

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La piña deshidratada es una fruta sometida a un proceso de desecación y deshidratación. La piña deshidratada no pierde sus nutrientes, sino que se concentran. Aporta hidratos de carbono, vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra.

La deshidratación por osmo-convección es la combinación de dos métodos para la remoción y reducción de agua presente en el alimento, alargando su vida de anaquel.

1.1.1. Conservación de los alimentos

Cuando se habla de alimentos, existe la idea y el cuidado siempre latente de salvaguardar de mejor manera estos, es bien sabido que un mal manejo de los mismos, no contar con las medidas de correcta manipulación, mal almacenamiento y diversos factores alteran la calidad de los alimentos que consumimos, en la piña es común que presenten los agentes físicos por el tipo de manipulación que hay en el transcurso de su cosecha hasta el punto de venta, en caso de los agentes químicos es posible que se presente en la elaboración de rodajas deshidratadas de piña en el proceso de secado de las rodajas para ello se estudia más adelante el tratamiento para evitar cualquier pardeamiento y enranciamiento.

Dentro de estas causas más comunes se pueden nombrar las presentadas en el cuadro a continuación:

Figura 1- 1 Causas del deterioro de alimento

Agentes Físicos	Mecánicas	
	Temperatura	
	Humedad	
	Aire	
	Luz	
	Etc.	
Agentes Químicos	Pardeamiento	
	Enranciamiento	
	Etc.	
Agentes biológicos	Enzimáticos	
	Parásitos	
	Microorganismos	Bacterias
		Hongos
Levaduras		

Fuente: Juliarena & Gratton (2012)

Juliarena y Gratton (2012) nos señalan de qué manera estos agentes afectan a la preservación de los alimentos:

Los agentes físicos

- a) *Las mecánicas, como golpes, cortes, en general sin alteraciones graves, pero que suponen una disminución de la vida útil del alimento.*
- b) *La temperatura, ya que las actividades químicas y enzimáticas doblan su velocidad cada 10°C, y por lo tanto aceleran los procesos de descomposición. Asimismo, encontramos nutrientes especialmente sensibles al calor (algunas vitaminas), el cual propicia los cambios de estado de emulsiones o mezclas que contengan agua, al facilitar su desecación.*
- c) *La humedad, facilita el desarrollo de microorganismos.*
- d) *El aire, que por contener oxígeno puede alterar algunas proteínas produciendo cambios de color, facilitando la oxidación, etc.*
- e) *La luz, que afecta el color y a algunas vitaminas.*

Los agentes químicos

- a) *Pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard. Se incluyen aquí una serie de reacciones complejas entre azúcares y compuestos nitrogenados (proteínas), las cuales generan pigmentos marrones. En algunos casos se producen de manera tecnológica (fritos y tostados), pero en otras es espontáneo. El calor y la desecación lo favorecen.*
- b) *Enranciamiento de lípidos, que se produce por reacciones de hidrólisis y oxidación. Se forman compuestos volátiles que dan olores y sabores característicos (a rancio). El enranciamiento es más frecuente en grasas insaturadas (aceite, pescados y frutos secos)*

Los agentes biológicos

- a) *Enzimáticos: algunas enzimas sobreviven a los propios organismos, pudiendo incluso aumentar su actividad. Algunas enzimas cambian la textura de los alimentos (maduración de frutos o reblandecimiento de carne), pero pueden acabar*

provocando su descomposición. El rigor mortis de los animales, por ejemplo, es debido a cambios enzimáticos ocurridos al faltar la circulación sanguínea y por lo tanto la oxigenación necesaria para el metabolismo aerobio.

- b) Parásitos o competidores naturales, como insectos, roedores y pájaros, que compiten directamente por la obtención de alimento.*
- c) Microorganismos: Son sin duda los que producen las transformaciones más indeseadas y abundantes. En algunos casos pueden suponer riesgos para la salud de las personas, siendo las infecciones microbianas el problema más grave de la alimentación humana, después del hambre y la sobrealimentación. Cabe destacar que, sin embargo, no todos los efectos son negativos, pues diversos alimentos son producidos total o parcialmente por ellos: los alimentos fermentados. En algunas ocasiones, los microorganismos ya se encuentran en el alimento, en otras, son oportunistas que se encuentran de diversas maneras en el medio que nos rodea (aire, agua, etc.) Entre los más perjudiciales están las bacterias, tanto por su abundancia como por su elevada tasa de reproducción. Pueden producir toxinas (*Clostridium*) o ser infecciosas por ellas mismas (*Salmonella*, *Listeria*). Otro grupo son los mohos, importantes por la producción de toxinas y por su resistencia a las condiciones más extremas; finalmente, las levaduras, con las transformaciones rápidas más relevantes desde el punto de vista fermentativo. Hoy en día es bastante común la idea de adquirir productos deshidratados por diversos motivos, sea por la facilidad de consumir los mismos, el almacenamiento sin riesgos de pérdida, la facilidad para combinarlos con otros alimentos, o bien por el simple hecho de hallar en ellos un sabor distinto al que comúnmente se encuentra en los productos frescos. (Juliarena & Gratton, 2012)*

Sin embargo, existen diversas formas para tratar con este deterioro de los alimentos, entre los más comunes, y como Terra Food Tech (s.f.) señala: están los métodos de conservación a bajas temperaturas, a altas temperaturas y los que modifican su cantidad de agua. (Juliarena & Gratton, 2012)

1.1.2. Métodos de conservación a bajas temperaturas

Refrigeración

Técnica de conservación mediante neveras y que consiste en disminuir la temperatura entre los 0 - 5°C, para que las bacterias que están en los alimentos tarden en proliferar y las enzimas propias de los alimentos trabajen más lentamente. (Terra Food Tech, s.f)

Congelación

Similar al anterior, pero con una reducción de la temperatura a -18°C, para que el agua del alimento se convierta en hielo y las bacterias, al no disponer de agua líquida, no proliferen. Eso no significa que las erradiquemos, pero sí que conseguimos que no se desarrollen. (Terra Food Tech, s.f)

Ultracongelación

Consiste en someter al alimento a unas temperaturas inferiores a -40°C durante un breve periodo de tiempo, 2 horas como máximo, para luego mantenerlos en congelación normal. (Terra Food Tech, s.f)

1.1.3. Métodos de conservación a altas temperaturas

Escaldado o ebullición

No es un método de conservación en sí. Suele ser el paso previo a la congelación, especialmente para los vegetales. Las verduras se sumergen en agua hirviendo unos segundos para primero eliminar todos los posibles patógenos de la superficie y después congelarlas. (Terra Food Tech, s.f)

Esterilización

La esterilización es un procedimiento que consiste en someter un alimento envasado herméticamente a altas temperaturas durante un cierto período de tiempo con el fin de destruir al completo los posibles microorganismos, patógenos o no, y sus esporas. Podemos esterilizar todo tipo de carne, pescado, verduras y frutas. En mermeladas, almíbares, escabeche, cremas, sopas, salsas y guisados entre otros. (Terra Food Tech, s.f)

Pasteurización

A diferencia de la esterilización, en la pasteurización se aplican temperaturas más bajas, por debajo de los 100°C, y no se consigue la eliminación total de los microorganismos ni tampoco de las esporas. Sobre todo, se pasteuriza la leche y sus derivados, los zumos aromatizados y las cervezas, pero también platos preparados y salsas. (Terra Food Tech, s.f)

1.1.4. Métodos de conservación modificando su cantidad de agua

Deshidratación

Es la extracción total o parcial del contenido de agua de un alimento mediante la aplicación de calor.

La deshidratación es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos a través de la historia; es una de las formas más antiguas de procesar alimentos. Consiste en eliminar una buena parte de la humedad (agua) de los alimentos, mediante el tratamiento del producto por calor artificial (aire previamente calentado, superficies calientes, etc.) para que no se arruinen. (InfoAlimentos, 2022)

Desecado

Método tradicional que se basa en conseguir que el alimento pierda su humedad exponiéndolo a las condiciones ambientales naturales, en especial al sol, para que pierda la mayor parte de su agua por evaporación. Entre los productos que se obtienen por este método tenemos la mojama, el bacalao seco o las pasas, entre otros. (Terra Food Tech, s.f)

Liofilización

Consiste en someter el producto a una congelación muy rápida (inferior a -30°C) para después calentarlo en condiciones de vacío y así eliminar el agua. Lo que se consigue es que se pase de sólido (hielo) a gas (vapor) por sublimación, es decir, sin pasar por líquido. (Terra Food Tech, s.f)

Concentración

Al eliminar parte del agua del alimento, los azúcares o la sal se concentran dando como resultado sabores más pronunciados y una bajada de la actividad del agua o, lo que es lo mismo, del agua disponible para los microorganismos. (Terra Food Tech, s.f)

1.1.5. Productos deshidratados

En cuanto al método de preservación que modifica la cantidad de agua de los alimentos, tenemos a la deshidratación, a decir verdad, los alimentos deshidratados se hallan registrados en las culturas de Oriente Medio y las culturas asiáticas, puesto que estas deshidrataban los alimentos desde el 12 000 a. C. Ya para el 2800 a. C., los antiguos egipcios solían practicar el secado del pescado, aves, dátiles y pasas con el fin de almacenarlas por largos periodos de tiempo. En México y Perú, durante la Edad Media (entre 630 d. C. y 1630 d. C.), las hojas y frutos de cacao se secaban al sol. (Flora, 2021)

Es posible deshidratar: carnes, pescados, frutas, verduras, hierbas aromáticas, te, café, azúcar, sopas, comidas ya cocinadas, pre-cocinados, especias, etc. Esto también se presenta como la solución para quienes tienen su propio huerto, cuando se presentan excedentes de tomates, calabacines, manzanas, ciruelas, etc., al deshidratar esos excedentes dispondrán de sus propios productos cuando escasean. También es una económica solución para aquellas personas que les gusta consumir productos de calidad en cualquier época del año, se compran baratos en el mercado en plena temporada los deshidratan y los consumen en cualquier época del año. (Mollins, 2012)

Figura 1- 2 Productos deshidratados



Fuente: Mollins (2012)

1.1.6. Secado por convección

El proceso de secado modifica el contenido de agua del alimento, así también sus características fisicoquímicas y nutricionales. No obstante, con adecuados parámetros, estas reacciones y cambios fisicoquímicos pueden ser controladas y brindar un alimento con alto contenido en nutrientes, aumentando significativamente su vida comercial.

Método por el cual se trabajó en el presente trabajo de investigación, la deshidratación de las rodajas de piña complementando la elaboración del producto deshidratado por medio del secado por convección, de esta manera obtener los resultados que caracteriza a un alimento deshidratado.

La deshidratación por convección utiliza gases calientes, los cuales ingresan en contacto directo con el sólido húmedo y transfieren calor por convección, arrastrando afuera del secador los vapores producidos. Barat, et al (2016), menciona que la deshidratación por convección, es un proceso que reduce el agua contenida en los alimentos por medio del calor a través de la evaporación, lo que disminuye una posible proliferación microbiana. Cuando se usan altas temperaturas, en el secado de frutas y vegetales por convección, se ven afectadas las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto. (Palacios-Parra, 2020)

1.1.7. Situación internacional

El mercado de frutas secas o deshidratadas viene ganando aceptación en los mercados pues es un producto fácil de empaquetar y almacenar, y además evita el deterioro a diferencia de las frutas frescas. Las frutas secas se vienen aplicando como ingrediente en diferentes líneas de productos como productos lácteos, confitería, cereales para el desayuno, postres, panaderías, etc.

Según Global Industry Analysts (GIA), una empresa de investigación de mercados, las frutas deshidratadas se están convirtiendo en un producto de gran potencial de exportación en muchos mercados. El estudio indica que al año 2020 el consumo mundial de frutas deshidratadas crecería a 4 millones de toneladas. (Solano, 2019)

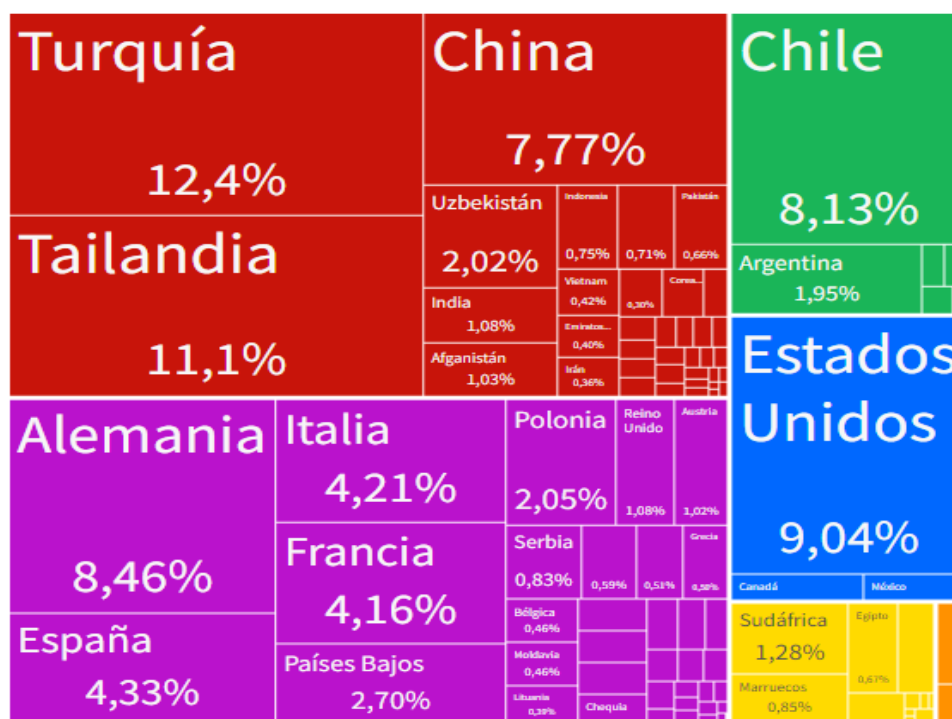
En 2020, las frutas secas fueron el producto número 654 más comercializado en el mundo, siendo comercializado por un total de \$2,5MM. Entre 2019 y 2020 las exportaciones de

frutas secas crecieron en un 4,22%, desde \$2,4MM a \$2,5MM. El comercio de frutas secas representa 0,015% del total de comercio mundial. (OEC, 2020)

En 2020, los principales exportadores de frutas secas fueron Turquía (\$311M), Tailandia (\$278M), Estados Unidos (\$226M), Alemania (\$212M), y Chile (\$203M). (OEC, 2020)

En 2020, los principales importadores de Frutas secas fueron China (\$267M), Estados Unidos (\$241M), Alemania (\$232M), Reino Unido (\$155M), y Francia (\$121M). (OEC, 2020). Estos números se pueden apreciar de mejor manera en las siguientes figuras.

Figura 1- 3 Principales países exportadores de frutas secas



Fuente: OEC (2020)

Figura 1- 5 Frutas en el mercado nacional



Fuente: Urgentebo (2022)

En Bolivia se aplican métodos ecológicos y artesanales, desde el inicio del proceso de deshidratación hasta el empaque final, conservando las cualidades nutricionales naturales de las frutas como: el durazno, papaya, mango, manzana, kiwi y banano. La producción, de frutas secas, es un ejemplo de la gran capacidad productiva que tiene los valles de Cochabamba, Tarija, parte de Santa Cruz y la región de Alto Beni en el departamento de La Paz. El potencial de diferenciación con que cuentan estos productos cien por cien ecológicos los hace únicos en los mercados nacional e internacional. (Instituto Boliviano de Comercio Exterior, 2009)

Las partidas arancelarias para la exportación de Frutas secas están ubicadas en el capítulo 08.13 en la nomenclatura NANDINA:

- 0813.10.00.00 Damascos (albaricoques, chabacanos)
- 0813.20.00.00 Ciruelas
- 0813.30.00.00 Manzanas
- 0813.40.00.00 Las demás frutas u otros frutos
- 0813.50.00.00 Mezclas de las frutas u otros frutos, secos

En la gestión 2008 se registraron exportaciones de Frutas secas por un monto aproximado de 132 mil dólares con un volumen de 67,5 toneladas. Los principales mercados fueron: España, Estados Unidos, Alemania, Australia, y Argentina según orden de importancia.

Existen dos canales de distribución definidos para este sector: el consumidor final y la industria de procesamiento de alimentos, puesto que utilizan las frutas deshidratadas como materia prima para la elaboración de cereales para el desayuno o en la pastelería. La idea visionaria de empresarios nacionales de deshidratar frutas, empieza a gustar y consumirse con mayor preferencia en los departamentos que integran el eje central del país (Santa Cruz, Cochabamba y La Paz). Respecto a los mercados internacionales la Unión Europea es el importador más importante de Frutas secas o deshidratadas. (Instituto Boliviano de Comercio Exterior, 2009).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Elaborar experimentalmente rodajas de piña deshidratada por método combinado de: osmodeshidratación y secado convectivo, con el fin de obtener un producto de buena calidad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la piña que se empleará para la deshidratación osmótica.
- Efectuar los ensayos experimentales para optimizar las variables de operación en la deshidratación osmótica y secado convectivo.
- Seleccionar la muestra ganadora “el mejor tratamiento combinado” mediante paneles de cata tomando en cuenta los atributos: color, aroma y sabor.
- Realizar el análisis físico químico del producto seleccionado como mejor tratamiento combinado resultado de la cata.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1. Justificación tecnológica

Poner a disposición la información técnica con parámetros precisos para los futuros proyectos de industrias; esta nueva tecnología de conserva, es una alternativa viable de industrialización, que cuenta con baja inversión inicial de equipos para el aprovechamiento de la materia prima.

La carrera de ingeniería química cuenta con la infraestructura física y laboratorios implementados para el desarrollo de las actividades planteadas en este proyecto de investigación, de esta forma se asegura el cumplimiento del objetivo general con la finalidad de mejorar las características sensoriales y conservación de la piña para su comercialización.

1.3.2. Justificación económica

La producción de rodajas de piña deshidratada es una alternativa viable en nuestro país, puesto que permite que parte de la comercialización de piña en fresca, sea orientada a su comercialización con mayor valor agregado en la presentación de fruta deshidratada, esto

mejora el ingreso de los agricultores involucrados en su producción favoreciendo al crecimiento económico de los productores y proceso, generaría un producto innovador en el mercado local; permitiendo al consumidor contar con un producto de calidad nutricional y con mayor tiempo de vida útil a precios accesibles y refuerza la tendencia actual enfocada al consumo de alimentos saludables para la población. Para ello, se utilizó la piña, por presentar dificultades en su consumo debido a su sabor ácido y la cantidad que se desperdicia y la falta de consumo inmediato.

1.3.3. Justificación social

El proyecto es beneficioso para los productores de piña porque se busca que logren un producto derivado de su materia prima con mejores características sensoriales y por ende con una mayor posibilidad competitiva, de esta forma se contribuye con el mercado en general, puesto que se espera que los consumidores tengan al alcance un producto saludable y sensorialmente agradable sin dejar de lado que ofrece la disponibilidad de datos reales a nivel laboratorio para llevar a un determinado grupo de personas a la ejecución mediante la cual incentiva a emprender.

1.3.4. Justificación ambiental

La deshidratación de rodajas de piña por osmodeshidratación y secado convectivo no causa daño al medio ambiente se establece que se evitaría el desecho y desperdicio de piñas frescas. Por otra parte, las cantidades de residuo de la materia prima genera subproductos en el proceso como: elaboración de harinas, pectina y licor a partir de cascara y corazón de la piña aprovechando la composición y sus propiedades.

En algún punto el proyecto se trabajó conjuntamente con otro proyecto para aprovechar el residuo de la cáscara de piña que corresponde a un proyecto de grado que tiene por nombre: elaboración de harina de cáscara de piña como fuente de fibra dietética.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADAS

Son rodajas de piña sin el centro (corazón) sometidas a un proceso de desecación y deshidratación, no pierde sus nutrientes, sino que se concentran, aporta hidratos de carbono, vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra; es un producto con grandes beneficios para el organismo, es un producto muy versátil. Tiene vitaminas, minerales, fibra y enzimas como la bromelina, que son buenas para el sistema digestivo, lo que ayuda a mantener el peso ideal y una nutrición equilibrada. Las piñas son una gran fuente de vitamina C y fibra. Es un buen diurético gracias a su alta concentración de potasio. (Saludabletenciónagranel, 2022)

Figura 2- 1 Rodaja de piña deshidratada



Fuente: IngreNat (2022)

2.1.1. Importancia de las rodajas de la piña deshidratada

A nivel global anualmente parte de los alimentos producidos por el hombre para su consumo se pierden o desperdician, se considera de mucha importancia la conservación de alimentos pues esto nos permite alargar la vida útil de las frutas y poder tener acceso a mercados más distantes, otra de las importancias de conservar frutas deshidratadas es debido a que podremos contar con frutas en épocas que normalmente no se producen, logrando así mejores precios.

Esta fruta tropical muy rica en azúcar, incrementa de manera notable sus propiedades tras el proceso de secado; lo que más llama la atención es su alto contenido en hidratos de carbono de asimilación lenta, ya que pueden superar el 80% de su composición. Por este motivo debe ser consumida con moderación en caso de diabetes o sobrepeso. Por el contrario, es una

importante fuente de energía para deportistas, ya que apenas un puñado de piña desecada aporta vitalidad para afrontar cualquier tipo de práctica deportiva. Además, es un producto 100% natural, sin colesterol y con unos niveles de grasa insignificantes. (López, s.f.)

Otro de los nutrientes que multiplican su concentración durante el secado es la fibra. Gracias a ello la piña deshidratada ofrece multitud de beneficios para las personas con estreñimiento, ya que regula el tránsito intestinal. Además, previene la aparición de hemorroides. A ello tenemos que sumar las cualidades diuréticas del potasio, un mineral que favorece la eliminación de líquidos y actúa en el buen funcionamiento del corazón y de los músculos.

Tabla II-1: Pérdida del peso de la piña

Peso de la fruta “Piña”	Peso de la fruta Seca	% Humedad
498,4 g	172,5 g	65,3892

Fuente: López (s.f.); Elaboración propia (2022)

En la Tabla II-1 se observa el % de humedad que se elimina durante el proceso. Siendo un 65% en la piña.

Tabla II-2: Cambios físicos en la piña deshidratada

Cambios físicos en la piña deshidratada							
Color		Aroma		Tamaño		Sabor	
Amarillo	Amarillo/café	Intenso	Debil/mejor	Estandar	Hubo reducción	Estandar/Fruta	En aumento

Fuente: López (s.f.); Elaboración propia (2022)


En la tabla II-2 muestra las características iniciales físicas de piña, antes de ser sometidas al proceso de deshidratación y los cambios físicos después del proceso. Los cambios más comunes fueron: cambio de aroma, reducción de tamaño, cambio de coloración y aumento del sabor.

2.1.2. Caracterización del producto “Rodajas de piña deshidratada”

Se obtiene que la piña deshidratada osmóticamente con sacarosa no tiene diferencia significativa al compararla con la piña deshidratada osmóticamente con glucosa, pero si existe diferencia con aquella secada sin previa deshidratación. (Hernandez & Cornejo, s.f.)

Figura 2-2 Muestra de piña caracterizada

Piña seca deshidratada osmóticamente con sacarosa	
Humedad	22±0.5
Brix	82±1
pH	3,58±0.025
Ceniza	6,53±0.6
Acidez	0,55±0.2



Fuente: Hernandez & Cornejo (s.f.)

2.1.3. Usos y beneficios

Las rodajas de piña deshidratada es un producto con grandes beneficios para el organismo. Tiene vitaminas, minerales, fibra y enzimas como la bromelina, que son buenas para el sistema digestivo, lo que ayuda a mantener el peso ideal y una nutrición equilibrada. Las piñas son una gran fuente de vitamina C y fibra.

Las piñas deshidratadas en rodajas se pueden tomar como guarnición, combinan bien con los cereales, como *topping* para una ensalada, su color dorado y su sabor fresco suelen ser el complemento perfecto para cualquier plato, para acompañar el yogur, como snack, como fruta confitada para la producción de helados: de otra manera se puede utilizar para la elaboración de licores por su alta concentración de sus propiedades.

2.2 FUNDAMENTO DEL PROCESO DE ÓSMOSIS

El fenómeno de deshidratación osmótica se ha tratado de explicar a partir de los conceptos fundamentales de transferencia de masa al establecer el origen de las fuerzas impulsoras difusivas involucradas. El mecanismo de impregnación se considera que es producto de la casi saturación de las capas exteriores o superficiales; la mayoría de las explicaciones y el modelado y cálculo de los parámetros que los describen han sido calculados a partir de la segunda ley de Fick. Como se trata de la conservación de un material por disminución de actividad de agua, usando la fuerza osmótica de una solución de azúcar, sal u otros materiales, se puede realizar a temperatura del ambiente. Ello trae consigo muchos beneficios, especialmente en la calidad sensorial como sabor, aroma y color.

