	33.1687	11			

Figura 15

Efectos principales para Textura (fuerza de fractura)

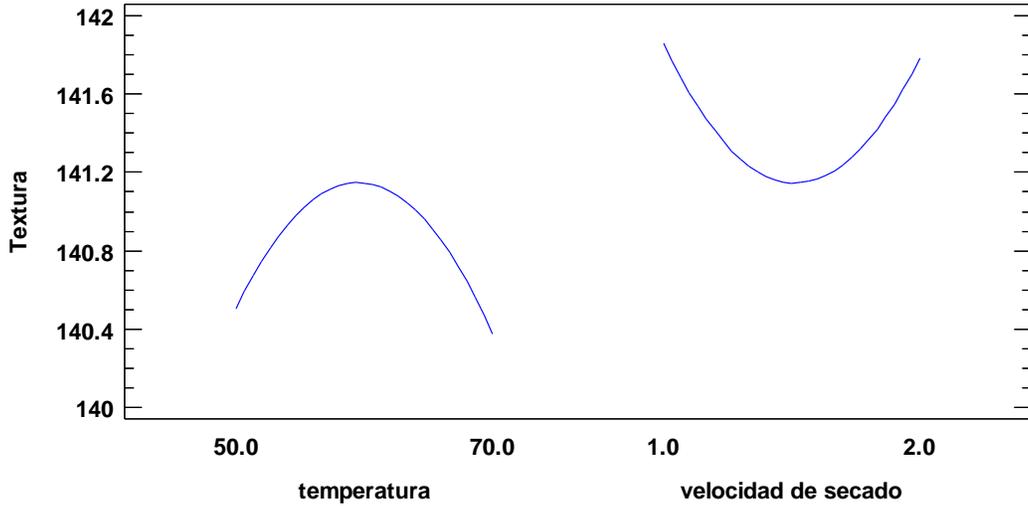
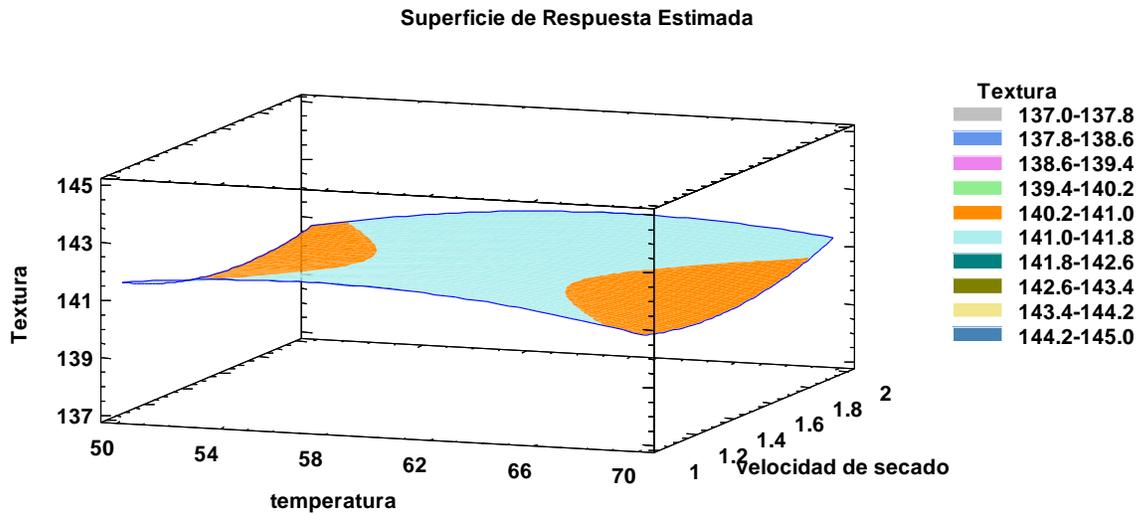


Figura 16

Superficie de respuesta para textura (fuerza de fractura) en la DO de mango en función de temperatura y velocidad de secado predicho por la ecuación 8.



Se aprecia la región óptima de color entre anaranjado y rojo en el lado superior, donde se logra aumentar al máximo la textura (fuerza de fractura) en el mango, estas condiciones analizadas mediante el modelo arrojado por el diseño estadístico indican que se dan con una temperatura de 57 °C y una velocidad de secado de 1 m/s. Bajo estas condiciones se puede lograr maximizar la textura de mango hasta un valor óptimo de 141.92 N. Encalada (2017) encontró diferencias significativas para la variable textura, siendo el tratamiento a 55 °C con un grosor de 4 mm es el más aceptado mediante la evaluación sensorial, por lo que afirman que cuando mayor es la temperatura y menor es el grosor de las muestras presentan mejor textura. Pero, Guiné y Barroca (2012) encontraron que el aumento de la temperatura de secado de 30 °C a 70 °C reduce la dureza y la masticabilidad, y mantiene la elasticidad y cohesión de calabazas secas y pimiento verde. Los cambios de la textura durante el secado se dan porque el alimento fresco que normalmente está compuesto por agua, durante el proceso gran parte de esta se evapora y con ello se gana sólidos dando paso a un alimento más rígido (Guiné y Barroca, 2012). Por otro lado, Núñez (2018), en su investigación encontró que para obtener la textura óptima de cada rodaja de yacón se necesitó carga máxima de 1913.06 g. con concentración de 20 °Brix aplicando temperatura de 49.99 °C y presión de 101.887 mbar, cabe resaltar que los niveles de temperatura empleado en el experimento fue 30, 40 y 50 °C, por tanto se afirma que cuando mayor es la temperatura mayor es la fuerza de fractura.

