

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre. En el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe (Barbera, 1999).

Según Ochoa & Barbera (2018), afirma que, el nopal es conocido en Bolivia generalmente por su fruto (tuna), pero de la misma manera se aprovecha la hoja del nopal donde se le somete a múltiples usos desde procesamiento de aditivos y forraje para ganado. La producción se concentra en Cochabamba, Sucre, Santa Cruz, Tarija y La Paz.

Según MDRyT (2019), se tiene una referencia de los resultados basados en el informe dado por el grupo frutales del cultivo de la tuna en el año agrícola 2019 de municipios de Tarija. En la figura 1.1, se puede observar que existe producción en toneladas métricas (Tm) y una superficie expresada en hectáreas (ha) de tuna en los municipios de Yunchara, Tomayapo, El Puente del departamento de Tarija, por lo tanto, se puede deducir que existe aún mayor cantidad de nopales, puesto que, la tuna es el fruto de las pencas del nopal.



Fuente: MDRyT, 2019

Figura 1.1: Producción de tuna en los municipios de Yunchara, Tomayapo, El Puente del departamento de Tarija

Según Contreras et al., (2011), indican desde el punto de vista nutricional que son una excelente fuente de fibra y minerales. Estudios recientes indican que los nopales podrían ser una fuente importante de calcio. La importancia del calcio y su ingesta en la salud humana viene dada por su papel en la prevención de la osteoporosis, además de estar involucrado en múltiples funciones corporales como contracción de músculos y coagulación sanguínea; por lo que es vital cubrir el requerimiento diario, cuyo valor varía según edad y sexo de cada individuo. Por otra parte, existe desde hace tiempo en el mundo y en nuestro país una tendencia hacia dietas vegetarianas y veganas, lo que llevó a considerar la posibilidad de incluir al nopal también como alternativa o suplemento en la alimentación del hombre y en la preparación de productos alimenticios a base de nopales.

Hoy en día existe gran variedad de mermeladas en el mercado nacional y local del departamento de Tarija. Se han identificado sus marcas comerciales de mermeladas entre ellas: ARCOR, BARCA, DEL VALLE, CAMARGO, GÚZMAN, LA DOLCE VITA; sin contar con las que se producen a nivel artesanal (INE, 2008).

Los cuales son elaborados para el consumo de la población con variedad de frutas conocidas en nuestra región, pero no así una mermelada con propiedades funcionales como ser mermeladas con grandes cantidades de calcio y fibra.

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de utilizar la hoja de nopal como materia prima; debido, a que no es industrializado ni comercializado. De tal manera, mejorar el valor agregado de la hoja de nopal mediante su transformación y obtener un producto de calidad en la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- En la provincia de Cercado del departamento de Tarija, no existen productos elaborados a partir de la hoja de nopal. Además, que existe la producción y

disponibilidad en la zona alta tarijeña (municipios de Yunchara, Tomayapo, El Puente). Por tal motivo, se pretende elaborar mermelada como una alternativa para incentivar y coadyuvar a su producción.

- Por medio del presente trabajo de investigación, se pretende establecer una metodología experimental a nivel de laboratorio para la elaboración de mermelada de nopal, con la finalidad de que sea incorporada en la dieta alimentaria de la población tarijeña.
- Debido a que la hoja de nopal es rica en fibra puede coadyuvar a la flora intestinal y trastornos digestivos que favorece al metabolismo del cuerpo humano. Además, de su alto contenido en calcio que es benéfico para la salud ósea; por tales motivos, se pretende aprovechar estos beneficios nutricionales mediante la elaboración de mermelada.

1.3 Objetivo general

Elaborar mermelada a partir de la hoja del nopal, mediante el método de concentración de frutas, con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.4 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de la hoja de nopal, con la finalidad de conocer la porción comestible y no comestible.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la hoja de nopal, con la finalidad de conocer la composición nutricional.
- Determinar las propiedades microbiológicas de la hoja de nopal, con la finalidad de conocer la carga microbiana.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de la hoja de nopal, con la finalidad de conocer la composición nutricional.