Las soluciones que se usan como agentes osmóticos son soluciones concentradas de sacarosa, salmueras de alta concentración, maltodextrinas y jarabes de maíz de variada composición. Se deben buscar las soluciones de mayor fuerza osmótica, pero que al mismo tiempo afecten lo menos posible al producto; se debe sacar agua, pero no incorporar solutos al producto. (Saldaña, 2011)

2.2.1. Deshidratación osmótica

La ósmosis se produce cuando un material está en contacto con una solución y permite el paso de algunas moléculas, pero no de otras por medio de una membrana semipermeable. Esta característica es dada por la porosidad en la membrana; si esta membrana se coloca entre dos soluciones con distinta concentración, las moléculas del disolvente pasarán en ambas direcciones a través de la misma con un movimiento de disolvente de la solución menos concentrada hacia la más concentrada.

La ósmosis tiene muchas aplicaciones; desde procesos medicinales hasta la desalinización de agua de mar. La deshidratación de alimentos por medio de ósmosis es un método de conservación que interesa mucho y es objeto de investigación en el área de tecnología de alimentos, pues al mismo tiempo que se inhibe el crecimiento microbiano mediante la disminución del contenido de agua, se utilizan temperaturas bajas que favorecen la conservación de las características organolépticas de los productos, lo que reduce también

los costos de energía del proceso. La presión requerida para evitar la ósmosis se conoce como presión osmótica. El proceso de deshidratación osmótica consiste en colocar los alimentos en una solución hipertónica (presión osmótica mayor con respecto al material) provocando que exista una transferencia de masa como resultado de una diferencia de concentraciones, con un movimiento desde el lugar con alta concentración (solución) al lugar con baja concentración (el alimento) eliminando el agua de este último. Con la deshidratación osmótica se remueven cantidades significativas de agua y del mismo modo se impregna de soluto. Debido a que algunos alimentos presentan una estructura molecular rígida que puede considerarse como una membrana semipermeable; al sumergir trozos de estos en una solución concentrada de sales o azúcares, puede producir ósmosis, pues existirá una transferencia de agua desde el alimento hasta la solución. Como existe mayor presión osmótica, a medida que se incremente la diferencia entre las concentraciones del jarabe y los trozos del alimento, ésta pierde un porcentaje de agua a distintas horas de inmersión. Además, no existe transferencia del soluto a través de la membrana en dirección inversa, o la velocidad es muy lenta. (Sierra, 2010)

La deshidratación osmótica se considera como producto de la saturación de las capas exteriores del material. Si una solución no es uniforme con respecto a la concentración de los componentes, la misma alcanzará la uniformidad de manera espontánea por difusión, pues la sustancia se moverá de un punto de concentración elevada a otro con concentración más baja. La mayoría de los modelos matemáticos se calculan en base a la ley de Fick, según la cual, la difusividad (una medida de la movilidad de difusión) de un componente en una solución es la relación entre el flujo por unidad de área (flux) y su gradiente de concentración.

El agua durante la deshidratación osmótica puede perderse en dos etapas:

- 1) Una etapa que dura aproximadamente dos horas (dependiendo del tipo de alimento) donde existe una remoción de agua a una velocidad alta.
- 2) Una etapa de dos a seis horas (dependiendo del tipo de alimento) con una remoción de agua en decrecimiento.

Las frutas pueden contener agua de tres tipos:

- Agua ligada presente en las células y que forma soluciones con sustancias orgánicas.
- Agua con enlace coloidal presente en las membranas, más difícil de remover durante el proceso de secado o deshidratado.
- Agua de constitución o agua no ligada que está directamente conectada con los componentes moleculares y que también es difícil su remoción.

La temperatura y concentración de las soluciones osmóticas afectan la velocidad de pérdida de agua del producto. Al comparar el secado por aire seco, la deshidratación osmótica es más rápida, pues la eliminación del agua ocurre sin un cambio de fase. La deshidratación osmótica modifica la composición del producto y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales por unidad de masa. Además, disminuye la presencia de microorganismos y hongos, al mismo tiempo que protege la pigmentación de los vegetales.

Aumentar el contenido de sólidos dentro de los alimentos no es un proceso de conservación, sino una etapa de tratamiento previo para operaciones de conservación y almacenaje. Si se somete un producto a deshidratación osmótica previo al secado, se puede aumentar la capacidad de los secadores y el rendimiento en la etapa final. Esto reduce la energía, y la mejora los productos naturales.

Los métodos combinados, o efectos de barreras u obstáculos, reducen el crecimiento microbiano en alimentos al combinar factores de conservación tales como: la disminución del pH, la inclusión de agentes antimicrobianos y el calentamiento moderado. Si el beneficio de un pH bajo es combinado con otro método que disminuya la actividad de agua, se genera un efecto antimicrobiano bastante eficaz.

Debe tomarse en cuenta que si se agrega un acidificante éste debe añadirse de tal forma que no se vea modificado el sabor del alimento. El ácido cítrico es considerado como un acidificante natural, provee la acidez uniforme. Si el pH está por debajo de 4.6 se convierte en un inhibidor microbiano. En las frutas y verduras procesadas ayuda a optimizar el sabor, y funciona como un antioxidante para inhibir el deterioro del color y sabor debido a las

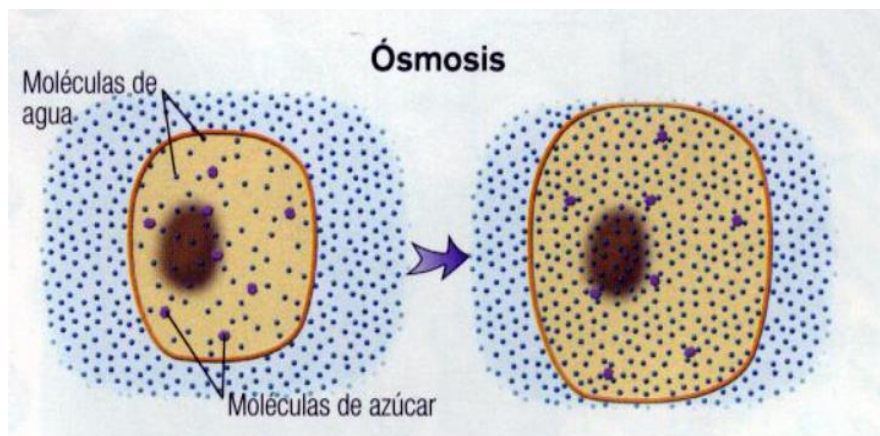
reacciones enzimáticas. Además, inactiva las enzimas no deseadas, pues éstas generalmente dependen del pH. (Sierra, 2010)

2.2.2. La ósmosis

Es el fenómeno por el cual el disolvente fluye a través de una membrana semipermeable para igualar la concentración de las disoluciones a ambos lados de la membrana. El flujo de disolvente se produce a través de la membrana en dos direcciones; sin embargo, la velocidad de flujo desde la disolución menos concentrada a la más concentrada es mayor que la inversa.

En general, la presión osmótica es una propiedad coligativa de una disolución igual a la presión que aplicada a la disolución, detiene la ósmosis. Se denota con la letra griega π y se define matemáticamente como $\pi = MRT$, donde M es la concentración molar de soluto, R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta.

Figura 2-3 Representación gráfica: ósmosis



Fuente: La Enciclopedia (2022)

La mecánica de la ósmosis persigue un equilibrio de concentraciones entre los dos segmentos de una solución separados por la membrana, transmitiendo solvente desde un lado hacia el otro para diluir el extremo de mayor concentración. Esto generará un cambio de presión, conocida como presión osmótica. Esto es lo que ocurre con la membrana de las células, cuyo interior puede estar a una mayor, igual o menor concentración que el exterior, permitiendo la entrada y salida de agua, o sea, la osmorregulación, sin costo de energía.

La deshidratación por ósmosis incluye dos tipos de transferencia de masa:

- Difusión o flujo de agua desde el interior del alimento hacia la solución hipertónica, donde la fuerza impulsora es la presión osmótica.
- Difusión del soluto desde la solución hacia el interior del alimento, donde la fuerza impulsora es la diferencia de concentraciones.

2.2.3. Mecanismos de transferencia de materia en la deshidratación osmótica

Según (Wais, 2011), nos señala cuatro ecuaciones que nos ayudan a analizar el proceso osmótico. Para calcular los resultados obtenidos mediante: la pérdida de peso (PP); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (PA); la ganancia de sólidos (SG).

Las ecuaciones de cálculo de la deshidratación osmótica se detallan a continuación:

1. Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica PP (%):

$$PP(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (2-1)}$$

Donde:

m_i = masa inicial de la muestra fresca.

m_f = masa final de la muestra osmodeshidratada.

Ambas expresadas en gramos.

2. Contenido de sólidos totales de la muestra osmodeshidratada ST (%):

$$ST(\%) = \left(\frac{m_s}{m_o} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (2-2)}$$

Donde:

m_o = es el peso de la muestra húmeda (fresca o deshidratada)

m_s = es el peso de la muestra seca.

Ambas expresadas en gramos.

3. Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica PA (%)

Expresada como los gramos de agua que pierde en la muestra por cada cien gramos de muestra fresca.

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{ST_0}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{PP}{100} \right) \right] \times 100 \quad \text{Ec. (2-3)}$$

Donde:

ST_0 = es el contenido de sólidos totales de la fruta fresca.

ST = es el contenido de sólidos totales de la muestra osmodeshidratada.

PP = pérdida de peso durante la deshidratación.

4. Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica GS (%):

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \times \frac{ST}{100} - \frac{ST_0}{100} \right] \times 100 \quad \text{Ec. (2-4)}$$

Donde:

Se expresada como los gramos de sólidos que ingresan al tejido por cada cien gramos de muestra fresca.

2.2.4. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- ✓ Evita pérdidas de aromas de los alimentos, pues éstos son volátiles a altas temperaturas; debido a que el agua que sale del alimento va a la solución concentrada en estado líquido.
- ✓ La ausencia de aire en el interior de la masa de jarabe donde se halla sumergido el alimento, evita las correspondientes reacciones de oxidación que afectan directamente la apariencia del producto final.
- ✓ En este proceso no se rompen las células, por lo cual puede mantenerse un alto nivel de calidad sensorial en el producto final.
- ✓ El producto final puede mantenerse estable a temperatura ambiente en condiciones de humedad restringidas.
- ✓ La solución de tratamiento puede hacerse a base de azúcares (frutas) y salmueras (verduras) que son de fácil adquisición.

- ✓ Reduce las reacciones de pardeamiento enzimático oxidativo.
- ✓ Retarda el crecimiento microbiano.

Desventajas:

- ✓ Solo puede aplicarse como pre-tratamiento para procesos como el secado o congelado.
- ✓ No se puede aplicar en todos los alimentos, sólo en aquellos que presentan estructura sólida.
- ✓ Cuando el alimento se sumerge en una solución concentrada, puede aparecer un pequeño residuo de la misma solución al finalizar el proceso; esto puede minimizarse si se escurre el alimento.
- ✓ Al haber una inmersión del alimento en el jarabe, se ocasiona flotación, pues algunas muestras del alimento serán menos densas. El jarabe no circulará completamente sobre los trozos y superficies y se obtendrá una ósmosis parcial. Puede solucionarse colocando un contra peso de manera que el alimento siempre esté en contacto con la solución concentrada.
- ✓ Muchas veces el grado de humedad al final del proceso no es suficientemente bajo y es necesario complementar con otras técnicas como secado o congelamiento.

2.3. VARIABLES DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**2.3.1. Naturaleza del alimento**

Existen factores influyentes en el proceso de osmodeshidratación dependiendo estrictamente de la fruta o naturaleza del alimento; como la permeabilidad y las características estructurales de las paredes o membranas celulares, la composición de los jugos interiores de la pulpa y contenido de sólidos solubles. Estos parámetros influyen en la rapidez en que iniciará la deshidratación. (Melo, 2015)

2.3.2. Forma del producto

La conducta que presente la concentración osmótica depende de la geometría o forma de los trozos de la fruta, ya que esto produce variaciones en el área superficial por unidad de volumen o masa, y en la longitud de difusión del agua y los solutos implicados en el

transporte de materia. El trocear frutas frescas en diferentes formas y tamaños puede dar como resultado productos finales con características distintas. Esto es debido a la mayor superficie específica expuesta al jarabe. (Melo, 2015)

2.3.3. Agente osmótico

El proceso osmótico se ve afectado por las propiedades fisicoquímicas de los solutos empleados, es por esto que la elección de la mezcla depende de factores tales como la compatibilidad organoléptica con el producto final, el efecto conservante que pueda tener el soluto, el peso molecular, estado iónico, solubilidad del soluto en el agua y el impacto del soluto sobre las características sensoriales del producto.

El tipo de agente osmótico es un factor influyente en la velocidad de deshidratación de las frutas ya que dependiendo de la naturaleza química de sus componentes y de su concentración, estos ejercerán una presión osmótica diferente. Es decir, la velocidad de penetración de los agentes osmóticos es directamente proporcional a la concentración de la solución e inversamente proporcional al tamaño del soluto empleado.

Los agentes osmóticos más utilizados son la sacarosa y el azúcar invertido; la sacarosa debido a que posee un mayor poder osmótico al considerar las pérdidas de peso y agua, también favorece la retención de nutrientes durante el almacenamiento; y el azúcar invertido es utilizado debido a que posee una alta solubilidad de la glucosa y la difícil cristalización de la fructosa, aumento del dulzor y reducción de los riesgos de cristalización, que evita que el producto adquiera una consistencia arenosa desagradable. (Melo, 2015)

2.3.4. Concentración de la solución osmótica

Tiene gran influencia en el proceso de deshidratación osmótica debido a que el aumento de la concentración de la solución incrementa la pérdida de agua del producto y la velocidad de secado. De esta manera se forma una espesa capa de soluto sobre la superficie del producto, resaltando el efecto osmótico y reduciendo las pérdidas de nutrientes.

Por otro lado, la solución osmótica debe tener una actividad de agua baja, sobretodo debe ser inocua y tener buen sabor. Las soluciones concentradas de 50° a 70 °Brix son las más comúnmente usadas. (Melo, 2015)

2.3.5. Temperatura de la solución osmótica

La temperatura es el parámetro más importante que influye sobre la pérdida de agua y ganancia de soluto, ya que el aumento de la temperatura en el sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en la fluidez de la solución osmótica (Arreola & Rosas, 2007). Por otro lado, el aumento de temperatura favorece a la agitación molecular, elevando la velocidad de difusión; pero puede afectar a la permeabilidad de las membranas, perjudicando el proceso de deshidratación osmótica. Por tal razón, el rango establecido en el que las membranas celulares de las especies vegetales se modifican es aproximadamente entre 50 y 55°C. (Melo, 2015)

2.3.6. Agitación de la disolución osmótica

Se utiliza la agitación en la deshidratación osmótica como una operación física que hace más uniforme al fluido y para que circule el jarabe alrededor de la muestra, generando una distribución homogénea de las propiedades del sistema. De esta manera se reduce o evita la resistencia externa del sistema osmótico para incrementar la pérdida de agua. Cabe recalcar que la influencia de la agitación sobre la deshidratación osmótica depende de la relación entre las masas de jarabe y fruta, así como de la concentración del jarabe. (Palacios-Parra, 2020)

2.3.7. Jarabe

Para que el proceso de deshidratación osmótica sea óptimo, se debe controlar el jarabe en aspectos como: composición y concentración, adición de solutos, reutilización, y eliminación de residuos. Además, en las aplicaciones industriales son muy importantes factores como la validación microbiana del proceso para periodos prolongados de funcionamiento. (Palacios-Parra, 2020)

2.3.8. Tiempo de inmersión

El tiempo de proceso está en función a las características del alimento y las condiciones de deshidratación. La pérdida de agua y la ganancia de sólidos son mayores durante las primeras horas de proceso, luego disminuye drásticamente como consecuencia de la disminución de

la presión osmótica. Sin embargo, se ha encontrado que la transferencia de masa no es significativa después de 4 a 5 horas.

2.4. DESHIDRACIÓN POR SECADO CONVECTIVO

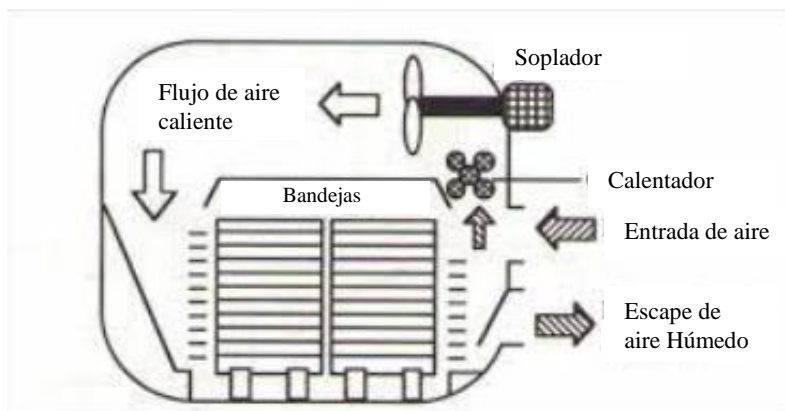
El secado convectivo es uno de los procesos de deshidratación más utilizados para la conservación de frutas y en la actualidad se utiliza combinado con pretratamientos como la deshidratación osmótica (osmosis), el escaldado y la impregnación a vacío, a fin de aumentar la calidad del producto deshidratado y reducir el tiempo de secado. Es el método más común para secar productos alimenticios. (Palacios-Parra, 2020)

Se conoce como secado convectivo a la acción en la cual el calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente, esta misma, además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua, es también el agente que transporta el vapor de agua que se elimina del sólido a secar.

Dentro de las ventajas de este tipo de secado, se pueden nombrar las siguientes:

- El secado convectivo es una tecnología intermedia accesible para muchos productos.
- La calidad de los productos deshidratados se puede mejorar variando las condiciones de operación durante el secado.
- El secado convectivo puede acoplarse con otros métodos de deshidratación para lograr secadores híbridos con mejor desempeño.

Figura 2- 4 Secado convectivo



Fuente: Díaz (2009)

La aplicación de los pretratamientos de osmosis y escaldado simple se realiza previo al secado convectivo.

Tomar en cuenta que:

- La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado.
- Al incrementar la temperatura del aire caliente de 55 a 70 °C el tiempo de deshidratación disminuye de 35,5 a 24 horas, respectivamente.
- La disminución de la velocidad del aire caliente (60 °C) de 1.5 a 0,13 m/s incrementó el tiempo de deshidratación de 28 a 65 h.

En general, en este método de deshidratación es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja, puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos. (Ochoa-Reyes, y otros, 2013)

Tiempos y temperaturas elevadas de deshidratación también causan la formación de aromas indeseables.

2.4.1. Parámetros de secado

En el estudio de proceso de secado realizado por Díaz (2009) y Geankopolis (1998), ambos consideran que los parámetros que influyen en el secado son:

- **Humedad relativa del aire:** se describe como la presión de vapor de agua en relación con la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura.
- **Temperatura del aire:** mientras aumente la temperatura, se incrementará la salida de agua. Sin embargo, es importante tomar en cuenta las características del alimento a deshidratar.
- **Velocidad de aire:** mientras más alta sea la velocidad, mayor será el porcentaje de evaporación, reduciendo así el tiempo de secado y viceversa (Si la velocidad de aire se reduce, el porcentaje de evaporación también se reduce y por consecuencia el tiempo de secado aumenta).
- **Contenido de humedad inicial:** Es el porcentaje de humedad que tiene el alimento como materia prima, cuanto más elevado es el contenido de humedad en un alimento, mayor será la cantidad de agua para evaporar
- **Contenido de humedad final:** es la humedad que tiene el alimento después de secarlo. Si el alimento no tiene la humedad mínima para almacenar, será expuesto a posibles proliferaciones de microorganismos.
- **Contenido de humedad de equilibrio:** Según Díaz (2009), es “el porcentaje de humedad que llega a tener el alimento después de haber sido llevado a un ambiente de humedad relativa y temperatura constante, en un determinado tiempo; y dependerá del porcentaje de humedad, temperatura, variedad y madurez del producto”.
- **Contenido de humedad crítica:** “Es la humedad que tiene el producto cuando termina el periodo de velocidad de secado constante y empieza el periodo de velocidad decreciente”. (Palacios-Parra, 2020)

2.5. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

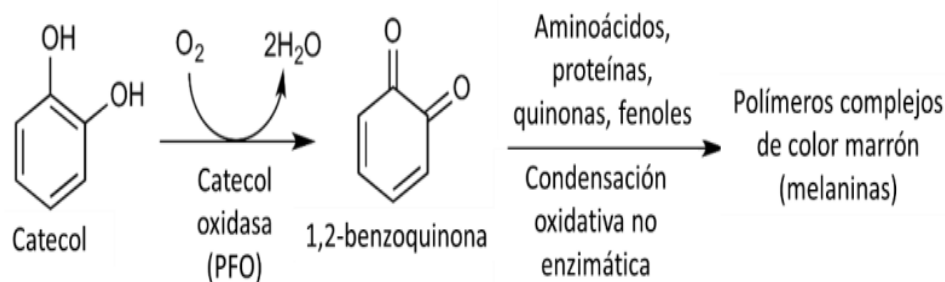
El pardeamiento es el proceso por el cual algunos alimentos toman un color marrón debido a ciertas reacciones. Puede ser enzimático, no enzimático (químico-físico), y un tipo especial de pardeamiento que se denomina reacción de Maillard. Además del cambio en el aspecto físico (color), el pardeamiento también puede provocar pérdida de firmeza en el alimento, debido a la degradación de las pectinas de la pared celular vegetal.

2.5.1. Pardeamiento enzimático

Es una reacción química que involucra la polifenol-oxidasa, la catecol-oxidasa y otras enzimas que crean melaninas y benzoquinonas a partir de fenoles presentes en estos alimentos. También es conocido como oxidación de los alimentos, debido a que requiere exposición al oxígeno.

Comienza con la oxidación de los fenoles por la polifenol-oxidasa, convirtiéndolos en quinonas. Posteriormente estas quinonas polimerizan mediante una serie de reacciones, formando pigmentos marrones en la superficie de los alimentos llamadas melaninas (melanosis o pardeamiento). La tasa de pardeamiento enzimático viene dada por la cantidad de polifenol oxidasas activas presentes en el alimento, por lo que la mayoría de los métodos para inhibirlo se centran en inhibir esta actividad enzimática. (Cardona Serrate, 2020)

Figura 2-5 Pardeamiento enzimática a partir del catecol



Fuente: Cardona Serrate (2020)

2.5.2. Pardeamiento no enzimático

El pardeamiento no enzimático es el fenómeno de oscurecimiento de naturaleza química, mediante el cual se generan melanoidinas mediante reacción de Maillard: condensación entre compuestos carbonilos y aminados, peroxidación de lípidos, caramelización de carbohidratos por altas temperaturas, o degradación de compuestos con dobles enlaces conjugados a grupos carbonilo, principalmente ácido ascórbico. Estas reacciones conducen a la formación de polímeros oscuros, que en algunos casos pueden ser deseables (aromas cárnicos sintéticos), pero que en la mayoría de casos conllevan alteraciones organolépticas

y pérdidas del valor nutritivo de los alimentos. En este tipo de reacciones se incluyen las reacciones de:

- Reacción de Maillard
- Degradación de ácido ascórbico
- La peroxidación de los lípidos
- Caramelización

Reacción de Maillard

Es el resultado de la reacción de moléculas reductoras, fundamentalmente hidratos de carbono, con grupos amino libres, fundamentalmente de las proteínas, condensándose en pigmentos de color marrón (melonoidinas). En la industria láctea se emplea como indicador de un procesado térmico excesivo. (Cardona Serrate, 2020)

La oxidación del ácido ascórbico (Vitamina C)

Se da a pH bajo y temperatura elevada. Los productos resultantes de la oxidación causan una coloración marrón, además de la pérdida de la vitamina. La reacción química es similar a la de los azúcares, salvo que no son necesarios aminoácidos. El ácido ascórbico es muy reactivo, se degrada a través de dos rutas, formando intermediarios dicarbonil, que reaccionan de manera análoga a los grupos amino. (Cardona Serrate, 2020)

La peroxidación de los lípidos

Es debida a la acción del oxígeno y las especies reactivas del oxígeno sobre los ácidos grasos, especialmente sobre los no saturados. Estos se oxidan para formar aldehídos y cetonas que entonces reaccionan con los grupos amino de los aminoácidos para formar los pigmentos pardos. (Cardona Serrate, 2020)

La caramelización

Es la reacción de pardeamiento de los azúcares al calentarlos por encima de su punto de fusión, sin necesidad de que estén presentes proteínas o aminoácidos. Esta reacción se ve favorecida por condiciones alcalinas o ácidas y se usa para la coloración comercial de caramelos y para obtener el aroma característico. La caramelización puede ser conveniente o perjudicial para la calidad de un producto alimentario según sea deseado o no, y se puede

prevenir evitando el procesado a elevadas temperaturas y almacenando a bajas temperaturas. (Cardona Serrate, 2020)

2.6. AGENTES OSMÓTICOS

Entre los agentes osmóticos más usados para frutas: Fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares invertidos, miel, jarabe de maíz, melaza, sorbitol, malosa y lactosa

La sacarosa:

Reduce pardeamiento y aumenta retención de volátiles, los azúcares se pueden también llamar carbohidratos o hidratos de carbono ya que están compuestos por átomos de carbono y por cada uno de estos átomos, en los monosacáridos incorpora una molécula de agua, es muy utilizada industrialmente por sus propiedades físicas de caramelización, higroscopicidad relativamente baja y su estabilidad en muchos procesos alimenticios.