La ecuación que describe la superficie de respuesta estimada para la textura (fuerza de fractura) con las variables de proceso relevantes se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Textura} = 128.706 + 0.7345*\text{temperatura} - 12.4596*\text{velocidad de secado} - 0.00706563*\text{temperatura}^2 + 0.07125*\text{temperatura*velocidad de secado} + 2.70375*\text{velocidad de secado}^2 \dots\dots\dots (8)$$

Para maximizar el valor de textura (fuerza de fractura) se realizó un proceso de optimización, buscando tener un producto con máxima (fuerza de textura), para ello, se usó el modelo que se presenta en la ecuación 8. Por medio de software Statgraphics centurión. El resultado de este proceso entregó la combinación de valores de los factores para el resultado óptimo en términos de textura expresado como "deseabilidad óptima". Estos resultados se presentan en la Tabla 9 así como la combinación de los factores temperatura y velocidad de secado. Estos factores maximizan la diferencia de textura sobre la región indicada. Bajo estas condiciones se logra obtener un valor máximo de fuerza de fractura 141.92 N que corresponde a una temperatura de 57 °C, y una velocidad de secado de 1 m/s mientras que el valor mínimo de deseabilidad es 137.65 N y corresponde a la temperatura de 60 °C.

Tabla 9

Condiciones óptimas para la variable textura (fuerza de fractura) en mango deshidratado por ósmosis

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	50.0	70.0	57.0167
Velocidad de secado	1.0	2.0	1.0
Deseabilidad			141.922

CAPITULO V

5.1. Conclusiones y Recomendaciones

5.1.1. Conclusiones

La temperatura afecto significativamente ($p < 0.05$) al color de los cubos de mango deshidratado por osmosis y aire caliente, mostrando valores óptimos de los parámetros L^* a^* y b^* (63.169, 20.038 y 64.943) a temperatura de 50 °C, disminuyendo los valores de estos parámetros al aplicar temperaturas superiores a esta. Mientras que la textura no se vio afectada significativamente ($p > 0.05$) por la temperatura de deshidratación, el mango deshidratado por osmosis con pretratamiento tuvo una fuerza de fractura entre 137.648N y 144.340 N.

La velocidad de aire (1, 1.5 y 2 m/s) en la deshidratación por ósmosis de cubos de mango no afecto significativamente a los parámetros del color (L^* , a^* y b^*) y a la textura del producto final.

5.1.2. Recomendaciones

Realizar evaluación sensorial al producto para tener más criterios de selección de la temperatura en el proceso de deshidratación de mango.

Combinar la deshidratación osmótica con otras técnicas de secado, por ejemplo, el secado por convección para determinar las características fisicoquímicas y sensoriales de mango.

Aplicar otros agentes osmóticos como por ejemplo miel de abeja, stevia, sucralosa, para determinar la variación de las características fisicoquímicas de mango.

Evaluar la rehidratación de las muestras para su uso posterior en la formulación de alimentos.

CAPITULO VI

6.1. Bibliografía

- Albors Sorolla A.M., Andrés Grau A.M., Barat Baviera J.M., Fito Maupoey P. 2001. “Introducción al Secado por aire caliente”. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Alvis-Bermudez, A., García-Mogollon, C., & Dussán-Sarria, S. (2016). Cambios en la textura y color en mango (Tommy Atkins) pre-secado por deshidratación osmótica y microondas. *Informacion Tecnologica*, 27(2), 31–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200005>
- Aparicio, J. J., & Díaz, J. P. (2015). Sistema de producción del cultivo de mango en el Municipio de Irupana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 98–104.
- Encalada Rojas, H. J. (2017). Efecto de la temperatura y el espesor en el proceso de deshidratado de mango (mangifera indica L.) variedad Kent. *Universidad Católica Sedes Sapientiae. Perú*, 1–115.
http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/302/Encalada_Hilton_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, L. (2018). Osmotic dehydration and hot air drying on mango, guava and lemon to obtain functional ingredients. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 197–204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300197>
- García-Paternina, M., Alvis-Bermudez, A., & García-Mogollon, C. A. (2015). Evaluación de los Pretratamientos de Deshidratación Osmótica y Microondas en la Obtención de Hojuelas de Mango (Tommy Atkins). *Información Tecnológica*, 26(5), 63–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500009>