- Determinar las propiedades microbiológicas de la pulpa de la hoja de nopal, con la finalidad de conocer la carga microbiana.
- Realizar evaluación sensorial a las muestras preliminares de mermelada a partir de la hoja de nopal, con el fin de determinar la muestra ideal.
- Aplicar el diseño experimental en el proceso de dosificación, para establecer las variables control para la elaboración de mermelada de hoja de nopal.
- Realizar el análisis sensorial de la mermelada de nopal para determinar las propiedades organolépticas.
- Determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal, con el fin de establecer su calidad nutricional.
- Realizar el balance de materia y energía en el proceso, con la finalidad de establecer las entradas y salidas del proceso a nivel experimental.

1.5 Situación problemática

En el mercado local de la provincia Cercado no existe productos elaborados a partir de la hoja de nopal; además, de que esta hoja no es aprovechada debido a que la población desconoce sus beneficios y propiedades nutricionales como ser: su alto contenido en fibra y ser una fuente importante de calcio. Por esta razón, no es valorada como materia prima en la cual, existe la disponibilidad de la hoja de nopal; en la zona alta del departamento de Tarija (municipios de Yunchara, Tomayapo, El puente).

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación pretende aprovechar y transformar la hoja de nopal; con la finalidad de aumentar su valor agregado elaborando mermelada a partir de la hoja de nopal mediante el método de concentración de frutas con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

1.6 Formulación del problema

¿El método de concentración de frutas a ser aplicado permitirá la elaboración de mermelada a partir de hoja de nopal obteniendo un producto de calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija?

1.7 Objeto de estudio

Aplicación del método de concentración de frutas con el fin de obtener mermelada a partir de la hoja del nopal de para la provincia de Cercado del departamento de Tarija.

1.8 Campo de acción

- Espacial: El campo espacial en donde se desarrolló el presente trabajo de investigación fue en la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Temporal: El campo temporal en el que se desarrolló el presente trabajo de investigación fue en la gestión 2022.
- Institución: Las instituciones en donde se realizó la metodología experimental del presente trabajo de investigación son: el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) ambos pertenecientes a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

1.9 Formulación de la hipótesis

El proceso de concentración de frutas a ser aplicado para la elaboración de mermelada a partir de hoja de nopal, permitirá obtener un producto de calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la mermelada

Según (Gianotti & Prandoni, 2012), la necesidad de conservar los alimentos ha estado siempre presente en la historia del ser humano. En el caso de las frutas el método más antiguo consistió en mezclarlas con miel. Los romanos desarrollaron un proceso que permitía obtener una sustancia similar a la mermelada. Para ello añadían a la fruta un peso equivalente de miel y cocinaban posteriormente la mezcla para obtener la consistencia deseada. Este proceso estuvo vigente hasta que los árabes introdujeron el uso de azúcar en Europa. Al igual que los romanos incorporaban a la fruta el mismo peso en azúcar y luego llevaban a cabo el cocimiento hasta que la densidad fuese la adecuada.

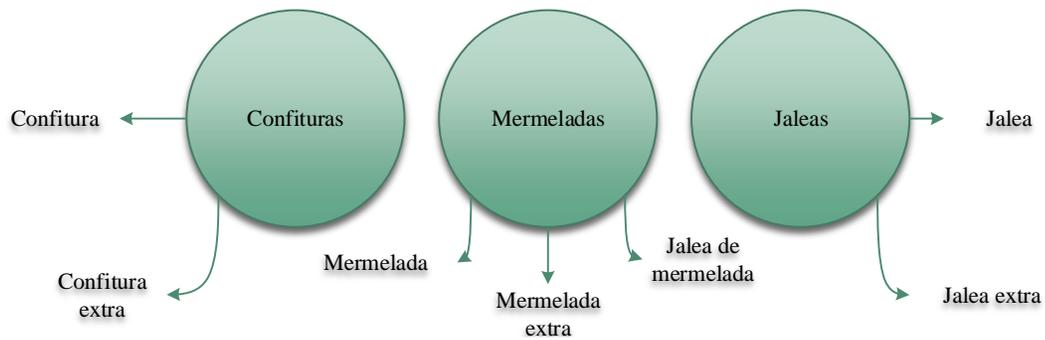
2.2 Definición de mermelada de frutas

Según (CAA, 2008), Código Alimentarios Argentino Artículo 810, se entiende por mermelada como la confitura elaborada por cocción o concentración de frutas u hortalizas (enteras, en trozos, rodajas, pulpa tamizada, jugo y pulpa normal o concentrada), con uno o más de los edulcorantes y aditivos.