2.7. ENVASADO

Los alimentos deshidratados envasados correctamente y protegidos del oxígeno, la humedad y la luz, se puede conseguir una buena vida útil de 1 año.

Los requisitos del envasado para los productos deshidratados deben tener presentes las dos causas más importantes de deterioro: humedad y oxígeno. Los alimentos deshidratados son frágiles, sensibles a la luz y sujetos a contaminaciones molestas y ataques de insectos (Sacharow y Griffin, 1970).

El polietileno es el plástico más usado en el envasado, este material facilita el termosellado, es resistente, impermeable y flexible con usos múltiples. Por ello, el envasado debe ser considerado como una parte integral del procesado del alimento.

2.8. ALMACENAMIENTO

La mayoría de las frutas secas se pueden almacenar durante 1 año a temperaturas menores a 20 °C, en donde se reducen las velocidades de reacciones enzimáticas, afectando a la afinidad enzima-substrato. Las frutas frescas tanto deshidratadas deben almacenarse a temperaturas bajas para alargar su vida útil, quizá se desconozca que una vez deshidratados, los alimentos deben

ser almacenados cumpliendo ciertas pautas para que no pierdan la calidad, textura y sabor; pero para conseguirlo, deben ser almacenados de manera segura.

2.9. SELECCIÓN DEL MÉTODO

Existen muchos métodos por los cuales se podría tomar con mayor facilidad e importancia a la hora de elegir el método adecuado, en este trabajo de investigación es muy importante dar a conocer que se podría trabajar con el método de liofilización; este método en la actualidad es frecuentemente usado en las industrias de mayor relevancia principalmente por los resultados que se obtienen, etc.; de acuerdo a la investigación realizada. Sin embargo, la carrera de Ingeniería Química no cuenta con este equipo moderno, no existe la disponibilidad de poder realizar la investigación, de esta manera el proyecto de investigación busca una mejora en la utilización del método a usar de acuerdo a las ventajas que presenta y el mayor acceso a su aplicabilidad.

Como se mencionó anteriormente se tienen diversos métodos para la obtención de un producto deshidratado así mismo de una mejor conservación, para ello es importante notar que el presente trabajo de investigación está planteado de acuerdo a la disponibilidad de equipos en uso.

El método que se utiliza para llevar a cabo el proyecto planteado fue la combinación de: osmodeshidratación y secado convectivo.

La evaluación de selección del método apropiado en este desarrollo experimental para obtención de un mejor trabajo sin limitaciones, se realizó un análisis según datos bibliográficos recabados de igual manera sin dejar de lado la disposición de materiales y equipos, esto permitió que la selección del método sea conveniente a la vez más favorable.

2.9.1. Método osmodeshidratación

Se tomó en cuenta como se menciona, la aplicación de datos recabados bibliográficos de acuerdo a la recolección de información de la biblioteca de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de igual forma en otras fuentes de información, así también como la inspección del laboratorio de Operaciones Unitarios de la carrera de Ingeniería química. Se tomó en cuenta:

1. La disposición y alcance de equipos
2. Resultados óptimos.
3. Valor económico

La disposición y alcance de equipos: se tomó en cuenta el análisis de disponibilidad de los equipos y materiales, para tomar una decisión adecuada para poder llevar a fin el proyecto sin provocar a futuro una interrupción por la ausencia de estos. Los equipos y materiales para la deshidratación están disponibles en el Laboratorio de operaciones unitarias de la carrera de ingeniería química, se cuenta con un rotavapor y demás recipientes para la complementación del equipo para el proceso de deshidratación osmótica.

Resultados óptimos: este estudio de deshidratación osmótica de acuerdo al estudio de investigación bibliográfica señala que existe mayor transferencias de masas cuando la membrana permeable de la fruta está en contacto con la solución en donde se concentran sus propiedades de la fruta a deshidratar, aplicando calor por un determinado tiempo se produce la mayor eliminación de agua; la aplicación de este método para deshidratar la fruta: piña, es óptima e ideal para le eliminación del agua en un 40% de humedad.

Valor económico: es importante este punto, el proyecto mientras menores costos tenga es común que sea más rentable de la misma manera causa una ayuda en la investigación con el fin de poder usar materiales, etc.; sin la necesidad de invertir y dar uso a los equipos.

2.9.2. Método secado convectivo

El proyecto de investigación aquí descrito busca desarrollar una alternativa para mejorar el manejo de frutas, en especial la piña, la cual tiene una alta producción a nivel nacional y es de gran aceptación. La combinación que presenta este diseño metodológico experimental de deshidratación osmótica y secado convectivo, es la complementación para obtener un producto de calidad.

Los procesos de secado pueden clasificarse de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua:

1. El calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.

2. Secado al vacío, la evaporación del agua se da con mayor rapidez a presiones bajas y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación, o el uso de bajas temperaturas a vacío.
3. La liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado.

El interés de este trabajo se centró en el tipo de secado donde el calor se añade por contacto directo, o también conocido como secado por convección, de acuerdo a las ventajas estudiadas el método de liofilización sería el más adecuado actualmente, en el proceso de estudio se tomó a consideración complementar la deshidratación con el método “secado convectivo” es importante mencionar que se hizo el uso del equipo de secador de bandejas perteneciente a la carrera de Ingeniería de Alimentos. Puesto que se tiene al alcance el equipo y la disponibilidad de uso, sin embargo, el método es favorable por su fácil acceso y manejo.

El secador de bandejas con corriente de aire que se utiliza para el desarrollo del proyecto de investigación cumple con normas de seguridad alimentaria y es específico para la línea de procesamiento en deshidratados.

2.10. MATERIA PRIMA

La piña es una planta herbácea de 1 a 1,5 metros de extensión, tanto a lo alto como en lo que a su circunferencia se refiere. Está formada por una roseta de hojas duras, lanceoladas y más o menos espinosas, organizadas alrededor de un tallo que constituye el eje de la planta. En su prolongación crece un ápice en cuyo extremo nace la fruta terminada en una corona. La inflorescencia es racimosa y puede producir más de cien flores. De hecho, la fruta está formada por el conjunto de flores que crecen alrededor del ápice que, a partir de ahí, constituye el tallo de la fruta del pedúnculo hasta la corona. Cada flor origina una fruta independiente organizada en espiral alrededor del tallo. Las frutas unidas aparecen en la parte exterior en forma de escamas espesas denominadas «ojos». (UNCTAD, s.f.)

Figura 2-6 Materia prima: Piña



Fuente: PULEVA (s.f)

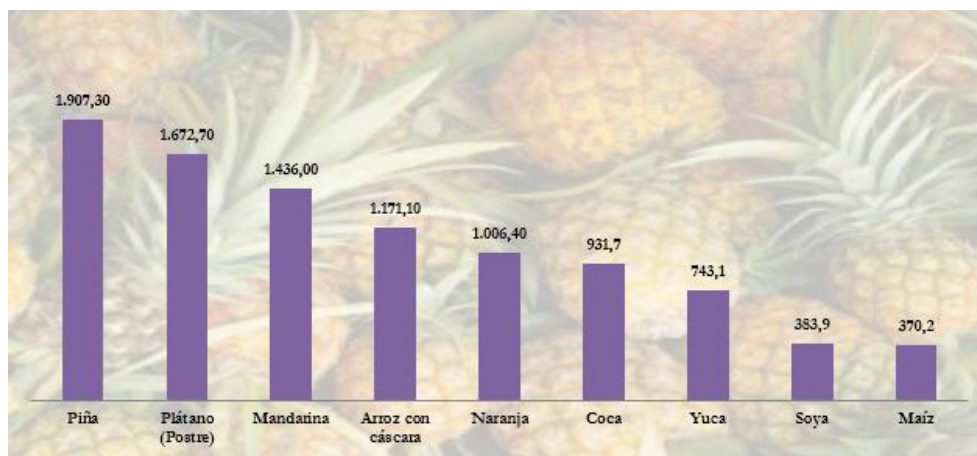
La piña es el fruto de una planta originaria de Sudamérica, conocida como ananás. Los portugueses siguen conociéndola con este nombre, que en la lengua indígena significaba "fruta excelente". Según FAO 2010, la piña ocupa el tercer lugar en la producción mundial de las frutas tropicales, solo superada por el mango y banano. La piña es una fruta muy apetecida en el mundo entero por su agradable sabor y aroma; su contenido en vitamina A y C hacen que sea altamente demandada en los mercados internacionales.

La piña en la actualidad es un producto de gran demanda a nivel internacional, consumido principalmente en fresco como postre o refrescantes jugos naturales. La piña es demandada también por la agroindustria para el procesamiento de jugos, mermeladas, conservas, dulces y concentrados en polvo.

2.10.1. La producción de la materia prima

Entre Ríos, es el principal productor de piña en Bolivia, perteneciente al departamento de Cochabamba, con una superficie de 1.907,3 hectáreas y una producción de 691.578,8 quintales, Entre Ríos se constituye en el mayor productor de piña a nivel nacional, conjuntamente Puerto Villarroel y Villa Tunari. (INE, 2017)

Figura 2-7 Municipio Entre Ríos: superficie de los principales cultivos de verano, censo agropecuario 2013



Fuente: INE (2017)

Entre Ríos se encuentra en una de las regiones con mayor potencialidad en la producción de plátano con 196.434,6; naranja con 115.699,4 y yuca con 102.682,8 quintales. Más de 34 mil habitantes de este municipio se dedican a la actividad agrícola, ganadera, piscícola y avícola.

- ✓ Las variedades de piña cultivadas en Bolivia son: Pucallpa, Cayena Lisa, Champaca.

La gran cantidad de la piña comercializada en el departamento de Tarija proviene de “Entre Ríos, localidad perteneciente al departamento de Cochabamba.

2.10.2. La elección de la piña variedad: “Pucallpa”

Mayormente conocida en la ciudad de Tarija como: “la común o la criolla”; en la elección como materia prima se realizó de acuerdo a la mayor cantidad producción que se genera respecto a otras, esto a favor como ventaja ya que no sería adecuado tomar en cuenta alguna variedad que es de escasas o porque tendría una mayor cantidad de azúcar, etc. Para la elaboración se necesita que exista en grandes cantidades para evitar el costo extra entre otros, además que es una de las principales que traen a la ciudad.

2.10.3. Descripción de la variedad: Piña Pucallpa

La piña variedad Pucallpa es comercializada en el mercado de exportación con un peso de 1.1 a 2.5 kilogramos y de 1 a 6 kilogramos en el mercado nacional. El fruto en los primeros grados de maduración tiene la cascara de color morado y de color Anaranjado – Rojizo cuando alcanza la madurez total (grado 5). El fruto es cosechado para exportación cuando la pulpa alcanza 11.5 °Brix. (García Pérez & Grágeda, s.f.)

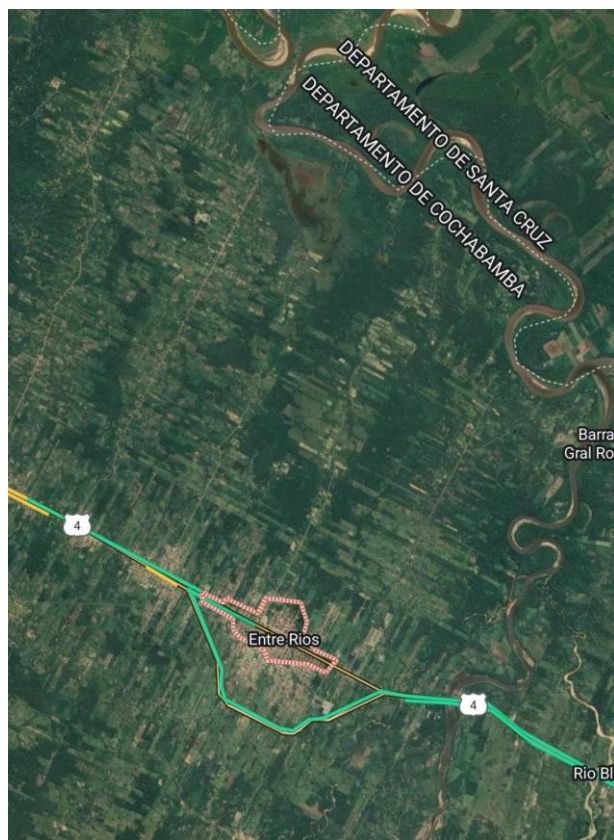
Figura 2-8 Piña variedad Pucallpa



Fuente: García Pérez & Grágeda (s.f.)

En cuanto a ubicación, Entre Ríos es una pequeña localidad y municipio de Bolivia, ubicado en la provincia José Carrasco del departamento de Cochabamba, distante 265 km al este de la ciudad de Cochabamba a la orilla izquierda del río Ichoa, afluente del río Ichilo.

Figura 2-9 Ubicación geográfica



Fuente: Google Maps (2023)

2.11. DETERMINACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA

Para determinar el grado de madurez de la piña variedad Pucallpa es necesario realizar cortes longitudinales para observar la coloración interna. Los grados de madurez de la piña variedad Pucallpa. Con la ayuda de un refractómetro se puede medir el nivel de azúcar (% de sólidos solubles) donde los valores recomendados para la exportación de la variedad Cayena Lisa son de 12 a 13 ° Brix y de 10 a 12 ° Brix para la variedad Pucallpa. (García Pérez & Grágeda, s.f.)

La maduración es la fase final del desarrollo que ocurre una vez que el fruto adquiere su tamaño máximo; esta etapa implica cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales, que modifican la apariencia, textura, sabor, aroma y características nutricionales del fruto. La

maduración de los frutos suele coincidir con un cambio de color y el desarrollo del aroma y sabor característico del fruto.

El momento de la maduración fisiológica inicia desde la base de la piña hacia la corona, la parte inferior es siempre más madura que la parte superior, esto sucede alrededor de los 154 días después de la inducción floral. El grado de madurez en que es cosechado, está en función del tiempo que la fruta requiere para llegar al consumidor. La maduración se evidencia con diversos cambios en los productos. Esos cambios han sido interpretados por el ser humano como señal de una calidad para consumo, es así como los gustos y preferencias de los consumidores definen en sentido práctico (comercial) la madurez del producto, aunque su estado puede ser distinto de la función del producto en la naturaleza. (Camacho, 2006)

- La presente investigación no va a depender totalmente en el estado externo del fruto y de cómo se percibe a la hora de adquirir del mercado; sino se trabaja más específicamente en el análisis fisiológico con respecto a la ingeniería y la investigación.

2.11.1. Analizando la madurez fisiológica de la piña en la ingeniería

Para llevar a la práctica y garantizar el índice de la madurez fisiológica se realiza el análisis usando equipos e instrumentos para la determinación de la madurez fisiológica de acuerdo al propósito que el mismo presenta para la determinación de la fruta (piña).

Caracterización fisiológica de acuerdo a los parámetros para la determinación de la madurez del fruto

Rosas Domínguez Cindy (2011) nos señala de qué manera estos parámetros afectan a la madurez del fruto:

a) El color (L, a* y b*)

Los cambios en el color pueden utilizarse como indicadores del avance en el proceso de maduración. Para evaluar estos cambios se utilizan cartas de color y medidores de color como colorímetros, al cual rigen las coordenadas L, a* y b*, que se utilizan para localizar un espacio tridimensional de la coloración del producto.

Fueron medidos en la superficie de la pulpa de piña utilizando un colorímetro Minolta CR-300.

El valor “L” representa colores negros u opacos (0) y colores blancos o de máxima brillantez (100).

El valor de a^* va de la escala positiva a la negativa siendo el rojo el máximo cuando los valores son positivos, gris cuando es cero y verde cuando es mínimo o si los valores son negativos.

El valor b^* , determina el color amarillo si los valores son positivos, gris cuando es cero y azul cuando es negativo. Se evaluaron cuatro estados de madurez. (Domínguez, 2011)

Figura 2-10 Cambios de color en el fruto de piña nativa India durante el almacenamiento a 20°C



Fuente: Domínguez (2011)

Tabla II-3 Descripción de color externo para la piña nativa India

ESTADO DE MADUREZ	COLOR*	DESCRIPCIÓN
Estado 1	Verde oscura ⁽¹⁾	Coloración pardo-amarilla de la base hasta un 25% de la fruta
Estado 2 (día 5)	Pardo rojizo oscuro ⁽²⁾	25-50% de la fruta con coloración pardo-amarilla
Estado 3 (día 10)	Pardo rojizo oscuro ⁽³⁾	50-75% de la fruta con coloración amarillo-naranja
Estado 4 (día 15)	Rojo, rojo-amarillo ⁽⁴⁾	Más del 75% de la fruta con coloración amarillo-naranja

Fuente: Domínguez (2011)

b) Firmeza

Es un atributo importante en la calidad del fruto, está representada como la resistencia que ofrece el fruto a una presión dada. La pérdida de firmeza en los frutos es un proceso normal que ocurre durante la maduración del fruto y se debe a la hidrólisis de la pared celular. Las células dañadas liberan enzimas proteolíticas y pectinolíticas que difunden hacia el interior de los tejidos y actúan sobre sus componentes. (Domínguez, 2011)

Los frutos no climatéricos tienen un alto contenido de almidón, el cual durante el proceso de maduración se hidroliza de manera muy rápida a azúcares. El sabor del fruto, depende principalmente del contenido de azúcares, el cual se puede alterar por la temperatura y la intensidad de la luz durante el desarrollo, así como también por la estación, el clima, el grado de madurez en la cosecha y otras sustancias empleadas para su crecimiento como hormonas y pesticidas. Los parámetros de calidad para piña indican que el valor óptimo en cuanto a sólidos solubles es de 11-18 % dependiendo del cultivar y la madurez. (Domínguez, 2011)

c) Sólidos Solubles Totales (SST), Acidez Títulable (AT) y pH

Los SST se midieron de manera directa en un refractómetro digital Abbe (Modelo 10450) a 25 °C; colocando una gota de jugo de piña en el equipo, el cual fue previamente calibrado con una gota de agua destilada, para medir el índice de refracción de la muestra en función de los sólidos solubles presentes. La concentración de SST fue expresada en °Brix. La AT (%) fue evaluada de acuerdo a la metodología propuesta por (AOAC, 1990). La determinación se llevó a cabo a partir de una alícuota de 10 mL de jugo de piña, el cual se homogenizó en 50 mL de agua destilada. La medición de pH y acidez títulable se efectuó directamente del homogenizado, los cuáles se evaluaron con una solución de NaOH 0.1 N en un titulador automático. Se realizaron 3 repeticiones por estado de madurez. La acidez títulable fue expresada en % de ácido cítrico. (Domínguez, 2011)

d) Jugosidad

Se empleó el método descrito por Carlin (1990). Se emplearon 9 rodajas de piña por estado de madurez, cada rodaja fue pesada y colocada entre dos papeles Whatman No. 1,

posteriormente se le aplicó una fuerza de 2 Kg durante 10 s y se pesó de nuevo. (Domínguez, 2011)

Tabla II-4: Caracterización fisiológica de pulpa de la piña "Esmeralda" en cuanto ha estado de madurez

Parámetro fisicoquímico	Estado de madurez			
	1	2	3	4
SST (%)	14,860	16,530	16,400	16,120
Acidez Títulable (% ácido cítrico)	0,470	0,630	0,880	1,020
Jugosidad (%)	3,006	4,029	4,729	5,568
pH	3,820	4,030	3,930	3,910
L*	68,520	66,600	64,660	62,590
Color a*	-3,660	-4,840	-4,570	-4,880
b*	17,780	24,370	26,170	28,990

Fuente: Domínguez (2011)

Muestreados en este trabajo fueron elegidos en cuatro estados de madurez diferentes a partir de la madurez fisiológica, los valores de SST y acidez títulable se encontraron dentro de los parámetros establecidos en el índice de calidad comestible de frutos de piña propuestos por Kader (2009) (SST=10-18 % y acidez títulable=0.4-1.2 % de ácido cítrico).

2.12. PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LA PIÑA

A continuación, analizamos el valor nutricional de la piña. Los valores nutricionales se refieren a 100 gr. de piña comestible, según la base de datos nacional de nutrientes del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Tabla II- 5: Valor nutricional de la Piña

Valor nutritivo de la piña: composición nutricional		
Nombre	Cantidad	Unidades
Energía aportada	50,00	K
Agua	86,00	g
Hidratos de carbono	13,12	g
Azucares	9,85	g
Fibra dietética total	1,40	g
Grasas	1,12	g
Proteínas	0,54	g
Colesterol	0,00	mg
Vitaminas		
Vitamina B1 (Tiamina)	0,079	mg
Vitamina C	47,80	mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0,032	mg
Vitamina B3 (Niacina)	0,50	mg
Ácido pantoténico	0,213	mg
Vitamina B6	0,112	mg
Vitamina B9 (Ácido fólico)	18	ug
Minerales		
Calcio	13,00	mg
Hierro	0,29	mg
Magnesio	12,00	mg
Manganeso	0,927	mg
Fósforo	8,00	mg
Potasio	109,00	mg
Sodio	1,00	mg
Zinc	0,12	mg

Fuente: Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (s.f.)

La piña contiene ácido ascórbico y es una buena fuente de esta vitamina. Es conocido que el ácido ascórbico o vitamina C combate las infecciones bacterianas y virales, retrasa el

desarrollo de infecciones del tracto urinario durante el embarazo. La vitamina C apoya la formación de colágeno en los huesos, vasos sanguíneos, cartílagos, músculos y ayuda al cuerpo a absorber el hierro. Es uno de los principales antioxidantes contra los radicales libres que atacan y dañan las células normales y por eso es considerado como antioxidante eficaz. La vitamina C también reduce el riesgo de ciertos tipos de cáncer, incluidos el de colon, esófago y estómago. (Social, 2020)

Valores de la caracterización fisicoquímica de Ananas comosus en 100 g de pulpa fresca

Tabla II- 6: Parámetros físicos de Ananas comosus

Parametros	Valor
Humedad (%)	91,86 +- 0,64
Solidos solubles (°Brix)	9,7 +- 0,43
Acidez total (%)	0,896 +- 0,01
Ph	3,8 +- 0,26
Vitamina C (mg)	18 +- 1,73
Índice de madurez	10,83 +- 0,18

Fuente: Scientia Agropecuaria (2018)

2.13. CALIDAD DEL PRODUCTO

El consumidor se constituye en el principal elemento para su evolución, algunos de los atributos fundamentales de la calidad de cualquier alimento son la ausencia de defectos, la textura, el aroma, el valor nutritivo, el aspecto, que incluye tamaño, color y forma. En el proceso de deshidratación se producen cambios físicos y químicos que influyen en la calidad final sino se tiene en cuenta las condiciones del proceso; por lo que la producción de cualquier alimento deshidratado no solo pasa por optimizar la operación sino de requisitos fundamentales que satisfagan las necesidades y requerimientos del consumidor.

Los nutrientes son todas aquellas sustancias esenciales para mantener la salud que el organismo no es capaz de sintetizar, por lo que han de ser aportados por la dieta y cuya carencia da lugar a una patología concreta que solo se cura con la administración de dicho nutriente. (Bernabe, 2018)

Normas de calidad

- Según la Norma del Codex para la Piña (CODEX STAN 182-1993), los requisitos de calidad para las piñas deshidratadas incluyen límites relacionados con la humedad. Aunque no se especifica un valor numérico exacto para la humedad máxima permitida, se espera que las piñas deshidratadas mantengan su sabor sin alterarse demasiado por la acción de mohos, enzimas o bacterias. Aquí están los aspectos relevantes:

Requisitos Mínimos:

Las piñas deshidratadas deben estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica.

Además, las piñas deben haber alcanzado un grado apropiado de desarrollo y madurez, de acuerdo con los criterios peculiares de la variedad y la zona en que se producen.

El contenido mínimo de sólidos solubles totales en la pulpa del fruto debe ser de al menos 12 °Brix (doce grados Brix). Esto se determina mediante la medición de los grados Brix en el zumo del fruto entero¹.

- Normas específicas en Bolivia: No se encuentran normas específicas en productos como piña deshidratada, sin embargo, existen normas exteriores a las cuales los laboratorios de análisis se someten para brindar un confiable resultado en determinado producto.