- Guiamba, I., Ahrné, L., Khan, M. A. M., & Svanberg, U. (2016). Retention of β -carotene and vitamin C in dried mango osmotically pretreated with osmotic solutions containing calcium or ascorbic acid. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.010>
- Guiné, R. P. F., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.003>
- Kowalski, S. J., Łechtańska, J. M., & Szadzińska, J. (2013). Quality aspects of fruit and vegetables dried convectively with osmotic pretreatment. *Chemical and Process Engineering - Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, 34(1), 51–62. <https://doi.org/10.2478/cpe-2013-0005>
- Mendoza-Corvis, F. A., Arteaga-Márquez, M. R., & Pérez-Sierra, O. A. (2017). Degradación de la vitamina C en un producto de mango (*Mangifera indica* L.) y lactosuero. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 125–137. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:563
- Mendoza-corvis, F. A., Hernández, E. J., & Ruiz, L. E. (2015). Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (*Mangífera indica* var *magdalena river*). *Información Tecnológica*, 26(3), 9–16. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300003>
- Moreno, J., Simpson, R., Baeza, A., Morales, J., Muñoz, C., Sastry, S., & Almonacid, S. (2012). Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmodehydration kinetics and microstructure of strawberries (cv. Camarosa). *Lwt*, 45(2), 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.010>
- Instituto Nacional de Calidad (2020). Norma Técnica peruana para mango dehisfratado (NTP

- 011.010:2002). <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/310683-inacal-aprobo-norma-tecnica-peruana-para-promover-estandares-de-calidad-en-el-mango-fresco>
- NÚÑEZ MEJÍA, E. M. de los A. (2018). *GANANCIA DE SÓLIDOS, PÉRDIDA DE AGUA Y TEXTURA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL YACÓN (Smallanthus sonchifolius) EVALUADO A DIFERENTES PRESIONES Y TEMPERATURAS.*
- Ortega-Quintana, F. A., Montes-Montes, E. J., Pérez-Sierra, O. A., & Vélez-Hernández, G. I. (2019). Efecto de la Deshidratación Osmótica y la Temperatura sobre el Color y la Fuerza Máxima de Fractura de Rodajas de Yuca en Freído por Inmersión. *Información Tecnológica*, 30(1), 311–320. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000100311>
- Ramos, R., Regazzi, A., Minim, V., & Stringueta, P. (2006). Almacenamiento de mando secado: análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(5), 214–225.
- Urfalino-Rodríguez, D. P., & Werlock-Hughes, J. (2015). Evaluación del color en pulpa de tomates deshidratados dulces para la elaboración de confituras. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 131. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21892>
- Vásquez-Caicedo, A. L., Heller, A., Neidhart, S., & Carle, R. (2006). Chromoplast morphology and β -carotene accumulation during postharvest ripening of mango Cv. “Tommy Atkins.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5769–5776. <https://doi.org/10.1021/jf060747u>
- Wang, F., Lyu, J., Xie, J., & Bi, J. (2023). Texture formation of dehydrated yellow peach slices pretreated by osmotic dehydration with different sugars via cell wall pectin polymers modification. *Food Hydrocolloids*, 134(May 2022), 108080. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108080>

Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X., & Wei, B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *Lwt*, *51*(1), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.005>

Zuluaga, J. D., Cortes-Rodríguez, M., y Rodríguez-Sandoval, E. (2010). Evaluación De Las Características Físicas De Mango Deshidratado Aplicando Secado Por Aire Caliente Y Deshidratación Osmótica. *Revista de La Facultad de Ingeniería U.C.V*, *25*(4), 127–135. <http://www.revistadelafacultaddeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/viewFile/334/3>

34

CAPITULO VII

7.1. Anexos

Anexo 1. Datos experimentales

Temperatura (°C)	Velocidad de secado (m/s)	L*	a*	b*	Textura
		Luminosidad	verde - rojo	azul - amarillo	N
50	1	52.55	15.750	38.01	141.913
60	1	54.11	17.573	41.1475	142.175
70	1	53.9225	20.193	41.905	140.078
50	1.5	58.3275	15.908	47.955	140.948
60	1.5	48.25	18.738	41.31	137.648
70	1.5	49.305	18.400	41.81	142.803
50	2	55.755	16.733	43.8	140.008
60	2	48.66	16.888	42.5275	144.340
70	2	49.39	20.508	42.2775	139.598
60	1.5	53.1475	16.743	47.6225	141.458
60	1.5	50.9825	17.823	42.0525	142.118
60	1.5	57.1025	13.640	41.295	140.495

Anexo 2. Panel de fotográfico





Muestras deshidratadas por osmosis y aire caliente



Acondicionamiento de muestras deshidratadas por osmosis a temperatura constante de 20°C en incubadora



Determinación de la textura en mango deshidratado por osmosis y aire caliente