Según las normas:

- Según las normas de calidad vigentes en la Argentina, de código alimentario en el capítulo XI, Artículo 904, pág. 493: "la fruta desecada en el momento del empaque, no deberá contener más de 25 % de agua".

Tabla II- 7: Norma general para frutas deshidratadas

Parámetro	Unidad	Límite de referencia
Humedad	g/100 g	Máximo 25 %
Azúcares totales	g/100 g	Sin límite de referencia

Fuente: Código Alimentario Argentino (2018)

Para la investigación se tomaron en cuenta también las siguientes normas:

- CODEX STAN 182 – 1993. Norma Codex Alimentarius para la piña. (FAO & OMS, 1993) (FAO & OMS, 1995)
- CODEX STAN 177 – 1991. Norma Codex Alimentarius para el coco desecado. (FAO & OMS, 1991)
- CODEX STAN 13 – 1981. Norma Codex Alimentarius para tomate en conserva. (FAO & OMS, 1981)
- CODEX STAN 3 – 1969. Código de prácticas de higiene para las frutas desecadas. (FAO & OMS, 1969)
- CODEX STAN 5 – 1971. Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas deshidratadas incluidos los hongos comestibles. Norma Codex Alimentarius. (FAO & OMS, 1971)

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2996: 2015. Productos deshidratados: zanahoria, zapallo, uvilla. Requisitos. (INEN, 2015)

- ✓ La Norma Sanitaria: Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas de Consumo Humano Peruana, debido a la ausencia de una normativa nacional, nos señala criterios microbiológicos de inocuidad de ausencia de *Escherichia coli*.

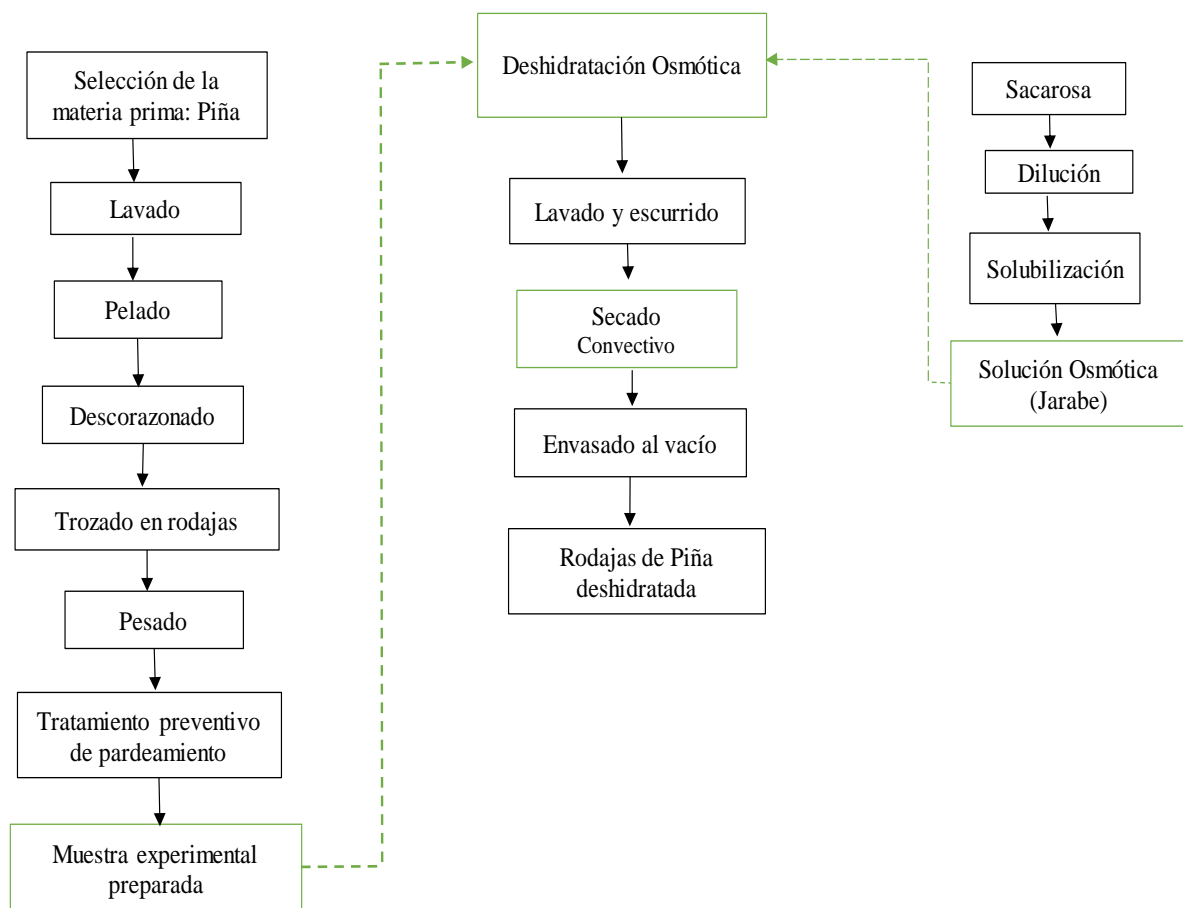
Norma Sanitaria: Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas de Consumo Humano Peruana. (MINSa & DIGESA, 2003).

2.14. PROCESO PRODUCTIVO

Elaboración de rodajas piña deshidratada por método combinado de osmodeshidratación y secado convectivo

Se presenta en la figura 2-11, el proceso de operación a desarrollar por los métodos combinados:

Figura 2-11: Etapas del proceso de deshidratación de rodaja de Piña por ósmosis y secado convectivo



Fuente: Elaboración propia (2022)

Se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales y así mismo para complementar con el proceso de elaboración de la última etapa que es el secado convectivo,

realizado en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería de Alimentos en el Laboratorio de Cereales, de igual manera ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (U.A."J.M.S.").

2.14.1. Descripción del proceso productivo

Selección de la materia prima:

En esta operación se procede a seleccionar las piñas que están en mejores condiciones y posteriormente a la limpieza, retirando las materias extrañas y residuos como tierra entre otros. Las piñas que se seleccionaran manualmente para el proceso de deshidratación osmótica son aquellas con estado de madurez comercial. La calidad de la materia prima es fundamental para la elaboración de las rodajas deshidratadas.

Lavado:

Ayudará a eliminar impurezas adheridas a la fruta con abundante agua que se presentan en la superficie de las piñas.

Pelado:

Se realizará en forma manual, utilizando cuchillos de acero inoxidable.

Descorazonado:

Retirar la parte central conocida, como corazón de la fruta.

Trozado en rodajas:

La pulpa de fruta es cortada en rodajas de 0.5 cm de espesor.

Pesado:

Con el objeto de cuantificar la masa de cada rodaja esto servirá como dato de referencia para pesar el jarabe de sacarosa entre otros, usando una balanza eléctrica.

Deshidratación Osmótica:

Se realizará el control de pérdida de peso, los grados °Brix, tiempo de inmersión y la temperatura de solución. Controlando según el diseño experimental.

El proceso consta en sumergir las rodajas de piña dentro de la solución por lo que ocurre la transferencia de masa de la solución y viceversa en función del tiempo, la fruta perderá agua en una cantidad considerable y los sólidos se concentraran.

Lavado y escurrido:

Al finalizar el proceso anterior, se procederá al lavado de la muestra en agua abundante a 80°C / 120 segundos; con el propósito de eliminar el excedente de jarabe posteriormente a escurrir por unos minutos.

Secado Convectivo:

Este método se aplica para complementar la deshidratación osmótica para obtener mejores resultados en el producto hasta llegar a una humedad de equilibrio en función de peso y tiempo.

Envasado al vacío:

Deben reposar unas 24 horas antes de envasarse, para mejorar el envasado y así equilibrar su humedad interna. Los envases deben ser de polietileno denso e impermeables. Al momento de envasar se debe inspeccionar el producto y el envase, para posteriormente sellar y llevar al almacén.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el presente trabajo de investigación se procedió a determinar la calidad de la fruta como ser: estado de madurez, daño microbiológico y daño mecánico, separando las frutas que no cumplían las condiciones requeridas.

Posterior al control de calidad de las piñas se pasó al estudio y transformación hasta obtener el resultado final, mediante los métodos de deshidratación por ósmosis y secado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales, de igual manera, se hizo uso de las instalaciones de la Carrera de Ingeniería de Alimentos en el Laboratorio de Cereales, pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (UAJMS). La caracterización se llevó adelante mediante análisis: físico y fisicoquímico.

3.2. ANÁLISIS FÍSICO DE LA PIÑA EN FRESCO

Estudiando más a detalle para tener información cuidadosa se analizaron las propiedades físicas y fisicoquímicas de la materia prima utilizada, se muestra a continuación valores de medidas estadísticas de referencia útil de la piña.

Tabla III-1: Propiedades físicas de la piña: variedad Pucallpa

Muestra	Peso bruto (gr)	Peso neto (gr)	Peso del residuo (gr)	Altura (cm)	Perímetro ecuatorial (cm)	Diámetro de la pulpa (cm)
Piña	2,796	932	1205	24,5	45	10

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la Tabla III-1, se muestra los resultados de un análisis físico a la fruta para tener un dato específico para el balance del proceso.

3.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PIÑA PUCALLPA EN FRESCO

Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas de la piña, se seleccionó 4 muestras representativas, las mismas fueron sometidas a un proceso de trituración para extraerles el jugo, con las condiciones ideales para realizar las mediciones fisicoquímicas con equipos disponibles en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química y de la carrera de Ingeniería en Alimentos.

Se determinó, entre los más importantes:

- ✓ Los sólidos solubles °Brix (Refractómetro digital ABBE): Se tomó 10 gr de piña fresca.
- ✓ pH y temperatura en el potenciómetro digital HANNA: Para la determinación del pH y temperatura, se tomó 10 gramos de cada muestra fresca.

Tabla III-2: Propiedades fisicoquímicas de la piña

Muestra	Sólidos solubles °Brix	pH	Temperatura °C
1	12,00	4,50	20
2	11,90	4,35	20
3	11,95	4,34	20
4	12,00	4,54	20

Fuente: Elaboración propia (2023)

3.4. MADUREZ DE LA PIÑA

En la determinación estudiada de la piña, se tomó en cuenta los grados brix de cada muestra, según: Grover Pérez y Rómulo Grágeda, en su Manual de buenas prácticas agrícolas de la piña Ananas Comosus; indica que para la determinación de madurez de la variedad Pucallpa es necesario medir con la ayuda de un refractómetro el nivel de azúcar en donde los valores recomendados son de 10 a 12 °Brix para esta variedad.

La determinación de la madurez de la piña se llevó a cabo de acuerdo a los datos de información bibliográfica.

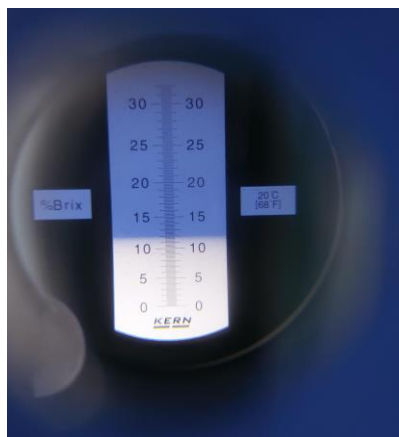
El primer paso la selección de las cuatro muestras con el objeto de analizar principalmente los grados brix, la firmeza, color, pH (como se observa en la Tabla III-2).

Grado brix

Donde se analiza la medición del ° Brix con un refractómetro portátil para la determinación de los sólidos solubles con una gota del jugo de la fruta.

Este análisis nos da una referencia del nivel de dulzor de la fruta que determina la madurez como dato de bibliografía entre 10 a 12 °Brix; como se observa en la figura que la muestra de piña en este caso se encuentra en el rango permitido de madurez, como se indica en la figura el nivel es de 11,58 °Brix.

Figura 3-1 Determinación del °Bx



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de la carrera de Ingeniería de Alimentos (2023)

Sin embargo, se utilizó este instrumento para medir el contenido referencial de azúcar en la fruta, este análisis también nos da una referencia del grado brix de partida para alcanzar la ganancia de sólidos solubles y a la vez obtener una excelente transferencia de masas en el tratamiento osmótico.

Según la determinación se expresa que las cuatro muestras se encuentran en los niveles de brix requerido, de esta manera se puede afirmar que las muestras de piña están maduras, listas para la elaboración inmediata, sin embargo, se continúa con el análisis de: pH, análisis visual, firmeza de la pulpa y color de la piña.

La determinación del pH

Se licua parte de la pulpa y se deja filtrar para tomar una muestra y llevar al potenciómetro de mesa y tomar la lectura del pH de la muestra.

Figura 3-2 Determinación del pH de la piña



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de la carrera de Ingeniería de Alimentos (2023)

En este análisis el pH de la fruta es un indicador ácido-base de la fruta en donde nos ayuda a tener un dato específico del cual se está partiendo el estudio; en este trabajo se está analizando la comparación de pH de cada muestra en donde el más adecuado es el seleccionado para la elaboración de deshidratación. En caso de las cuatro muestras la variación de pH es insignificante.

Análisis visual, firmeza de la pulpa de color de la piña

Como se muestra en la Tabla III-2, los parámetros de las muestras están en el rango de madurez, esto demostrado con los resultados obtenidos.

El análisis visual a cada piña para elección y determinar el color que presenta, se observó que las muestras de piña Pucallpa ambas presentan un color amarillo claro una de estas con presencia un color café o marrón por causa de golpe por el mal transporte de las frutas, las demás muestras sencillamente tienen una apariencia visual satisfaciente.

Figura 3-3 Color de la pulpa de la piña



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observo específicamente el color de la pulpa para el analisis visual.

La firmeza de la pulpa se tuvo un análisis minucioso de observación el cual es un atributo importante en la calidad de cada muestra; tres de cuatro muestras presentan una firmeza resistente, ya que una de estas presenta una pérdida de firmeza en la pulpa (se debe a la hidrólisis de la pared celular), ocurre durante y después del mal transporte de la misma.

El color de la piña entera se tomó en cuenta sus características más cercanas a la bibliografía, se realizó el análisis practico, de igual manera, con un grupo de personas para determinar su color respecto a la madurez, de acuerdo a estos análisis físicos y a la vez visuales; la mayor cantidad de respuestas tomando nota, no se observó un color que sea de gran diferencia una a otra muestra individualmente esto debido a que las piñas enteras con cascara presentaban

un color similar a marrón oscuro con amarillo verdoso los bordes de cada ojo de la piña, sin mayor detalle las piñas presentan colores parecidos.

En conclusión, las piñas que son adquiridas mayormente son cosechadas maduras, como verdes por otro lado, entonces es adecuado medir el grado brix de cada una para obtener un dato exacto de madurez.

3.5. PRUEBAS PRELIMINARES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN

3.5.1. Primera prueba preliminar

Para la primera etapa de deshidratación osmótica se tomó en cuenta la temperatura a 50°C en la solución del jarabe durante 4 horas continuas. Los datos o niveles de trabajo se tomaron de acuerdo a criterio, la temperatura de solución fue una variable que no se estaba estudiando, sin embargo, después de un análisis de estudio se pudo notar que la variable temperatura de la solución si influye durante el proceso de investigación.

Se lavó y se cortó usando un instrumento que a la misma vez se quitó la cascara, corazón y procedió a cortar en rodajas la piña con un espesor de 1cm, se está estableciendo el espesor de acuerdo a como se llevaban a cabo las pruebas y analizando si el espesor sería el ideal. Se pesó 743 g de la misma y se dejó reposar en ácido cítrico por 10 min, para la preparación del ácido cítrico por cada 1gramo 100ml de agua para evitar el pardeamiento.

Figura 3-4 Pelado de la piña, rodajas y pesado



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

El porcentaje inicial de humedad de la piña fresca es de 84% según el dato tomado en la termobalanza del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) esto como dato de referencia de la humedad inicial de la piña, al terminar la deshidratación osmótica se realiza el lavado de las rodajas de piña con agua caliente a 80°C por unos minutos, se deja escurrir por unos minutos para preparar la muestra para después ingresar al secador de bandejas.

Figura 3-5 Ecurrido de rodajas de piña



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

✓ **En la segunda etapa de secado convectivo:**

Los datos o niveles de trabajo se tomaron en cuenta en base a bibliografía que indica que a temperaturas mayores de 60 °C pueden causar daño en la superficie de la fruta como también la pérdida de nutrientes; de acuerdo a esta información se continuó trabajando.

El secado inició: 16:30 pm a (09:30 pm), 5 horas concluidas y se tomó 1 rodaja de muestra para analizar la humedad, se pesó 4,155 g de la muestra se llevó a la termobalanza, obteniendo una humedad de 34,18%.

Figura 3-6 Segunda etapa: rodajas de piña en el secado convectivo



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se llevó a la termobalanza para determinar la humedad de acuerdo a las condiciones de trabajo. Se observa que las rodajas de piña están partidas y con el espesor grande que impide el trabajo del secador obteniendo la humedad muy alta.

Figura 3-7 Termobalanza análisis del % de humedad



Inicio

Final

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa un porcentaje de humedad 34,18 %, fuera del rango permitido según bibliografía, por lo tanto estas condiciones de secado están descartadas.

Note que se tomó como variables:

Tabla III-3: Variables durante las pruebas preliminares

Variables	Nivel		Espesor
Tiempo de inmersión	4	hr	1 cm
Concentración	50	°Brix	
Temperatura de la solución fija	50	°C	
Tiempo de secado	5	hr	
Temperatura de secado	50	°C	

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la tabla III-3, que se puede descartar en su totalidad las condiciones de trabajo en la primer prueba previa, por lo tanto los resultados obtenidos no son convenientes.

✓ **Trabajando con mayor tiempo de secado:**

El secado inició igual al anterior; 16:30 pm, por 16 horas de secado a una temperatura constante o fija de 50°C, se tomó 1 rodaja de muestra a las 08:30 am del día siguiente para medir el % de humedad.

Figura 3-8 Rodaja de piña deshidratada



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se pesó 1.140 g de la muestra, se llevó a la termobalanza, obteniendo la humedad de 0,44%.

Figura 3-9 Determinación de la humedad usando la termobalanza



Inicio

Final

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la figura 3-9, que el tiempo de secado es demasiado extenso y que, a la vez, arroja un dato de humedad relativamente bajo, esto indica que no es un camino viable para la definición de los niveles experimentales.

3.5.2. Segunda prueba preliminar

En esta segunda prueba, para la primera etapa de deshidratación osmótica se tomó una temperatura de 50°C fija en la solución del jarabe durante 4 horas continuas.

En la preparación del jarabe con sacarosa (azúcar) se toma en cuenta la relación 3:1 para la concentración.

Se peló y cortó en rodajas usando un cuchillo de acero inoxidable posteriormente se retiró el corazón de la fruta de cada rodaja; el espesor de cada rodaja de piña fue de 0,3 milímetro rallado manualmente. Se pesó 500 g de muestra y se dejó reposar en ácido cítrico por 10 min, para la preparación del ácido cítrico por cada 1g de ácido cítrico, corresponden 100 ml de agua para evitar el pardeamiento enzimático.

Figura 3-10 Rodaja de piña de 0,3 mm



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se muestra en la figura 3-10, las rodajas cortadas para pesar y posteriormente sumergidas en ácido cítrico por 10 min. Una vez transcurrido el tiempo en ácido cítrico se dejó escurrir para pesar.

Figura 3-11 Preparación de las rodajas para el secado



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

En la figura 3-11, se observa las rodajas de piñas osmodeshidratadas en la bandeja, para complementar el secado se lleva a la estufa.

✓ **En la segunda etapa de secado convectivo:**

Se dejó secar en la estufa por 4 horas a 50°C.

Figura 3-12 Secado convectivo de la rodaja de 0,3 mm de espesor



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se muestra en la figura 3-12, que se dejó secar durante 4 horas en la estufa, para determinar la humedad final de las rodajas se tomó una muestra significativa y se llevó a la termobalanza.

Figura 3-13 Resultado de la determinación de la humedad en la termobalanza



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la Figura 3-13, que el porcentaje de humedad es 8,94% esto nos indica que el porcentaje de humedad es un dato aceptable y que se puede mejorar las condiciones de trabajo.

✓ **Trabajando con mayor tiempo de secado:**

Se trabajo con las mismas condiciones anteriores excepto que en el tiempo de secado se trabajó con 6 horas.

Figura 3-14 Determinación de humedad en la termobalanza



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Usando la termobalanza se pesa una muestra representativa siendo: 8,596 gr de piña seca, para llevar a la termobalanza, como resultado el % de humedad fue de 4,90% como se muestra la figura.

Rodajas de piña deshidratada bajo las condiciones de la segunda prueba preliminar.

Figura 3-15 Rodaja de piña deshidratada



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Figura 3-16 Determinación de la humedad



Inicio

Final

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observan la figura 3-16, la humedad en la termobalanza de acuerdo a las condiciones de trabajo la humedad es dependiente de diversos factores en el proceso por tanto se toma en cuenta el espesor como variable fija, el tiempo en la estufa para obtener la humedad ideal.

3.5.3. Tercera prueba preliminar

Para la realización de la tercera prueba, se tomó en cuenta los resultados obtenidos durante el tiempo de trabajo en los ensayos anteriores y analizar el estudio de cada factor influyente para probar y a la vez establecer condiciones óptimas para la realización de la tercera prueba preliminar, mejorando así la presentación de las rodajas de piña.

Se tomó la decisión de diseñar un molde de acero inoxidable para el trozado de cada rodaja de piña facilitando el corte y descascarado de la piña, de la misma manera el descorazonado; así mismo se utilizó un rallador de cocina en donde el espesor de corte se reguló manualmente a 0,5 cm para cada rodaja con el fin de mejorar la presentación de cada rodaja favoreciendo el secado en menos horas de trabajo.

Figura 3-17 Molde cortadora



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Figura 3-18 Ralladora de verdura y fruta, taperware



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la figura 3-18, el rallador de cocina, en donde se empleó cada rodaja con precisión.

Figura 3-19 Rodaja de piña



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la figura 3-19, las rodajas de piña de 0,5 cm exactamente de espesor.

Para evitar el pardeamiento de las rodajas de piña como se indicó al inicio, se prepara ácido cítrico, en este caso se usó 7 g para 700 ml de agua:

Figura 3-20 Pesaje del ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se muestra en la figura 3-20, el ácido cítrico pesado.

Se peso azúcar 771 g para la preparación del jarabe, en la solución se usó la temperatura de 50°C con una concentración de 60°Brix:

Figura 3-21 Preparación del jarabe para el tratamiento de ósmosis



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

La figura 3-21, muestra las rodajas en el tratamiento de osmodeshidratación en baño maria a temperatura constante.

Despues de la osmodreshidratada para determinar el porcentaje de humedad y tener un dato de referencia despues de la osmosis.

Figura 3-22 Determinación del porcentaje de humedad de la tercera prueba preliminar



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Como se observa en la figura 3-22, que se tomó 10,031 g de muestra para determinar el porcentaje de humedad siendo 67.04% de humedad.

Concluido las 4 horas de deshidratación se lavan las rodajas de piña con agua a 80°C por unos minutos y se deja escurrir para llevar al secar en la estufa.

Figura 3-23 Lavado y escurrido de las rodajas después de la ósmosis



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Las rodajas que muestra la figura, listas para ingresar a la estufa durante 4 horas.

Figura 3-24 Secado convectivo de las rodajas de piña



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Después de concluir el secado como muestra la figura 3-24, se tomó una muestra representativa de las rodajas de piña osmodeshidratada para determinar el porcentaje de

humedad después de la osmosis: se tomó 10,031 g de muestra, el porcentaje fué de 67.04% de humedad.

Concluido el secado durante las 4 horas, se toma una muestra representativa se pesó para la determinación de la humedad mediante la termobalanza siendo el porcentaje de humedad: 10,96%.

Figura 3-25 Rodaja secas



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Se observa en la figura 3-25, las rodajas de piña después de secar en la estufa.

Figura 3-26 Determinación de la humedad



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

Realizando las difentes pruebas y analizando las condiciones optimas para tomar en cuenta el porcentaje al cual se necesita que el producto elaborado alcance en el trabajo de investigación se tiene:

- ✓ Durante 6 horas de secado, el peso de la muestra a determinar es 6.015 gr, % de humedad 6.35%.

Figura 3-27 Determinación de la humedad usando la termobalanza



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (2023)

- ✓ Durante 7 horas de secado, peso de la muestra a determinar es 6.206 g, % de humedad 4.99%.
- ✓ Durante 9 horas de secado, peso de la muestra a determinar es 5.841 g, % de humedad 5.29%.

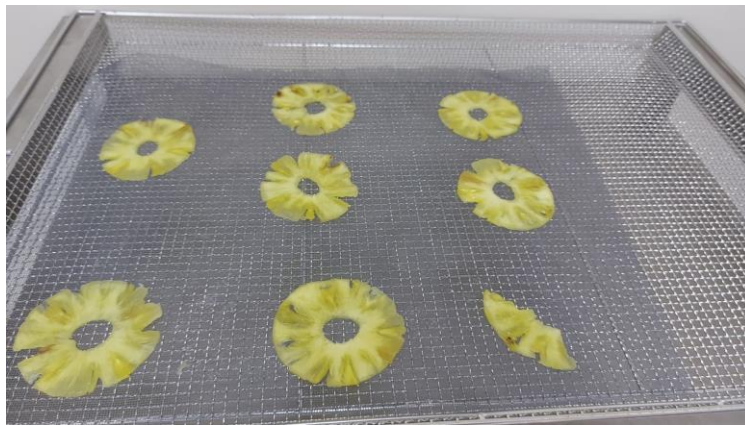
Después de llevar acabo este arduo trabajo pero de mucha importancia se determina con seguridad las condicones más adecuadas para los ensayos y sus repeticiones.

Haciendo un analisis de cada etapa y sus condiciones se determina trabajar en dos etapas como ya se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos por las pruebas preliminares nos da una clara información para determinar nuevamente los niveles y factores de las variables, más adelante se observa en el diseño establecido con sus respectivos niveles de operación de trabajo.

A recomendación de los tribunales se hace el uso del secador de bandejas de la carrera de Ingeniería de Alimentos del laboratorio de cereales, esto con el fin de obtener mejores resultados en la etapa de secado y lograr un secado uniforme en cada rodaja de piña.

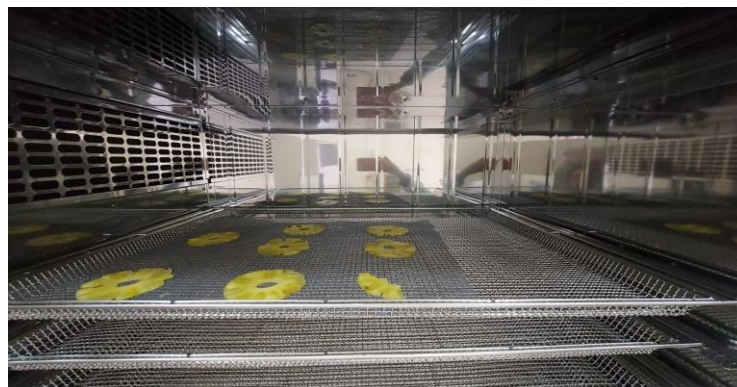
Se opta por usar ya que realizando las pruebas preliminares usando este equipo, nos dió como resultado un secado uniformemente homogéneo en su totalidad y el acceso al mismo fue ventajoso.

Figura 3-28 Preparación de las rodajas de piña para ingresar al secador de bandejas



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (Laboratorio de Cereales) (2023)

Figura 3-29 Secado de las rodajas usando el secador de bandejas del laboratorio de cereales de la carrera de Ingeniería de Alimentos



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (Laboratorio de Cereales) (2023)

En resumen, en las primeras pruebas se trabajó con temperatura de solución fija de: 50°C, después de analizar que la variable temperatura de solución influye con respecto a la transferencia de masas en el tratamiento de ósmosis se había tomado como variable fija.

Se tomó como base las pruebas para la definición de la variable: temperatura de la solución.

El espesor se definió con la ayuda del un utensilio de cocina mediante las pruebas preliminares quedando como variable fija o constante, el espesor de 0,5 cm, es ideal para trabajar y dando una mejor presentación.

El tiempo de inmersión fue una variable desde el inicio del planteamiento del diseño, en este caso se analizó las horas de trabajo quedando como niveles alto 6 horas y nivel bajo 4 horas. La temperatura de inmersión se definió quedando como niveles alto 60 °C y bajo 40°C, con respecto a las pruebas preliminares dando como rangos de niveles se expresa de esa manera.

Para la variable concentración de la solución, se tomo dos niveles de 60 °Bx y 40 °Bx.

Se trabajo en los niveles de acuerdo a como los resultados se obtenian en las pruebas.

En la segunda etapa de secado convectivo, se trabaja dos variables: el tiempo de secado y la temperatura de secado.

En el tiempo de secado influye bastante el espesor ya que menor espesor el secado era mas eficiente, relacionando de esta forma el tiempo de secado se estableció, nivel: alto 5 horas y bajo 4 horas.

La variable temperatura se estableció con los niveles: alto 60°C y bajo 40°C, esto en base a que se produciría daños en la parte superficial de las rodajas si se toma temperaturas demasiado altas, de esta manera se concluye con la definición.

3.6. PROPIEDADES NUTRICIONALES

Las propiedades fisicoquímicas y nutricionales que presenta la piña, fueron determinadas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID):

(%) Azúcares totales

(%) Azúcares reductores

(%) Sacarosa

(%) Humedad

(%) Ceniza

(%) Fibra

(%) Grasa.

(%) Hidratos de carbono

(%) Proteína total

Valor energético

Ver los resultados del análisis de las propiedades nutricionales en la Tabla IV-8.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Por la extensión del proyecto, el trabajo de investigación plantea una fase experimental en dos bloques de estudio: la deshidratación por ósmosis y el secado convectivo.

3.7.1. Deshidratación osmótica

Las variables según Humacata (2019), Sandoval (2022); indica que las variables más significativas y con mayor efecto en la deshidratación osmótica son:

- 1) **La concentración del agente osmótico:** una de las variables más significativas respecto a la transferencia de materia, tanto en la pérdida de agua como la ganancia de sólidos solubles necesarios para el producto final.
- 2) **El tiempo:** esta variable es representativa por ser una de las más importantes en el contexto de rendimiento productivo, por lo cual es necesario controlar el tiempo óptimo del proceso deshidratación.
- 3) **Temperatura:** esta variable tiene un efecto directo en la velocidad de transferencia de materia y las propiedades organolépticas.

Las variables como ser: agitación y relación masa/masa (fruta/agente osmótico) no se tomaron en cuenta como variables de operación porque no tienen un efecto significativo

respecto al producto que se quiere obtener, son variables más complementarias que operativas.

3.7.2. Diseño factorial:

Factor A: Concentración del agente osmótico (°Brix).

Factor B: Tiempo (h).

Factor C: Temperatura de la solución (°C)

Tabla III-4: Variables y niveles de operación en la ósmosis

Variables o factores	N° de Nivel	
	Bajo (-1)	Alto (+1)
A: Concentración osmótica (°Brix)	40	60
B: Tiempo de inmersión (horas)	4	6
C: Temperatura de la solución (°C)	40	60

Fuente: Elaboración propia (2023)

Variable respuesta

El aumento de los Grados Brix de las rodajas después de la ósmosis:

La variable respuesta, busca mejorar rendimiento en masa del producto final a partir de la matriz del diseño factorial, además esta variable tiene la función ventajosa de mejorar la textura, sabor y mantener un color estable del producto elaborado.

La matriz del diseño factorial para este estudio se representa mediante el siguiente modelo matemático.

$$\text{Número de experimentos} = 2^k$$

2: Número de niveles experimentales a medir.

k: Número de factores o variables

Se emplea un diseño factorial 2^k que corresponde:

$$\text{Número de experimentos} = 2^3 = 8$$

El número total de experimentos incluye los experimentos principales y sus réplicas.

Número total de experimentos:

$$2^3 = 8 \times 2 \text{ repeticiones} = 16 \text{ experimentos}$$

3.7.3. Secado convectivo

El objetivo del secado es la remoción del agua hasta un nivel en el que se inhibe la proliferación microbiológica, consecuentemente de ello se obtiene un producto estable, de mayor vida útil y una excelente calidad, similar a las frutas frescas.

Antes de continuar con el diseño planteado se debe dar a conocer a detalle el diseño seleccionado y adecuado para la elaboración de las rodajas de piña.

Como ya mencionado existen dos etapas del proceso de elaboración, para la segunda etapa en este caso el secado convectivo, se toma como variables principales: Tiempo de secado y Temperatura de operación 40-60°C.

➤ **La velocidad del aire**

En el proceso de este trabajo de investigación no se abarcó a profundidad esta posible variable, la velocidad del aire si influye en cierto punto cuando se utiliza una velocidad de flujo de aire mayor, según el tesista: Noé Alain Humacata Soliz en el trabajo de investigación que lleva como título: “*Elaboración experimental de orejones de durazno (variedad flordaking) mediante deshidratación por ósmosis y secado térmico 2019*” en donde señala que el flujo de aire mayor a $1,2095 \cdot 10^{-4}$ (m³/s) en el cual se observó un efecto no deseado en la superficie del producto (protuberancias).

No obstante a causa que se estaría limitando el alcance del proyecto, condicionalmente se trabajó con dos etapas; en la primera como anteriormente mencionado el diseño factorial es de 2^3 obteniendo así ocho ensayos más réplicas, en realidad se trabajó con dieciséis experimentos dentro de cada uno de los experimentos de deshidratación osmótica, en la segunda etapa, se trabajaría si se tomara en cuenta la velocidad, el diseño sería un 2^3 , eso

por su parte a lo largo del trabajo limitaría el proceso elaboración, a recomendación del Ing. Ignacio Velásquez Soza, en colaboración respecto a las variables de estudio en el proyecto de investigación, indica que es recomendable tomar como variables temperatura y tiempo ya que a la vez estas serían las más adecuadas ya que se trabajó el proyecto de investigación aplicada en base a dos etapas complejas y completas en el proceso de elaboración de rodajas de piña deshidratadas.

3.7.4. Variables de operación

El tamaño de partícula: Juega un rol importante dentro del secado, a mayor área de contacto, habrá mayor velocidad de secado por consecuencia el tiempo de operación será menor. Para el estudio de investigación el tamaño de partícula se ha diseñado desde el punto de vista estético para una fácil manipulación, pero sobre todo para que el efecto del deshidratado osmótico, así como el secado convectivo sean rápidos y eficientes.

El procedimiento en esta fase se hará de la siguiente manera, las piñas después del lavado serán sometidas al pelado así mismo a cortar en rodajas con una cortadora de acero inoxidable, dejando un espesor a cada rodaja de aproximadamente 0.5 cm.

Tiempo de secado: El tiempo de secado por aire caliente es un parámetro fundamental a tomar en cuenta, esta variable es representativa por ser una de las más importantes en el contexto de rendimiento productivo, por lo cual es necesario controlar el tiempo óptimo del proceso de secado por convección puesto que depende de varios factores como tamaño de partícula de la piña semi-deshidratadas, el flujo de aire, la porosidad de la fruta entre otros, pero sobre todo estará en función de la humedad de la fruta antes y después del deshidratado.

Temperatura de operación 40-60°C: Es una temperatura óptima de secado que garantiza que las propiedades nutricionales y organolépticas sensibles al calor dentro de la piña se mantengan intactas.

Variable respuesta

Porcentaje de humedad en el producto:

El porcentaje de humedad del producto busca mejorar la conservación del almacenamiento y con mayor tiempo de vida útil.

3.7.5. Diseño factorial

Factor A: Temperatura (°C)

Factor B: Tiempo (h)

Tabla III-5: Variables y niveles de operación en el secado convectivo

Variables o factores	N° de Nivel	
	Bajo (-1)	Alto (+1)
Tiempo de secado (horas)	4	5
Temperatura de secado (°C)	40	60

Fuente: Elaboración propia (2023)

$$2^2 = 4 \times 4 \text{ repeticiones} = 16 \text{ experimentos}$$

Para la deshidratación osmótica realizando la interacción con los niveles de cada variable y, tomando en cuenta como variable respuesta el % de humedad de cada rodaja.

Posterior al diseño experimental planteado, se tiene en la etapa: deshidratación osmótica un modelo de 2^3 , siendo dieciséis experimentos y en la segunda etapa: secado convectivo se tiene 2^2 , en total cuatro experimentos más su repetición ocho experimentos; de tal manera no se podría comparar con exactitud ocho resultados del secado en dieciséis experimentos de deshidratación osmótica, por ello se planteó, con la ayuda del profesor de la materia de Diseño de Experimentos, el Ing. Ignacio Velásquez Soza, lo siguiente:

Se planteó hacer las cuatro repeticiones, para comparar dieciséis resultados de secado con dieciséis resultados de deshidratación.

Es decir, en la primera etapa se tiene dieciséis experimentos en total, en el secado se tiene un modelo de 2^2 , es decir cuatro más su réplica solamente ocho, la mitad de experimentos que se tiene de deshidratación osmótica, entonces para tener la misma cantidad de experimentos y para que la comparación de resultados sea mucho más certera se realizó

cuatro repeticiones y de esa manera se tiene dieciséis de secado y dieciséis de deshidratación osmótica.

3.8. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.8.1. Equipos utilizados

La balanza analítica digital: (figura) del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), utilizada para medir la masa del ácido cítrico en el proceso de elaboración de rodajas de piña.

Ilustración III-1: Balanza analítica digital



Marca	Gibertini
Industria	Italia
Tipo	EUROPE 500
Capacidad	510 g
Rango de temperatura	10-40 °C
tensión	120 V
Frecuencia	50 Hz
Error de precisión	0.001 g

Fuente: Elaboración propia (2023)

La balanza electronica: Se usó mayormente para determinar el peso de la masa de piña y sacarosa, puesto qyue brinda mayor capacidad.

Ilustración III-2: Balanza electrónica



Marca	Electronic
Tipo	(g/oz)
Capacidad	10 Kg
Rango de temperatura	10-40 °C
Batería	1,5 Vx2 AAA battery
Frecuencia	50 Hz
Error de precisión	0.001 g

Fuente: Elaboración propia (2023)

Refractómetro digital: Se mide el índice de refracción en °Brix, tanto de la materia prima como del jarabe osmótico en el proceso y durante el proceso de deshidratación osmótica.

Ilustración III-3: Refractómetro digital



Marca	ABBE
Industria	WYA-1S
Tipo	EUROPE 500
Capacidad	Área: 0.7 cm x3,5 cm
Lámpara de iluminación	6.3 V; 0.25 A
Rango de medida	Índice refractivo: 1300-1700 +/-0.0002 Brix Bx-TC:0-95 % +/-0.1 % Brix Bx: 0-95 % +/-1 %
Tensión	220V +/-20V/50 Hz
Rango de temperatura	0-50 °C
Rango correctivo de temperatura	15-45 °C

Fuente: Elaboración propia (2023)

Rotavapor: A sido empleado para calentar, controlar y mantener la temperatura constante para las diferentes soluciones del diseño experimental requeridas del proceso de deshidratado; en consecuencia, usado para baño maría en un excelente tiempo controlado.

Ilustración III-4: Rotavapor



Marca	Heidolph
Modelo	LaboRota 4000
Procedencia	Alemana
Potencia	1320 W

Fuente: Elaboración propia (2023)

Secador infrarrojo: Mide la humedad de la muestra en la etapa del proceso de secado, al inicio y al final del proceso de elaboración de rodajas.

Ilustración III-5: Secador infrarrojo



Marca	SARTOTIUS
Industria	Alemana
Modelo	MA 100/MA 50
Capacidad	5,0 gr
Lámpara de iluminación	6.3 V; 0.25 A
Rango de temperatura	30-200° C
Tensión red	230V
Consumo máximo de corriente	700V
Frecuencia	48-60 Hz
Dimensiones	360x453x156m m

Fuente: Elaboración propia (2023)

Potenciómetro: Instrumento usado para medir el pH de la piña.

Ilustración III-6: Potenciómetro de mesa



Marca	pHmetro Digital de sobremesa
Industria	Alemana
Modelo	HORIBA LAQUA PH1300

Fuente: Elaboración propia (2023)

Secador de bandejas: el equipo que se observa se encuentra actualmente en las instalaciones del laboratorio perteneciente a la carrera de ingeniería en Alimentos, se utilizó para reducir la humedad de piña, osmodeshidratados, hasta obtener un producto microbiológicamente estable (seco).

Ilustración III-7: Secador de bandejas convectivo



Marca	IKE
Industria	
Modelo	Serie WRH-100
Capacidad	5,0 gr
Lámpara de iluminación	6.3 V; 0.25 A
Rango de temperatura	30-200° C
Tensión red	230V
Frecuencia	48-60 Hz
Dimensiones	360x453x156mm

Fuente: Elaboración propia (2023)

3.8.2. Materiales de laboratorio

Los materiales fueron brindados del centro de análisis, investigación y desarrollo (CEANID) en su mayoría.

Tabla III-6: Materiales de laboratorio

Materiales	Unidad	Capacidad	Tipo de material
Termómetro	1	0-200 °C	Vidrio
Vasos de precipitado	3	500 ml	Vidrio
Probeta	2	500 ml	Vidrio
Varillas	1	Mediana	Vidrio

Fuente: Elaboración propia (2023)

3.8.3. Utensilios de cocina

Se observa en la siguiente tabla los materiales de cocina:

Tabla III-7: Utensilios de cocina

Materiales	Unidad	Capacidad	Tipo de material
Cortadora	1	Pequeño	Acero inoxidable
Pinza	1	Mediana	Acero inoxidable
Bandejas con malla	Varias		Acero inoxidable
Fuentes para lavar	4		Acero inoxidable
Olla	2		Acero inoxidable
Cuchillos	2		Acero inoxidable
Ralladora	1		Acero inoxidable
Tabla de cortes	1	-	Acero inoxidable
Cucharas			Acero inoxidable
Servilletas	Rollo	-	-
Bolsas de polipropileno	50		-
Guantes	20	-	Látex
Papel aluminio	1	-	-

Fuente: Elaboración propia (2023)

3.8.4. Reactivos e insumos

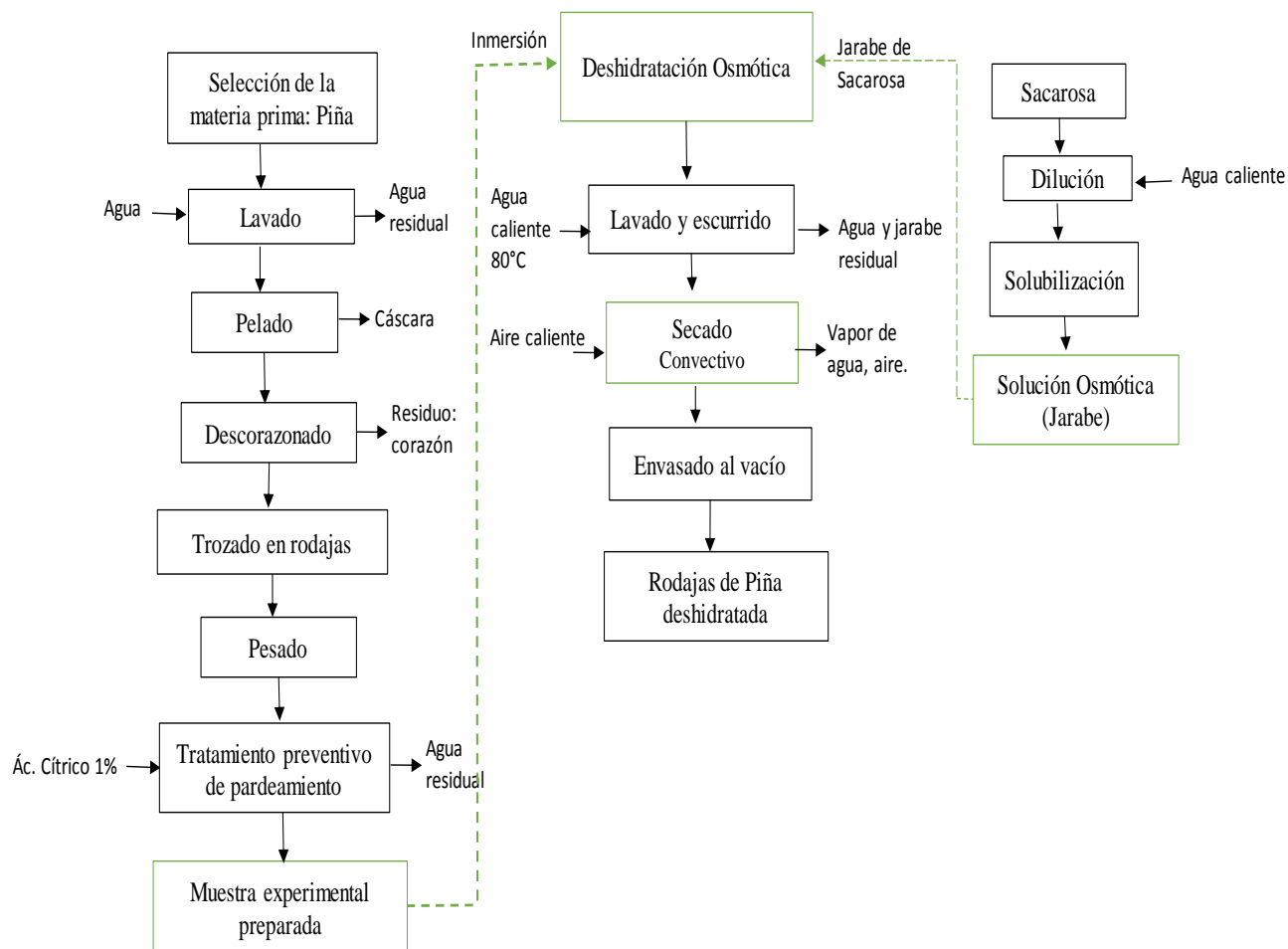
Tabla III-8: Reactivos e insumos

Ingrediente	Estado	Procedencia
Sacarosa	Sólido	I.A.B.S.A (Tarija-Bolivia)
Ácido cítrico	Sólido	Solquifar (Santa Cruz-Bolivia)

Fuente: Elaboración propia (2023)

3.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO TECNOLÓGICO

Figura 3-30 Diagrama de bloques para la elaboración de rodajas de piña por ósmosis y secado convectivo



Fuente: Elaboración propia (2023)

Posterior al control de calidad y estado de madurez de las piñas, se pasó al estudio de tratamiento de transformación hasta obtener el resultado final mediante los métodos de deshidratación por ósmosis en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales y así mismo complementar con la última etapa que es el secado convectivo realizado en las instalaciones de la carrera de Ingeniería de Alimentos en el Laboratorio de Cereales, de igual manera

ambos pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (UAJMS). La caracterización se llevó adelante mediante un análisis fisicoquímico.

3.10. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de elaboración se realizó en los ambientes de laboratorio de la carrera de Ingeniería de Alimentos y los ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera Ingeniería Química.

3.10.1. Selección de la materia prima

En esta operación se procede a seleccionar las piñas que están en mejores condiciones en un proceso de separación de las frutas en buen estado de las frutas que no cumplen con los niveles de requerimiento para el proceso.

Daños mecánicos: todas las piñas con daños físicos debido a golpes que presentan durante su traslado, son separados de las frutas seleccionadas.

Figura 3-31 Piña seleccionada



Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.2. Lavado

Es importante la higiene para el proceso, consiste en lavar con abundante agua potable para eliminar impurezas adheridas a la fruta.

3.10.3. Pelado - Descorazonado

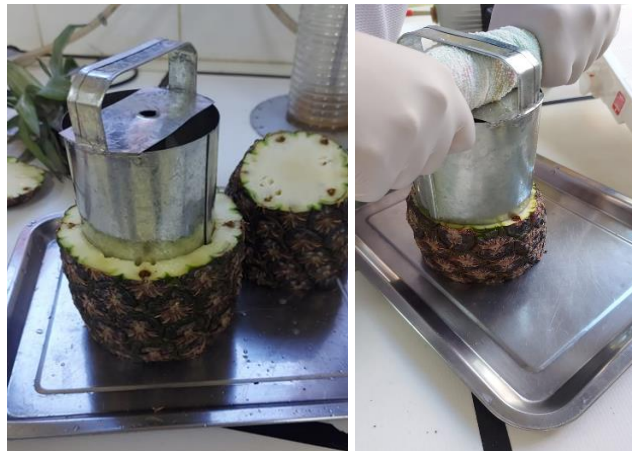
Dentro del proceso productivo de elaboración de las rodajas de piña deshidratadas, se realizó un previa desinfección y cuidado de cada material de cocina empleado como utensilios, equipos e instrumentos utilizados durante el proceso.

La desinfección se llevó a cabo realizando el lavado de todo el material con detergente desinfectante, posterior a enjuagar con agua destilada, nuevamente enjuagar con alcohol y secar en la estufa (para mayor rapidez de secado y lograr una desinfección completa del material) del laboratorio de operaciones unitarias.

Se dio uso a los guantes de látex para evitar con tanto con la pulpa de la fruta y evitar la directa contaminación con las manos.

Operación que ejerce fuerza para quitar la cascara y el descorazonado de la fruta, se emplea manualmente utilizando un cortador de acero inoxidable en forma de cilindro penetrando en la fruta a la misma vez quitando ambos residuos.

Figura 3-32 Pelado y descorazonado de la piña



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 3-33 Cáscara de la piña



Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.4. Trozado en rodajas

El tamaño y la forma del producto juegan un papel importante en la cinética del proceso de deshidratación, además determina la forma estética de presentación del producto final de acuerdo a la bibliografía recabada y las pruebas preliminares, la pulpa de la fruta es cortada en rodajas de 0.5 cm de espesor.

El procedimiento en esta fase se hizo de la siguiente forma:

La piña entera es cortada en rodajas, con la ayuda de una ralladora regulable de cocina de acero inoxidable de 4 niveles de corte, de acuerdo con la fase pre-experimental se determinó el espesor ideal de 0,5 cm exactos de cada rodaja.

Figura 3-34 Rodajas de piña



Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.5. Pesado

Peso de la muestra de rodajas se determinó con una balanza, se trabajó con muestras de 20 a 25 gramos acumulando un total de 450 gr por muestra (dependiendo).

Figura 3-35 Pesado de las rodajas de piña



Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.6. Tratamiento previo de pardeamiento

Las frutas en lo general durante el proceso de deshidratado, sufren pardeamiento enzimático y no enzimático, que cambian el color y el sabor del producto que, en muchos casos, no son agradables.

Para esto es necesario emplear el pretratamiento precisamente para evitar el mismo, se seleccionó un agente acidulante: ácido cítrico.

Que tiene la función de reducir el pH de las rodajas de piña, y prevenir el pardeamiento durante el proceso de deshidratación y almacenamiento del producto terminado.

Se trabajó en la preparación del ácido cítrico: por cada 1gramo de ácido cítrico 100ml de agua para evitar el pardeamiento.

Para el tratamiento previo de pardeamiento se utilizó agua tratada (agua potable), previamente hervida y posteriormente enfriada para el cuidado e inocuidad del producto final.

El tratamiento consta en sumergir las rodajas de piña en la solución de ácido cítrico al 1% por tiempo de 10 minutos.

Figura 3-36 Tratamiento preventivo de pardeamiento con ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia (2023)

En la figura 3-36, se muestra el tratamiento de las rodajas de piña en ácido cítrico al 1%, mediante una agitación manual en la solución, esto permite que se cree una película de protección superficial en las rodajas de piña, que le protegerá posteriormente de la oxidación y obtener un buen color y gusto del producto final.

Esto se definió en base a que después de varias pruebas preliminares de autoevaluación organoléptica se determinó para un bañado uniforme de las rodajas de piña, un tiempo óptimo de 10 minutos aproximadamente, con agitación manual sin necesidad de registrar rangos de tiempo.

3.10.7. Preparación de la solución osmótica

Los dos niveles de acuerdo al diseño establecido, ambos niveles para las soluciones se prepararon en distintas concentraciones, 40 y 60 °Brix usando la relación 3:1.

Ej. Para la muestra M1 y M6 a diferentes concentraciones se tiene:

60 °Brix: masa de sacarosa: $\frac{60^{\circ}Brix}{100}$

$$m_{\text{pulpa de piña}} = 102g$$

$$m_{\text{jarabe}} = 102 \times 3 =$$

$$m_{\text{jarabe}} = 306g$$

$$m_{\text{sacarosa}} = \frac{60^{\circ}Brix}{100} \times 306g$$

$$m_{\text{sacarosa}} = 183,6g$$

Masa de agua:

$$m_{H_2O} = m_{\text{jarabe}} - m_{\text{sacarosa}}$$

$$m_{H_2O} = 306g - 183,6g = 122,4g$$

40 °Brix: masa de sacarosa: $\frac{40^{\circ}Brix}{100}$

$$m_{\text{pulpa de piña}} = 111,5g$$

$$m_{\text{jarabe}} = 111,5g \times 3 = 334,5g$$

$$m_{\text{jarabe}} = 334,5g$$

$$m_{\text{sacarosa}} = \frac{40^{\circ}Brix}{100} \times 334,5g$$

$$m_{\text{sacarosa}} = 133,8g$$

Masa de agua:

$$m_{H_2O} = m_{\text{jarabe}} - m_{\text{sacarosa}}$$

$$m_{H_2O} = 334,5g - 133,8g = 200,7g$$

Se realizó la medición de los grados °Brix en el refractómetro para revalidar el grado °Brix exacto de acuerdo al nivel correspondiente, se procedió a sumergir las rodajas de piña y dar inicio a la osmosis.

3.10.8. Deshidratación Osmótica

El proceso consta en sumergir las rodajas de piña dentro de la solución por lo que provoca una mayor transferencia de masa respecto a la concentración con la de la fruta.

El proceso realizado fue en dos niveles con distintos tiempos (240 min–300 min), con temperaturas (40-60) °C y concentraciones (40-60) °Brix. Con la relación solución/alimento utilizado en esta etapa la relación 3:1 (300 g de jarabe por 400 g de piña).

El porcentaje de humedad se determinó al finalizar cada proceso de deshidratación osmótica.

Figura 3-37 Deshidratación baño maría



Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.9. Lavado y escurrido

Al finalizar el proceso de deshidratación, se procede al lavado de la muestra con agua abundante suavemente a 80°C durante un par de minutos, con el propósito de eliminar el excedente de jarabe posteriormente a escurrir por unos minutos antes de llevar al secador convectivo de bandejas para evitar una rehidratación de las rodajas.

Figura 3-38 Lavado y escurrido



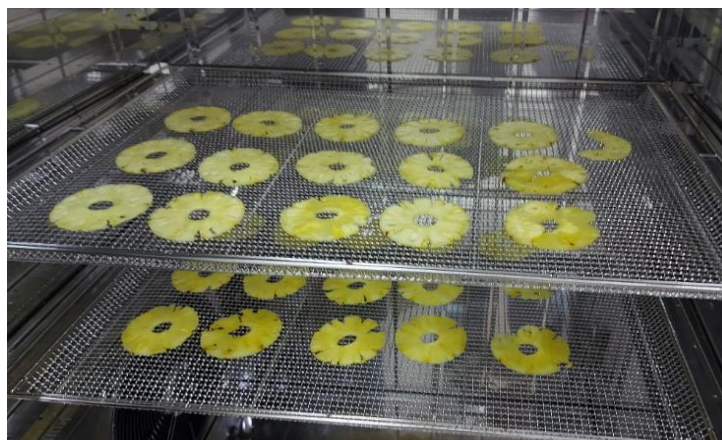
Fuente: Elaboración propia (2023)

3.10.10. Secado convectivo: secado en bandejas

Para continuar con la fase experimental, una vez finalizada la osmosis, lavado y escurrido; se sometió las rodajas al secador de bandejas a través de la inducción de aire caliente que genera el secador a temperaturas establecidos en los niveles siguientes: 40-60 °C.

El proceso de secado fue constante hasta que la pérdida de agua entra en equilibrio con el medio, es donde el peso de la fruta deshidratada se vuelve constante en el tiempo.

Figura 3-39 Rodajas de piña en el secador de bandejas



Fuente: Elaboración propia (2023)

En la figura muestra a las rodajas de Piña entrando a un secador de bandejas todas las rodajas con espaciamiento, puestas sobre una bandeja de acero inoxidable y fácil de retirar la rodaja evitando que se prenda, que permite que el secado sea homogéneo y llegue directamente al alimento. La humedad final en cada medición del proceso, se determinó en el secador infrarrojo o termobalanza para cada muestra, a una temperatura estándar de 105 °C.

3.10.11. Envasado

La etapa de envasado de las rodajas es muy importante para su conservación, este medio brinda protección mediante una barrera permeable de bolsa de polietileno, con el fin de conservar el producto y prolongar así la vida útil del producto, eliminando cualquier contacto del interior con el medio externo.

3.11. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO ELABORADO

Para el producto obtenido se realiza el análisis fisicoquímico, microbiológico en el laboratorio CEANID; se realizó pruebas organolépticas características de sabor, color, olor y textura. En función de los resultados sensoriales, para determinar la calidad del producto obtenido de acuerdo al cumplimiento de las normas, la muestra cuenta con la aceptación sensorial, humedad final parámetros nutricionales, azúcares, análisis microbiológico y grados °Brix (por medio de un refractómetro) y pH.

Evaluación sensorial de la Piña deshidratada

El valor de la calificación organoléptica se basa en la escala Hedónica de 5 puntos, para lo cual, se sometió el producto a una evaluación e interpretación independiente por cada juez, para que pudiera determinar la calidad del producto.

Tabla III-9: Escala de calificación organoléptica

Escala	Valor	Ponderación
Muy buena	5	100
Buena	4	75
Regular	3	50
Mala	2	25
Muy mala	1	0

Fuente: Elaboración propia (2023)

Puesto que para obtener una mejor interpretación tanto gráfica como estadística de las calificaciones por los jueces, es necesario asignarles una puntuación sobre 100 %, a los parámetros evaluados.

Tabla III-10: Puntuación de los parámetros evaluados

Parámetros	Valoración (%)
Evaluación visual	Total 30
Color	10
Forma	10
Brillo	10
Evaluación olfativa	Total 15
Olor	15
Evaluación de gusto	Total 45
Dulzor	15
Acidez	10
Humedad	10
Masticabilidad	10
Evaluación de tacto	Total 10
Textura	10
Sumatoria total de las valoraciones asignadas a cada parámetro	100

Fuente: Elaboración propia (2023)

La evaluación e interpretación de las pruebas organolépticas, se seleccionó a 16 jueces al azar, para que asignaran las calificaciones correspondientes de las ocho muestras realizadas más sus réplicas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de ingeniería Química. Ver los resultados en el capítulo IV.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. FASE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la fase experimental fue amplio de acuerdo al estudio propuesto se obtiene resultados del planteamiento en base a la información indagada en el capítulo II, se trabajó con ambas etapas en la primera con la ósmosis seguido por la segunda etapa de: secado convectivo, con el propósito de alcanzar la humedad interna de las membranas de cada rodaja de piña (0,5 espesor), donde no se inhibe la proliferación microbológica.

4.1.1. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LAS RODAJAS DE PIÑA

Es una etapa donde las rodajas de piña se deshidratan de forma parcial, mediante una transferencia de masas; las rodajas de piña inmersas en el jarabe osmótico pierden peso (*agua y sustancias orgánicas de bajo peso molecular*), a la misma vez ganan sólidos (*sacarosa y ácido cítrico*).

La investigación se realiza partiendo desde las pruebas preliminares hasta la realización de los ocho experimentos más su réplica con las muestras descritas en el capítulo anterior, puesto que se evalúa mediante los resultados obtenidos en cada combinación de los factores de la muestra en la transferencia de masas entre el jarabe y la fruta, en los modelos matemáticos que se ve más adelante.

En la tabla se observa las interacciones con los niveles de cada variable y, tomando en cuenta como variable respuesta la ganancia de sólidos solubles (GS), se tiene lo siguiente:

Tabla IV-1: Resumen de los resultados del diseño factorial en la ósmosis

N° de Exp.	Concentración osmótica (°Brix)	Tiempo de inmersión (h)	Temperatura de la solución (°C)	Ganancia de sólidos solubles (GS)	
				1ra	2da réplica
1	+	+	+	20,864	3,473
2	+	+	-	17,936	1,055
3	+	-	+	3,263	5,738
4	+	-	-	2,282	1,040
5	-	+	+	14,213	3,087
6	-	+	-	15,267	2,464
7	-	-	+	2,182	4,681
8	-	-	-	3,543	3,693

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se observa en la tabla IV-1, en la columna se muestra los resultados obtenidos a través de la elaboración de las rodajas obteniendo resultados diferentes en algunas de sus réplicas por lo cual esto indica la humedad inicial a cual están partiendo.

4.1.2. Determinación de la humedad de la materia prima

De acuerdo a las pruebas preliminares se determinó la humedad en el sacador infrarrojo y para mejores resultados se tomó en cuenta la humedad y el tiempo de secado para la pulpa fresca de las muestras a ensayar.

Para la determinación de la humedad se realizó el análisis a la piña en fresco para determinar la humedad de acuerdo con los resultados obtenido del CEANID, se tiene como resultado el % de humedad en base húmeda.

Pulpa fresca	88,43%
---------------------	---------------

Otra manera de determinar es obteniendo datos en intervalos de tiempo en donde la Humedad extraída (%) se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad extraída} = \% \text{ Humedad inicial} - \% \text{ Humedad final}$$

Las ecuaciones de cálculo de la deshidratación osmótica se detallan a continuación:

Expresada como los gramos de agua que pierde en la muestra por cada cien gramos de muestra fresca y donde ST_0 es el contenido de sólidos totales de la fruta fresca.

4.1.3. Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica PP%

De la ecuación (2-1):

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

Donde:

m_i =es la masa de la muestra fresca.

m_f = es la masa de la muestra ya osmodeshidratados.

Por lo tanto, reemplazando:

$$PP(\%) = \left(\frac{102 \text{ g} - 66 \text{ g}}{102 \text{ g}} \right) \times 100 = 35,294$$

En la tabla se muestra la pérdida de peso en las rodajas de piña a diferente concentración, tiempo y temperatura.

Tabla IV-2: Pérdida de peso vs tiempo y temperatura

N° Experimento	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	PPExp	PPExp. Replica
M1	60	360	60	35,294	66,256
M2	60	360	40	37,255	67,734
M3	60	240	60	66,667	67,070
M4	60	240	40	68,493	69,734
M5	40	360	60	29,148	59,043
M6	40	360	40	28,251	66,755
M7	40	240	60	63,942	60,111
M8	40	240	60	64,904	67,313

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-2, se representa la columna **PPExp** para identificar la pérdida de peso de cada experimento.

4.1.4. Contenido de sólidos totales en la osmodeshidratación

La ganancia de sólidos totales (ST), denominada así a la cantidad de sólidos solubles totales que ingresan y llega a tener la rodaja de piña respecto al tiempo durante la osmodeshidratación.

Para cada experimento se tomó en cuenta los sólidos solubles mediante el proceso de transferencia de masas en el proceso de deshidratación a una temperatura, concentración y tiempo de acuerdo a cada ensayo del diseño factorial empleado.

Usando la ecuación para el cálculo de la ganancia de sólidos solubles de las muestras se aplica de acuerdo a la ecuación.

De la ecuación (2-2):

$$ST(\%) = \left(\frac{ms}{mo} \right) \times 100$$

Donde:

mo= masa de la rodaja de piña osmodeshidratada = 66 g para un $t_{DO} = 360$ min, 60 °Brix y 60°C.

ms= masa de la rodaja seca (después del secado convectivo) = 33, 082 g para un $t_{DO} = 360$ min, 60 °Brix y 60°C.

Remplazando:

$$ST(\%) = \left(\frac{33,082 \text{ g}}{66 \text{ g}} \right) \times 100 =$$

$$ST(\%) = 50,12\%$$

Donde 33,082 g se obtiene según:

$$ms(\%) = mo \left(1 - \frac{Ho - H_f}{100} \right) =$$

Donde:

mo= masa de la rodaja de piña osmodeshidratada.

ms= masa de la rodaja seca (después del secado convectivo)

Ho=humedad medida después de la deshidratación osmótica

Hf= humedad final medida después del secado convectivo

Reemplazando:

$$ms(\%) = 66 g \left(1 - \frac{57,81 - 7,9349}{100} \right) =$$

$$ms(\%) = 33,082 g$$

En la siguiente tabla IV- 18, se muestra la ganancia de sólidos totales en las rodajas en distintas concentraciones vs tiempo y temperatura durante la deshidratación osmótica.

Se tiene que:

Tabla IV- 3: Ganancia de los sólidos totales en las rodajas de piña osmodeshidratados

N° Experimento	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	ST (%)	ST Replica
M1	60	360	60	50,125	44,580
M2	60	360	40	47,025	39,127
M3	60	240	60	44,500	52,560
M4	60	240	40	43,965	41,664
M5	40	360	60	36,390	35,786
M6	40	360	40	37,404	42,215
M7	40	240	60	38,140	40,740
M8	40	240	60	43,061	46,695

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-3, se muestran resultados de los cálculos de los sólidos totales de las rodajas de piña en diferente concentración, tiempo y temperatura durante la deshidratación osmótica.

4.1.5. Pérdida de agua en las rodajas de piña durante la ósmosis

La pérdida de agua, se denomina a la cantidad de agua que pierde la piña durante la deshidratación por ósmosis por cada 100 g de rodaja de piña fresca que entra.

De la ecuación (2-3):

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{ST_0}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{PP}{100} \right) \right] \times 100$$

Donde:

ST₀ = es el contenido de sólidos totales de la fruta fresca, corresponde al resultado obtenido del análisis de la piña en fresco por cada 100 gramos de muestra.

ST = es el contenido de sólidos totales de la muestra osmodeshidratada.

PP = pérdida de peso durante la deshidratación.

Remplazando:

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{11,57}{100} \right) - \left(1 - \frac{52,12 \text{ g}}{100} \right) \left(1 - \frac{35,29 \text{ g}}{100} \right) \right] \times 100$$

$$PA(\%) = 56,158$$

Tabla IV-4: Pérdida de agua en las rodajas de piña durante la osmosis

N° Experimento	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	PA (%)	PA Replica
M1	60	60	360	56,158	69,729
M2	60	60	240	55,191	68,789
M3	60	40	360	69,930	72,808
M4	60	40	240	70,775	70,774
M5	40	60	360	43,361	62,129
M6	40	60	240	43,518	69,219
M7	40	40	360	66,125	64,792
M8	40	40	240	68,447	71,006

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-4, se muestra los resultados de la pérdida de agua de cada experimento en el proceso de ósmosis.

4.1.6. Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica GS (%):

Se expresada como los gramos de sólidos que ingresan al tejido por cada cien gramos de muestra fresca.

De la ecuación (2-4):

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \times \frac{ST}{100} - \frac{ST_0}{100} \right] \times 100$$

Reemplazando:

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{35,259}{100} \right) \times \frac{50,125}{100} - \frac{11,57}{100} \right] \times 100$$

$$GS(\%) = 20,864$$

Tabla IV-5: Ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica

N° Ensayos	Concentración	Temperatura	Tiempo (min)	GS (%)	GS Replica
M1	60	60	360	20,864	3,473
M2	60	60	240	17,936	1,055
M3	60	40	360	3,263	5,738
M4	60	40	240	2,282	1,040
M5	40	60	360	14,213	3,087
M6	40	60	240	15,267	2,464
M7	40	40	360	2,182	4,681
M8	40	40	240	3,543	3,693

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.2. SECADO CONVECTIVO DE LAS RODAJAS

La deshidratación osmótica remueve grandes cantidades de agua incluso puede superar el 50% del peso inicial de la piña, en esta anterior etapa no garantiza un producto libre de bacterias ya que la actividad acuosa alcanzada no es lo suficientemente baja como para inhibir la proliferación de microorganismos.

El secado convectivo complementa el proceso de elaboración de las rodajas de piña osmodeshidratada en el equipo de secador de bandejas mediante secado convectivo para reducir la cantidad de humedad en las rodajas de piña.

Tabla IV-6: Resumen de los resultados del diseño factorial en el secado convectivo

Nº de Experimento	Temperatura de la solución (°C)	Tiempo de inmersión (h)	% Humedad	
			1ra	2da réplica
1	+	+	7,93	5,46
2	+	-	8,16	9,23
3	-	+	11,54	11,45
4	-	-	14,66	11,96
5	+	+	7,08	6,34
6	+	-	8,09	9,79
7	-	+	8,83	8,54
8	-	-	13,75	12,57

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-6, se observa los resultados de los ensayos experimentales obtenidos una vez terminado el secado convectivo en el secador de bandejas del Laboratorio de Cereales perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Alimentos, después del secado de cada experimento, a través de la termobalanza se midió la humedad de cada uno y su réplica como se muestra en la tabla siendo el más repetitivo el ensayo número ocho.

Curva de secado de las rodajas de piña

El comportamiento de la pérdida de agua en las rodajas de piña durante el secado convectivo, se considera como la variación de la humedad libre respecto al tiempo expresada matemáticamente mediante la ecuación.

$$H_{bs} = \frac{m_0 - m_{seco}}{m_{seco}} =$$

Donde:

H_{bs} = Humedad en base seca.

m_0 = Masa inicial.

m_{seco} = Masa seca.

Determinación de la humedad de las rodajas de piña después de la osmosis

Para la determinación de la curva se tomó 3gramos de muestra en un intervalo de tiempo de 4 minutos con una humedad inicial de 70,69 %, se trabaja controlando el tiempo hasta un % de humedad constante.

Tabla IV-7: Determinación de la curva de secado de la pulpa de piña por el secador infrarrojo

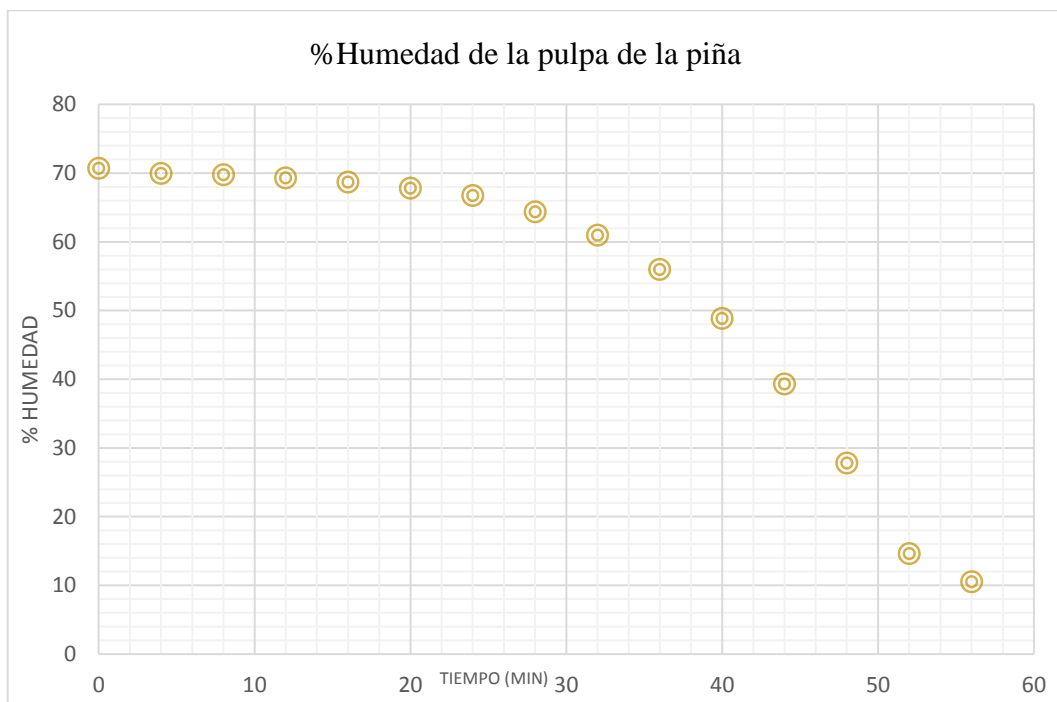
Tiempo (min)	Humedad (%)
0	70,69
4	69,95
8	69,77
12	69,30
16	68,69
20	67,77
24	66,70
28	64,34
32	60,95
36	55,96
40	48,83
44	39,29
48	27,80
52	14,58
56	10,51

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la Tabla IV-7, se observa el contenido de humedad de la pulpa de piña respecto al tiempo en la curva de secado.

Para la construcción de la curva de humedad, se somete 3g de muestra de pulpa de la rodaja ya osmodeshidratados en el secador infrarrojo, puesto que en la tabla anterior se observa la humedad inicial y la final, para poder tener un dato o rango de donde parte el comienzo de la determinación de la curva de secado, se toma en cuenta los datos en la siguiente tabla como: la humedad inicial y final, la humedad extraída. Los porcentajes de humedad de pulpa de piña, en función al tiempo, para la construcción de la curva de secado con un intervalo de 4 min, con una humedad inicial de 70,69 % hasta alcanzar una humedad final.

Figura 4-1: Curva de secado de la pulpa de piña para un contenido de humedad inicial de 70,69 %



Fuente: Elaboración propia (2023)

4.3. RESULTADOS DE LA MATERIA PRIMA

Trabajando más a detalle con el objetivo de lograr información confiable y realizar una comparación, se analizaron las propiedades: fisicoquímicas y nutricionales de la materia prima utilizada anteriormente, se muestra a continuación resultados obtenidos de la piña.

Análisis de las propiedades fisicoquímicas de la Piña en fresco

Correspondientemente a las propiedades fisicoquímicas de la Piña, se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se determinó los siguientes parámetros y técnicas que se detallan en la tabla.

Tabla IV-8: Propiedades fisicoquímicas de la piña

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Azúcares totales	NB 38033:06	%	9,36
Azúcares reductores	NB 38033:06	%	2,72
Ceniza	NB 39034:10	%	0,38
Fibra	Digestión ácida	%	0,45
Grasa	NB 313019:06	%	0,00
Hidratos de Carbono	NB 312031:10	%	10,54
Humedad	NB 313010:05	%	88,43
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	0,65
Valor energético	NB 312032:06	Kcal/100g	44,76

Fuente: CEANID (2023)

Como se puede observar en la tabla IV-24, los resultados del análisis de propiedades fisicoquímicas, de la Piña fresca, tiene un contenido de humedad aproximado 88,43 %, el valor de las proteínas es del 0,65 %, la fibra 0,45 %, los hidratos de carbono 10,54%, azúcares totales 9,36%, materia grasa n.d %, los minerales o ceniza 0,38 %, el valor energético es 44,76 Kcal por cada 100 g de porción de Piña.

4.4. RESULTADOS DE LA CATACIÓN ORGANOLÉPTICAS (*participativa*)

En el análisis de la evaluación de las rodajas de piña deshidratadas a través de un panel de catadores, nos llevó a los resultados precisos para la selección del mejor experimento, en el anterior capítulo se observa la escala descrita en ella se mostró los parámetros a analizar sensorialmente, de acuerdo a los resultados se describe el grado de aceptabilidad del producto obtenido mediante una evaluación visual, olfativa, gustativa y de contacto que se tiene a continuación.

4.4.1. Resultado del análisis visual de las rodajas

Se ilustra los parámetros de la evaluación visual de cada rodaja deshidratada:

Tabla IV-9: Puntuación de la evaluación visual

Parámetros	Valoración (%)
Evaluación visual	Total 30
Color	10
Forma	10
Brillo	10

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la siguiente Tabla IV-25, se muestra el grado de aceptación visual de las rodajas de piña deshidratadas para cada una de las 16 muestras, que es el resultado de la sumatoria de los parámetros específicos evaluados como es el color, forma y brillo, donde los jueces a criterio personal dieron su calificación a cada muestra.

Tabla IV-10: Datos obtenidos de la evaluación visual

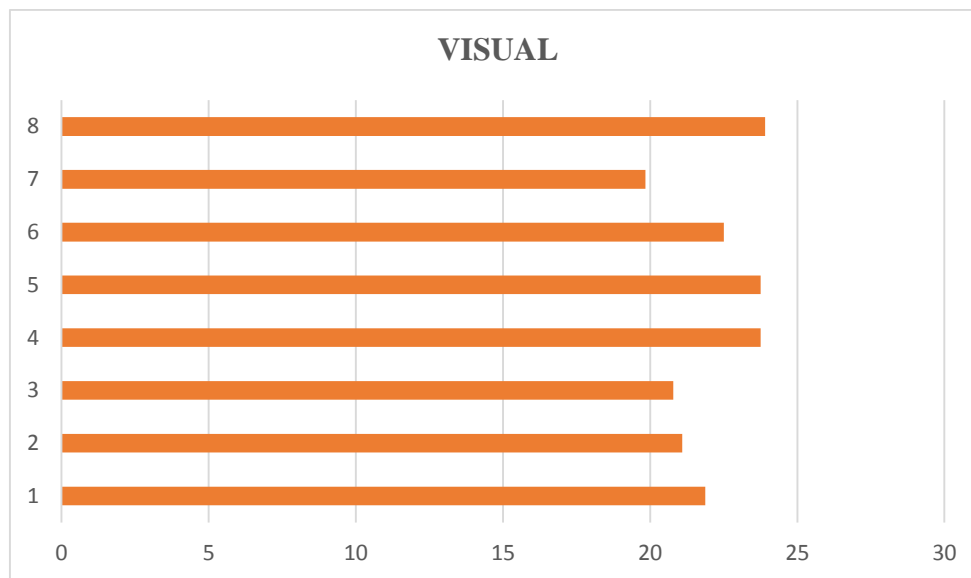
VISUAL								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	22,50	17,50	17,50	20,00	15,00	17,50	25,00	25,00
2	22,50	20,00	30,00	20,00	30,00	30,00	12,50	30,00
3	20,00	17,50	15,00	20,00	5,00	27,50	12,50	25,00
4	22,50	25,00	30,00	22,50	30,00	20,00	22,50	30,00
5	30,00	27,50	20,00	22,50	30,00	30,00	27,50	22,50
6	25,00	12,50	15,00	30,00	25,00	12,50	20,00	20,00
7	27,50	27,50	27,50	30,00	25,00	22,50	22,50	25,00
8	25,00	20,00	17,50	25,00	22,50	22,50	25,00	22,50
9	22,50	20,00	22,50	22,50	20,00	20,00	20,00	25,00
10	17,50	22,50	17,50	17,50	17,50	15,00	10,00	10,00
11	20,00	22,50	25,00	25,00	25,00	25,00	22,50	27,50
12	20,00	20,00	22,50	30,00	30,00	25,00	22,50	25,00
13	20,00	22,50	15,00	22,50	25,00	17,50	17,50	17,50
14	22,50	20,00	20,00	25,00	27,50	22,50	17,50	22,50
15	20,00	20,00	20,00	25,00	25,00	27,50	25,00	30,00
16	12,50	22,50	17,50	22,50	27,50	25,00	15,00	25,00

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la Tabla IV-10, para una mejor representación el valor obtenido de la aceptación visual se llevó a una escala de 100 puntos, el parámetro específico visual es el resultado del valor promedio calificado por los degustadores sobre el valor de la escala hedónica más elevada, el resultado se multiplicada por la ponderación del parámetro específico visual de esta manera se obtiene los datos recabados en su totalidad.

Para una mejor comparación de los resultados se tiene la siguiente gráfica:

Figura 4-2 Resultado de la evaluación visual del producto elaborado



Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la figura 4-11, se muestra la aceptación visual de las 8 muestras experimentales analizando color, forma y brillo

4.4.2. Resultado del análisis olfativo de las rodajas

En la siguiente tabla se ilustra el parámetro de evaluación olfativa de las rodajas deshidratadas para cada muestra.

Tabla IV-11: Puntuación de la evaluación olfativa

Parámetros	Valoración (%)
Evaluación olfativa	Total 15
Olor	15

Fuentes: Elaboración propia (2023)

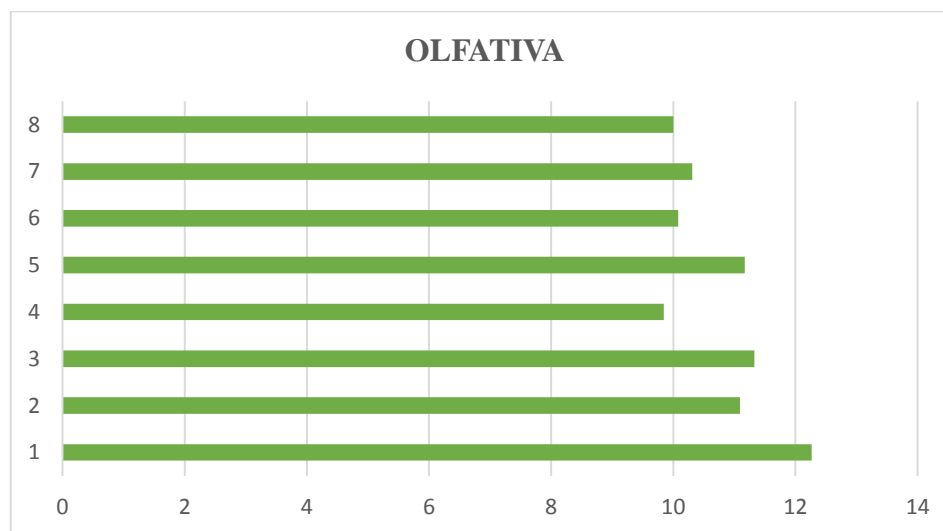
Tabla IV-12: Datos obtenidos de la evaluación olfativa

OLFATIVA								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	7,50	7,50	11,25	7,50	3,75	7,50	15,00	7,50
2	7,50	11,25	15,00	11,25	7,50	15,00	7,50	7,50
3	7,50	11,25	15,00	3,75	15,00	7,50	15,00	3,75
4	7,50	7,50	11,25	11,25	11,25	7,50	7,50	11,25
5	11,25	15,00	15,00	11,25	15,00	15,00	15,00	15,00
6	11,25	7,50	11,25	11,25	15,00	11,25	11,25	11,25
7	27,50	27,50	27,50	30,00	25,00	22,50	22,50	25,00
8	11,25	11,25	7,50	7,50	11,25	7,50	11,25	11,25
9	15,00	7,50	11,25	7,50	0,00	0,00	3,75	7,50
10	7,50	3,75	7,50	3,75	11,25	3,75	3,75	3,75
11	15,00	7,50	0,00	0,00	7,50	7,50	7,50	7,50
12	15,00	7,50	7,50	15,00	15,00	11,25	11,25	11,25
13	11,25	11,25	7,50	3,75	7,50	7,50	3,75	7,50
14	11,25	11,25	7,50	7,50	7,50	15,00	7,50	7,50
15	15,00	15,00	11,25	11,25	15,00	7,50	15,00	15,00
16	15,00	15,00	15,00	15,00	11,25	15,00	7,50	7,50

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-28, se observa los datos obtenidos de la evaluación de cada muestra, para una mejor representación del parámetro olfativo:

Figura 4-3 Resultados de la evaluación olfativa del producto elaborado



Fuentes: Elaboración propia (2023)

4.4.3. Resultado del análisis del sabor de las rodajas

En la tabla IV-13 se observa los parámetros de la evaluación del sabor de las rodajas de piña deshidratadas para cada muestra como: el dulzor, acidez, humedad, Masticabilidad.

Tabla IV-13: Puntuación de la evaluación del sabor

Parámetros	Valoración (%)
Evaluación del sabor	Total 45
Dulzor	15
Acidez	10
Humedad	10
Masticabilidad	10

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la Tabla IV-14, se muestran los parámetros de la evaluación del sabor de las rodajas de piña deshidratadas para cada muestra como: dulzor, acidez, humedad y masticabilidad.

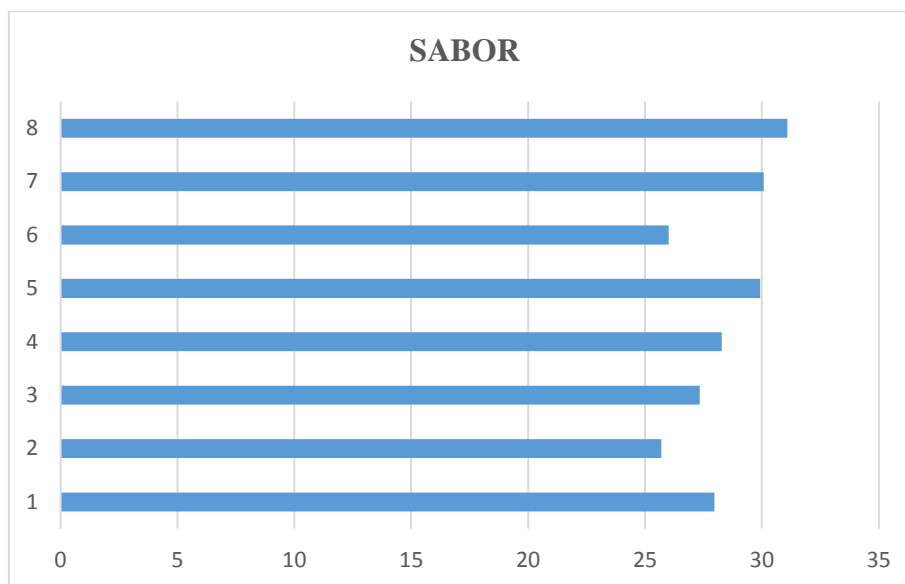
Tabla IV-14: Resultados de la evaluación del sabor del producto final

SABOR								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	23,75	17,50	23,75	20,00	12,50	18,75	25,00	22,50
2	18,75	25,00	23,75	23,75	23,75	10,00	13,75	21,25
3	25,00	26,25	17,50	28,75	32,50	18,75	40,00	27,50
4	20,00	26,25	32,50	26,25	28,75	20,00	26,25	21,25
5	35,00	42,50	35,00	35,00	42,50	45,00	40,00	42,50
6	28,75	22,50	22,50	40,00	45,00	37,50	42,50	38,75
7	33,75	40,00	31,25	27,50	31,25	28,75	40,00	40,00
8	26,25	17,50	17,50	20,00	21,25	20,00	28,75	26,25
9	37,50	25,00	30,00	31,25	17,50	15,00	27,50	30,00
10	31,25	27,50	27,50	36,25	35,00	22,50	25,00	26,25
11	21,25	26,25	32,50	32,50	32,50	23,75	22,50	31,25
12	22,50	22,50	22,50	33,75	36,25	31,25	31,25	37,50
13	40,00	33,75	32,50	20,00	25,00	22,50	22,50	28,75
14	30,00	20,00	26,25	30,00	33,75	31,25	15,00	20,00
15	16,25	7,50	25,00	16,25	27,50	31,25	38,75	45,00
16	37,50	31,25	37,50	31,25	33,75	40,00	42,50	38,75

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la siguiente figura 4-4, se representa gráficamente el grado de aceptación del sabor de las rodajas de piña deshidratadas para cada muestra.

Figura 4-4 Resultado de la evaluación del sabor



Fuentes: Elaboración propia (2023)

Se observa en la Figura 4-4, los resultados gráficos que la muestra M8 es la más seleccionada de acuerdo a los resultados de los 16 jueces, dentro de los cuatro parámetros designados para esta encuesta de citación.

4.4.4. Resultado del análisis de textura de las rodajas

Se muestra en la tabla la evolución de la textura del producto elaborado.

Tabla IV-15: Puntuación de la evaluación del tacto

Parámetros	Valoración (%)
Evaluación de tacto	Total 10
Textura	10

Fuentes: Elaboración propia (2023)

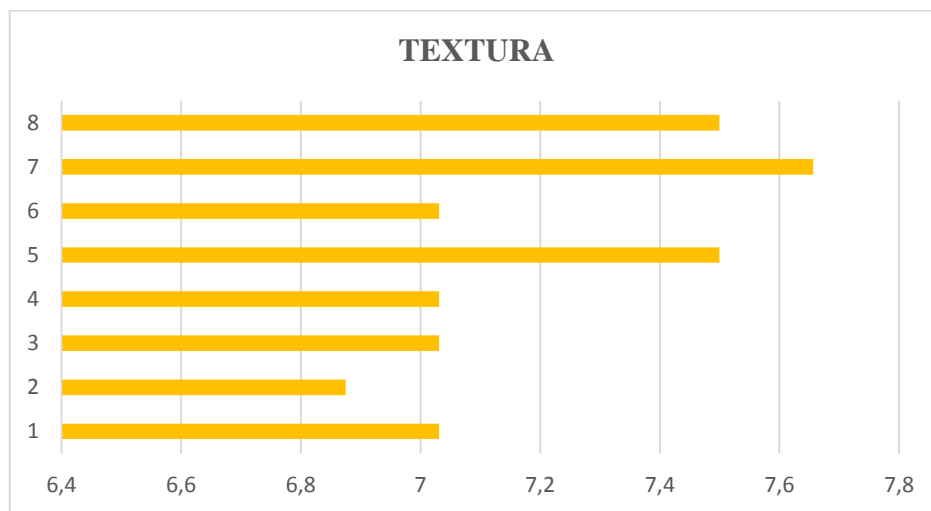
Tabla IV-16: Resultados de la evaluación del tacto del producto elaborado

TEXTURA								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	7,50	7,50	7,50	7,50	2,50	5,00	7,50	7,50
2	7,50	7,50	10,00	5,00	7,50	7,50	7,50	10,00
3	5,00	7,50	7,50	10,00	7,50	7,50	10,00	7,50
4	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
5	10,00	10,00	7,50	7,50	10,00	10,00	10,00	7,50
6	5,00	5,00	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00
7	7,50	10,00	7,50	7,50	10,00	10,00	10,00	7,50
8	7,50	7,50	7,50	5,00	7,50	5,00	7,50	5,00
9	7,50	7,50	5,00	5,00	5,00	7,50	7,50	7,50
10	7,50	5,00	5,00	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
11	5,00	5,00	7,50	7,50	5,00	5,00	5,00	5,00
12	7,50	7,50	7,50	7,50	10,00	7,50	7,50	7,50
13	7,50	5,00	7,50	5,00	5,00	2,50	2,50	7,50
14	5,00	5,00	5,00	7,50	10,00	7,50	5,00	5,00
15	5,00	2,50	7,50	7,50	7,50	7,50	10,00	10,00
16	10,00	10,00	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50

Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-16, se muestra el grado de aceptación de textura de las rodajas de piña deshidratadas para cada muestra.

Figura 4-5 Representación gráfica de la textura del producto elaborado



Fuentes: Elaboración propia (2023)

En la figura 4-5, se observa la aceptación de la textura de las rodajas de la piña deshidratadas como producto final.

4.4.5. Resumen de las pruebas organolépticas

El grado de aceptación de las rodajas de piña deshidratada sobre pasa el 60 % en general., obteniéndose la mayor aceptación en la mayoría de los parámetros la muestra M8 con un porcentaje de aceptación del 72 %, seguido de la muestra M5 con el 71 %, la muestra M1 con un 68,1 %, M4 con el 67,5 %, M7 con el 67,2 %, M3 con el 65,2 %, M6 con el 64,9 % y finalmente la muestra M2 con el 63,8 %. Ver figura 4-6.

Figura 4-6 Grado de aceptación de las rodajas de piña deshidratadas



Fuente: Elaboración propia (2023)

4.5. RESULTADOS DEL PRODUCTO FINAL

4.5.1. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del producto

Se determinó el análisis fisicoquímico para el producto final, se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, los siguientes parámetros que se detallan en la tabla.

Tabla IV-17: Análisis fisicoquímicos de las rodajas de piña deshidratadas

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado	N. de calidad
Azúcares totales	NB 38033:06	%	62,98	25 máx
Azúcares reductores	NB 38033:06	%	33,96	-
Ceniza	NB 39034:10	%	0,61	1,12
Fibra	Digestión ácida	%	0,93	
Grasa	NB 313019:06	%	0,33	
Hidratos de Carbono	NB 312031:10	%	82,02	
Humedad	NB 313010:05	%	15,08	
Sacarosa	NB 38033:14	%	29,02	
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	1,96	
Valor energético	NB 312032:06	Kcal/100 g	338,89	257,24

Fuente: CEANID (2023)

En la tabla IV-17, se observa el resultado del análisis a las propiedades nutricionales realizadas a las rodajas de piña deshidratadas de la muestra ganadora M8 de acuerdo a la evaluación organoléptico, se señala que los resultados están en los rangos permitidos y aprobados en la norma de calidad.

4.5.2. Parámetros microbiológicos del producto

El análisis microbiológico se realizó en el Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID), los siguientes parámetros y métodos que se observa en la tabla.

Tabla IV-18: Parámetros microbiológicos

Parámetro	Técnica y/o Método de ensayo	Unidades	Resultados	Norma sanitaria	
				m	M
Coliformes totales	NB 38033:06	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$	m	M
Mohos y levaduras	NB 38033:06	UFC/g	$2,0 \times 10^1$	1.0×10^2	10×10^3
Staphylococcus aureus	NB 39034:10	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$	-	-

Fuente: CEANID (2023)

En la tabla IV-18, se puede observar que el producto final existe la ausencia de Coliformes totales y Staphylococcus aureus, por otra parte se observa la presencia de Mohos y levaduras $2,0 \times 10^1$ UFC/g (Unidades Formadoras de Colonias) estos valores son menores a “m” puesto que indica que el producto no presenta riesgo para la salud del consumidor, mencionar que la conservación probablemente sea menor tiempo de conservación.

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SPSS

El análisis estadístico SPSS del diseño experimental posterior al trabajo experimental, se evalúa las variables más influyentes del proceso, en este caso como variable respuesta los sólidos ganados en la primera etapa: osmosis; de igual manera el % de humedad de cada experimento en la segunda etapa: secado convectivo.

A través del programa de análisis estadístico SPSS se determina el grado de error y significancia de cada variable en el proceso experimental, de igual manera se procesa el modelo matemático corregido para el proceso experimental de la investigación.

4.6.1. Análisis de varianza durante la primera etapa: Osmosis

Análisis de varianza

Tabla IV-19: Análisis de varianza del diseño factorial de la deshidratación osmótica de las rodajas de piña

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DBRIX

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	72,247 ^a	7	10,321	118,106	,000
Intersección	907,214	1	907,214	10381,512	,000
CONC	57,002	1	57,002	652,296	,000
TEMP	3,516	1	3,516	40,230	,000
TIEMPO	2,310	1	2,310	26,439	,001
CONC * TEMP	2,739	1	2,739	31,343	,001
CONC * TIEMPO	,003	1	,003	,029	,870
TEMP * TIEMPO	4,731	1	4,731	54,134	,000
CONC * TEMP * TIEMPO	1,946	1	1,946	22,269	,002
Error	,699	8	,087		
Total	980,160	16			
Total corregido	72,946	15			

a. R al cuadrado = ,990 (R al cuadrado ajustada = ,982)

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

Los resultados de la tabla IV-19, nos muestran el grado de significancia de cada variable, trabajan a un nivel de confianza del 99%, en la última columna de significancia cualquier valor menor al 0,5 % cuenta como variable significativa.

Tal es el caso, donde en estos datos las variables CONC, TIEMPO, CONC*TEMP, CONC*TIEMPO, TEMP*TIEMPO, CONC*TEMP*TIEMPO, son variables significativas para el proceso.

Tabla IV- 20: Resumen del modelo

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,995 ^a	,990	,984	,27921

a. Predictores: (Constante), CONTEMP, TEMPTIEMPO, CONCTEMP, TIEMPO, TEMP, CONC

b. Variable dependiente: DBRIX

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

El resumen de la anterior tabla IV-20, muestra como el modelo experimental se ajusta a un modelo de regresión, donde, se debe entender que un valor de R cuadrado ajustado cercano a 1 comparado a R cuadrado demuestra la cercanía de los datos experimentales a los datos ajustados al modelo de regresión.

Tabla IV-21: Coeficientes de regresión lineal del modelo matemático

Coeficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	7,530	,070		107,878	,000	7,372	7,688
	CONC	1,888	,070	,884	27,041	,000	1,730	2,045
	TEMP	-,469	,070	-,220	-6,715	,000	-,627	-,311
	TIEMPO	,380	,070	,178	5,444	,000	,222	,538
	CONCTEMP	-,414	,070	-,194	-5,928	,000	-,572	-,256
	TEMPTIEMPO	,544	,070	,255	7,790	,000	,386	,702
	CONTEMP	,349	,070	,163	4,996	,001	,191	,507

a. Variable dependiente: DBRIX

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

Utilizando las variables significativas del análisis de varianza se elabora un modelo de regresión lineal, del cual se obtiene los coeficientes no estandarizados para definir un modelo matemático.

Donde cada variable significativa, que son dependientes, multiplicada por cada valor de su coeficiente, en conjunto arrojan un resultado para la variable independiente que son la diferencia de Brix.

Quedando la ecuación matemática como sigue:

$$\Delta\text{BRIX} = 7,530 + 1,888 \times \text{CONC} - 0,469 \times \text{TEMP} + 0,380 \times \text{TIEMPO} - 0,414 \times \text{CONTEMP} + 0,544 \times \text{TEMPTIEMPO} + 0,349 \times \text{CONCTEMPTIEMPO}$$

Tabla IV-22: Representación de los datos estadísticos de °Brix en las rodajas de piña en el análisis SPSS

Experimento	CONC	TEMP	TIEMPO	DBX	AJUSTADO	ERROR
M1	1	1	1	9,74	9,86	-0,12
M2	1	1	-1	6,70	7,70	-1,00
M3	1	-1	1	9,85	9,74	0,11
M4	1	-1	-1	10,70	10,90	-0,20
M5	-1	1	1	6,20	6,13	0,07
M6	-1	1	-1	4,95	5,06	-0,11
M7	-1	-1	1	5,75	5,99	-0,24
M8	-1	-1	-1	5,45	5,56	-0,11
M9	1	1	1	9,90	9,74	0,16
M10	1	1	-1	7,80	6,84	0,96
M11	1	-1	1	9,75	9,82	-0,07
M12	1	-1	-1	10,90	10,74	0,16
M13	-1	1	1	6,10	6,21	-0,11
M14	-1	1	-1	5,10	4,94	0,16
M15	-1	-1	1	5,99	5,80	0,19
M16	-1	-1	-1	5,60	5,44	0,16

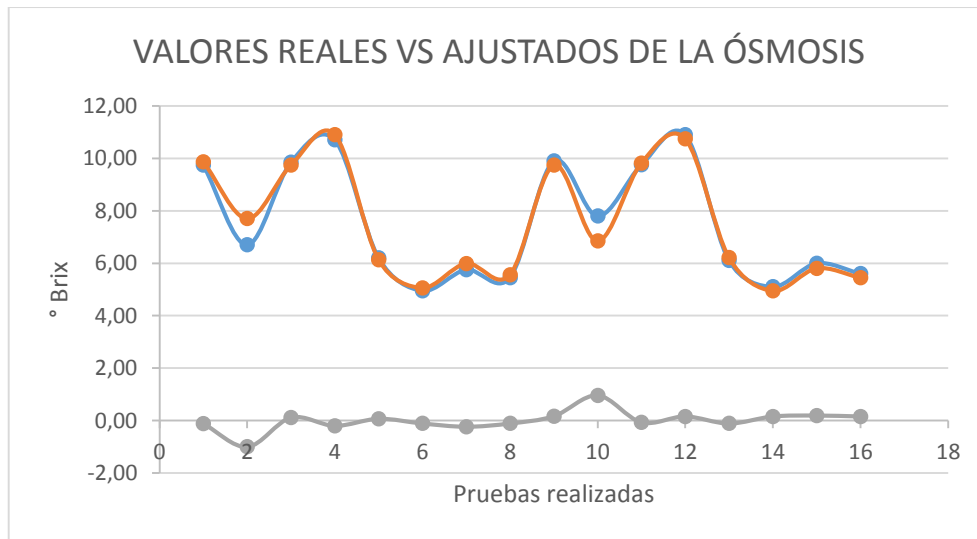
Fuente: Elaboración propia (2023)

En la tabla IV-22, se observa las combinaciones de los ocho experimentos realizados más sus réplicas dando como resultado la columna de diferencia de grados Brix (columna pintada), que corresponde a los resultados experimentales.

Al lado de esta columna se tiene los valores ajustados al modelo matemático, donde se realiza la diferencia de los valores experimentales y ajustados se calcula el error.

En el gráfico siguiente se expresan los resultados de error juntamente con los datos reales obtenido y con datos ideales.

Figura 4-7: °Brix (SG) de cada muestra, ajustado al modelo y la representación de error en el programa SPSS



Fuente: Elaboración propia (2023)

Donde:

Color azul= °Brix medidos.

Color naranja= °Bx ajustados al modelo.

Color gris= Error calculado.

4.6.2. Análisis de varianza en la segunda etapa: secado convectivo

Tabla IV-23: Análisis de pruebas de efecto inter-sujetos del diseño factorial del secado

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: HUMEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	89,647 ^a	3	29,882	20,250	,000
Intersección	1508,934	1	1508,934	1022,553	,000
TEMP	60,918	1	60,918	41,282	,000
TIEMPO	27,668	1	27,668	18,749	,001
TEMP * TIEMPO	1,061	1	1,061	,719	,413
Error	17,708	12	1,476		
Total	1616,288	16			
Total corregido	107,354	15			

a. R al cuadrado = ,835 (R al cuadrado ajustada = ,794)

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

Los resultados de la tabla IV-23, nos muestran el grado de significancia de cada variable, trabajan a un nivel de confianza del 99%, en la última columna de significancia cualquier valor menor al 0,5 % cuenta como variable significativa.

Tal es el caso, donde en estos datos las variables: TEMP, TIEMPO, TEMP*TIEMPO, son variables significativas para el proceso.

Tabla IV- 24: Resumen del modelo

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,908 ^a	,825	,798	1,20156

a. Predictores: (Constante), TIEMPO, TEMP

b. Variable dependiente: HUMEDAD

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

El resumen de la anterior tabla IV-24, muestra como el modelo experimental se ajusta a un modelo de regresión, donde, se debe entender que un valor de R cuadrado ajustado cercano a 1 comparado a R cuadrado demuestra la cercanía de los datos experimentales a los datos ajustados al modelo de regresión.

Tabla IV- 25: Coeficientes de regresión lineal del modelo corregido

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	9,711	,300		32,329	,000	9,062	10,360
TEMP	-1,951	,300	-,753	-6,496	,000	-2,600	-1,302
TIEMPO	-1,315	,300	-,508	-4,378	,001	-1,964	-,666

a. Variable dependiente: HUMEDAD

Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

Utilizando las variables significativas del análisis de varianza se elabora un modelo de regresión lineal, del cual se obtiene los coeficientes no estandarizados para definir un modelo matemático.

Donde cada variable significativa, que son dependientes, multiplicada por cada valor de su coeficiente, en conjunto arrojan un resultado para la variable independiente que son la diferencia de Brix.

Quedando la ecuación matemática:

$$\% \text{ HUMEDAD} = 9,711 - 1,951 \times \text{TEMP} - 1,315 \times \text{TIEMPO}$$

Tabla IV-26: Representación de los datos obtenidos en el proceso experimental y ajustado de SPSS

Experimento	TEMP	TIEMPO	HUMEDAD	AJUSTADOS	ERROR
M1	1	1	7,93	6,10	1,83
M2	1	-1	8,16	9,29	-1,13
M3	-1	1	11,54	10,07	1,47
M4	-1	-1	14,66	12,59	2,07
M5	1	1	7,08	6,30	0,78
M6	1	-1	8,09	9,30	-1,21
M7	-1	1	8,83	10,70	-1,87
M8	-1	-1	13,75	12,80	0,95
M9	1	1	5,46	6,67	-1,21
M10	1	-1	9,23	9,04	0,19
M11	-1	1	11,45	10,09	1,36
M12	-1	-1	11,96	13,21	-1,25
M13	1	1	6,34	6,47	-0,13
M14	1	-1	9,79	8,91	0,88
M15	-1	1	8,54	10,76	-2,22
M16	-1	-1	12,57	13,07	-0,50

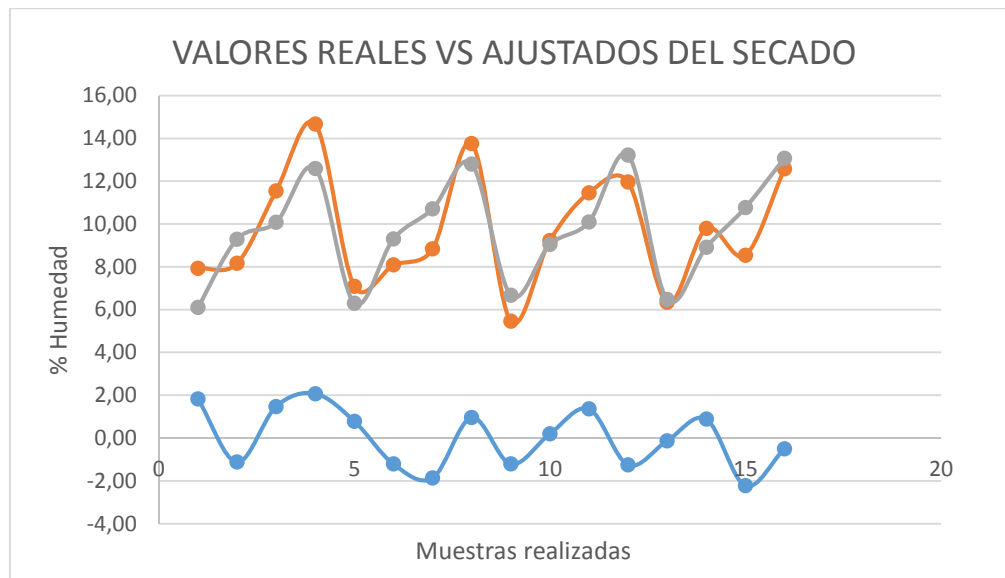
Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

En la tabla IV-26, se observa las combinaciones de los ocho experimentos realizados más sus réplicas dando como resultado la columna de diferencia de Humedad (columna pintada), que corresponde a los resultados experimentales.

Al lado de esta columna se tiene los valores ajustados al modelo matemático, donde se realiza la diferencia de los valores experimentales y ajustados se calcula el error.

En el gráfico siguiente se expresan los resultados de error juntamente con los datos reales obtenido y con datos ideales.

Figura 4-8: %Humedad de cada muestra, ajustado al modelo y la representación del error en el programa SPSS



Fuente: Elaboración propia (2023); SPSS (2023)

Donde:

Color gris= Humedad medida.

Color naranja= Humedad perdida ajustada al modelo.

Color azul= Error calculado.

4.7. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.7.1. Diagrama de flujo escala experimental

El proceso de deshidratación osmótica utilizado se divide en tres subsistemas:

- Preparación de las rodajas de piña
- Deshidratación osmótica
- Secado convectivo

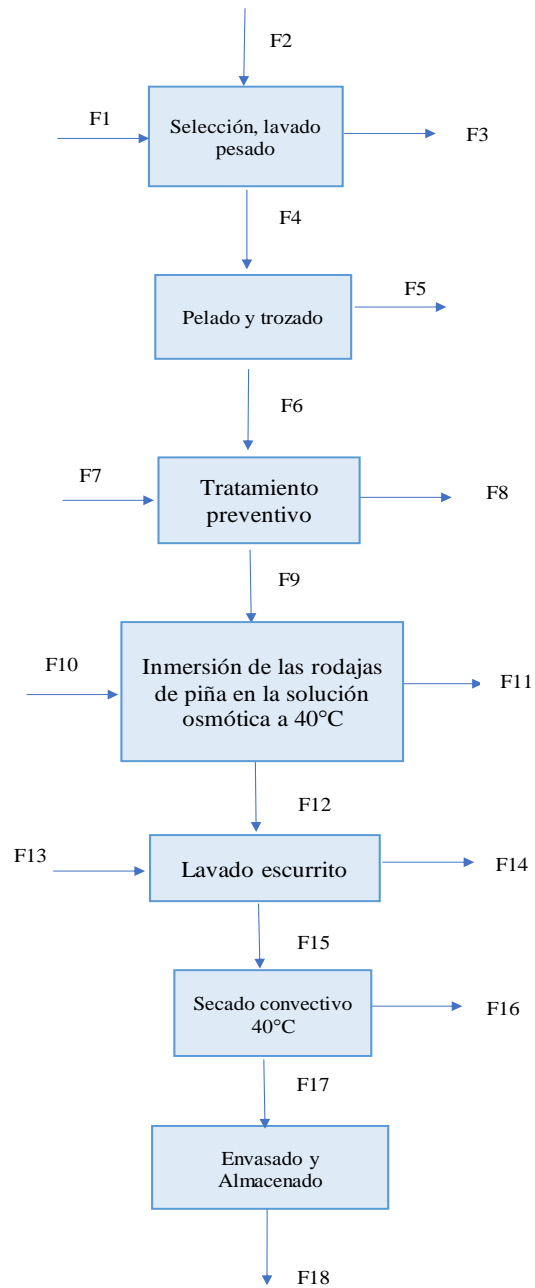
4.7.2. Balance de materia

La realización del balance de materia específicamente del experimento M8, puesto que se obtuvo mejores resultados, así como en las propiedades organolépticas teniendo una aceptación del 71,6 %.

4.7.3. Diagrama de bloques de la obtención de rodajas de piña deshidratada

A continuación, se muestra el diagrama de bloques con los flujos de operación además de los datos obtenidos durante el proceso de operación en las dos etapas de osmosis y secado.

Figura 4-9 Diagrama de bloques de la obtención de rodajas de piña deshidratada



Fuente: Elaboración propia (2023)

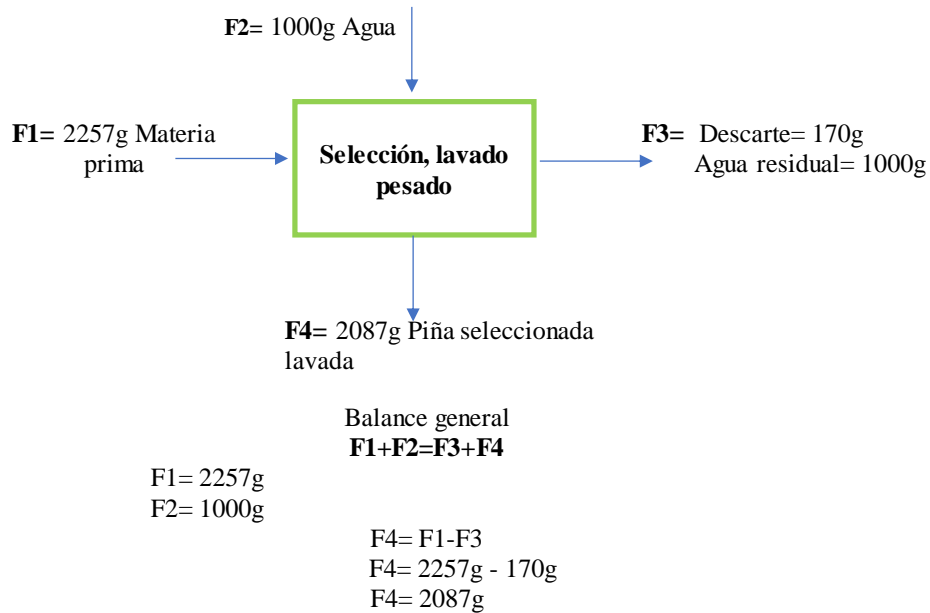
Tabla IV- 27: Flujos de operación y datos del proceso de elaboración de rodajas de piña deshidratada por osmosis y secado convectivo

Flujo másico	Nombre	Datos de la relación de flujos	Unidades
F1	Piña fresca	2257	g
F2	Descarte de piña	170	g
F3	Piña seleccionada	2087	g
F4	Agua potable 0,5	1000	g
F5	Piña lavada	2287	g
F6	Agua residual	1000	g
F7	Cascara y corazón de piña	1155	g
F8	Masa de piña en rodajas	932	g
F9	Ácido cítrico 1%	0,5	g
F10	Ácido cítrico residual	998	ml
F11	Piña en rodajas desp. tratamiento	935	g
F12	Jarabe de sacarosa 40°Brix	-	g
F13	Jarabe residual	1700	g
F14	Agua evaporada en la osmosis	-	g
F15	Piña osmodeshidratada	727	g
F16	Agua tratada tibia para lavado	1500	g
F17	Agua residual	-	g
F18	Rodajas lavadas escurridas	685	g
F19	Secado convectivo Temperatura	40	°C
F20	Secado convectivo Tiempo	240	min
F21	Piña deshidratada masa final	186,48	g

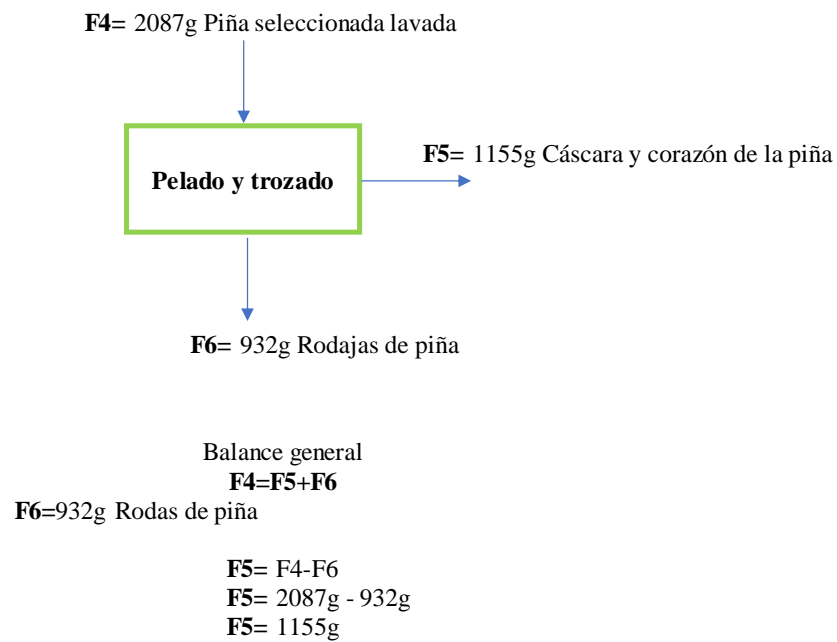
Fuente: Elaboración propia (2023)

4.7.4. Desglosamiento del balance de materia con las condiciones de trabajo de la mejor muestra seleccionada: M8

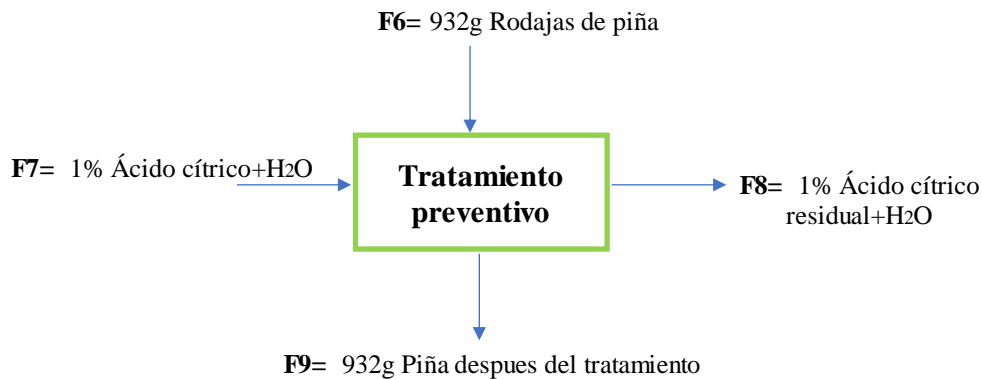
1^{er} Etapa: Selección, pesado, lavado de la piña.



2^{da} Etapa: Selección, pesado, lavado de la piña.



3^{er} Etapa: Tratamiento preventivo de pardeamiento



$$F6+F7=F8+F9$$

$$F7=1\%/1000g$$

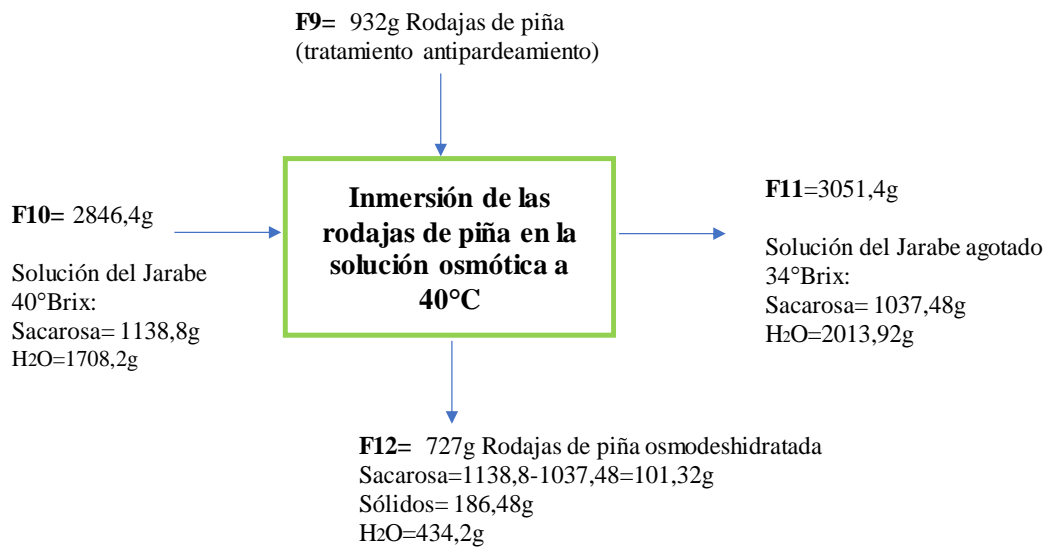
$$F6= F9$$

$$F7= F8$$

$$F9=186,48g \text{ (sólidos)} -745,52g$$

$$F9= 932g$$

4^{ta} Etapa: Inmersión en la solución osmótica

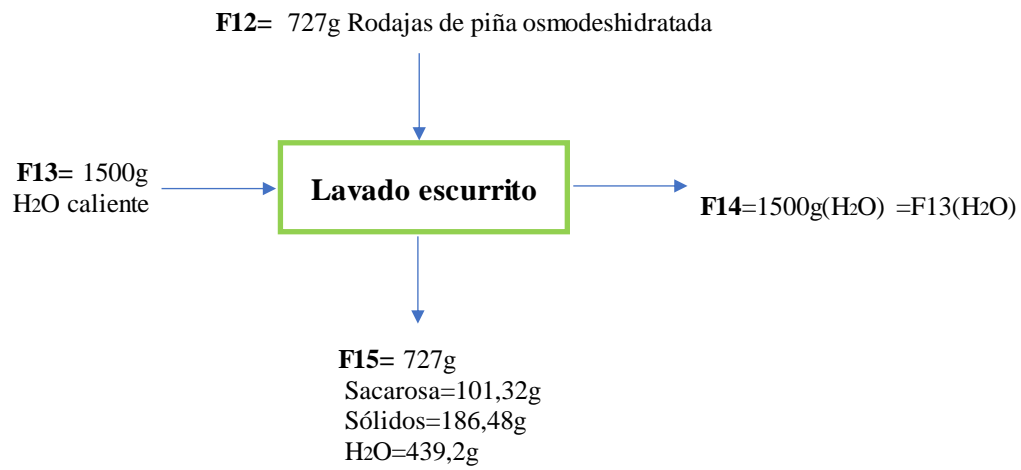


$$F9+F10=F11+F12$$

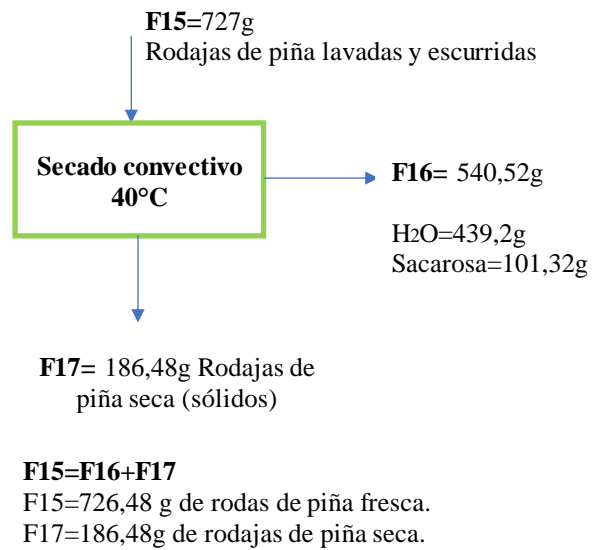
$$F9(932g)+F10(2846,4)=F11(3051,4g)+F12(727)$$

$$F12= 727g$$

5^{ta} Etapa: Lavado y escurrido



6^{ta} Etapa: Secado convectivo



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización fisicoquímica de la materia prima como resultado se apoya a la utilización de la misma, con ciertas ventajas como el rendimiento, % humedad, la determinación de la madurez fisiológica de cada piña logrando definir finalmente el índice de madurez apto para el proceso elaborado.
- ✓ La elaboración de rodajas de piña deshidratada por medio de la ósmosis y secado convectivo con respaldo práctico de las pruebas preliminares de logro optimizar las variables y niveles para el diseño factorial de ambas etapas. En la presente investigación realizada demostró ser factible para la obtención de un producto de buena calidad, parejo a la de una fruta fresca con alto contenido nutricional y energético, siendo lo más destacado su textura estable de color específico amarillo, con un olor natural propio de la fruta y un sabor característico de la piña, saciable en dulzura y acidez.
- ✓ La osmosis mostro ser un método favorable en la deshidratación y transferencia de partículas como sacarosa en los niveles establecidos en función del tiempo de inmersión respecto a sus condiciones operativas en la elaboración de rodajas de piña deshidratada.
- ✓ Se realizó la catación organoléptica en donde se somete las ocho muestras para la selección, la muestra M8 demostró las mejores cualidades físicas, químicas como sensoriales, los mismos se encuentran desglosados en el trabajo de investigación.
- ✓ El tratamiento antipardeamiento realizado a las rodajas piña puntualizó en su total eficacia en el producto final, dando magnificencia visual y mayormente al sabor, conservando un color natural durante el desarrollo y el almacenamiento de las rodajas elaboradas.
- ✓ El secado convectivo a través de un equipo secador de bandejas mostró ser eficaz, ya que, evidenció uniformidad en el secado de cada rodaja de piña; asimismo, rapidez en comparación a otro tipo de equipo, manteniendo la calidad en las rodajas osmodeshidratados, cuidando de no dañar la conservación de los nutrientes de la piña.

- ✓ Se realizó el análisis fisicoquímico del producto seleccionado como el mejor tratamiento combinado como resultado de la catación, en donde se observa el % de humedad del producto 15,08, puesto que se encuentra en el límite permisible de humedad, de acuerdo al ensayo M8 la humedad es cercana a la obtenida en los análisis elaborados.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un trabajo minucioso respecto a la higiene en la elaboración haciendo uso de guantes lavado y desinfectado de utensilios no menos importante el cuidado personal para evitar la contaminación al manipular las muestras a elaborar. De igual manera el orden de trabajo antes de comenzar el proceso de elaboración.
- ✓ Es importante la reutilización de los insumos en la elaboración de la deshidratación de rodajas cuando se realiza a una escala más grande, puesto que se recomendaría realizar la indagación respecto a todo lo que se refiera con la sobra de jarabe (sacarosa), el ácido cítrico residual a la misma ves estudios sobre la reutilización de la sacarosa, y el ácido cítrico residual para evitar el costo de insumos.
- ✓ Se recomienda establecer o fijar las variables para la temperatura y el tiempo, para próximos proyectos o proyectos a futuro y se aproveche de estudiar otras variables.
- ✓ Realizar diferentes pruebas de secado en el cual se pueda variar la temperatura como el flujo de aire.