Según el (Codex alimentarius, 1981), se entiende por "mermelada" el producto obtenido por elaboración de frutos agrios preparados que pueden ser frutas enteras, pulpa de fruta o puré de fruta, de las que se ha quitado total o parcialmente la piel; con o sin zumo (jugo) de agrios y separación de la piel; mezclado con un edulcorante carbohidrato, con o sin agua; y elaborado hasta que adquiera una consistencia conveniente.

2.3 Clasificación de mermeladas

En la figura 2.1, se muestra la clasificación de concentrado en frutas:



Fuente: Gatalver, 2015

Figura 2.1: Clasificación de concentrado en frutas

2.3.1 Descripción de la clasificación de concentrado en frutas

Según (Gastalver, 2015), se refiere a los siguientes productos:

- **Confitura:** Es la mezcla, con la consistencia gelificada apropiada, de azúcares, de pulpa o de puré de una o varias especies de frutas y de agua. No obstante, se podrá obtener confitura de cítricos a partir de fruto entero, cortado en tiras o en rodajas.
- **Confitura extra:** Es la mezcla, con la consistencia gelificada apropiada, de azúcares, de pulpa no concentrada de una o varias especies de frutas y de agua. No obstante, la confitura extra de agavanzos y la confitura extra sin semilla de frambuesas, moras, grosellas negras, arándanos y grosellas rojas, podrá proceder total o parcialmente de puré no concentrado de estas frutas. Podrá obtenerse confitura extra de cítricos a partir del fruto entero, cortado en tiras o rodajas.
- **Jalea:** Es la mezcla, convenientemente gelificada, de azúcares y de zumo extractos acuosos de una o varias especies de frutas. La cantidad de zumo o extractos acuosos utilizada para la elaboración de 1000 gramos de producto acabado no será inferior a la que se establece para la elaboración de la confitura. Estas cantidades se calcularán tras deducir el peso del agua empleada en la preparación de los extractos acuosos.
- **Jalea extra:** La cantidad de zumo de frutas y/o de extractos acuosos utilizada para la elaboración de 1000 gramos de producto acabado no será inferior a la que se establece para la elaboración de confitura extra. Estas cantidades se calcularán tras

deducir el peso del agua empleada en la preparación de los extractos acuosos. No podrán emplearse en la elaboración de jalea extra, mezcladas con otras frutas como ser la manzana, peras, ciruelas con hueso adherente, melones, sandías, uvas, etc.

- **Mermelada:** Es la mezcla con la consistencia gelificada apropiada, de agua, de azúcares y de uno o varios de los productos siguientes, obtenidos a partir de cítricos: pulpa, puré, zumos, extractos acuosos y pieles. La cantidad de cítricos utilizada para la elaboración de 1000 gramos de producto acabado no será a 200 gramos de los cuales al menos 75 gramos procederán del endocarpio.
- **Jalea de mermelada:** podrá utilizarse cuando el producto este totalmente desprovisto de materias insolubles, a excepción, eventualmente, de pequeñas cantidades de piel cortada muy fina.
- **Mermelada Extra:** es el producto preparado por cocción de frutas enteras, troceadas o trituradas, a las que se han incorporado azúcares hasta conseguir un producto semilíquido o espeso. El contenido en materia seca soluble, determinado por refractómetro, será igual o superior al 40 % e inferior al 60 %.

2.4 Características fisicoquímicas de la mermelada

Las características fisicoquímicas de la mermelada son las siguientes:

2.4.1 Humedad

Según (García & Fernández, 2012), todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción. El agua se encuentra en los alimentos en dos formas: agua libre y agua ligada. El agua libre es la forma predominante, se libera con facilidad por evaporación o por secado. El agua ligada esta combinada o unida en alguna forma química a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida en la superficie de las partículas coloidales.

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido en agua varían entre un 60 y un 95% en los alimentos naturales. En los tejidos vegetales

y animales, puede decirse que existe en dos formas generales: agua libre y agua ligada. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad. El agua ligada se halla combinada o absorbida. Se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas y a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales (Sanez, 2009) .

2.4.2 Acidez titulable

La determinación de acidez se basa en una reacción ácido- base, para la cual la muestra se coloca en una solución acuosa y se titula con una solución de NaOH en presencia de indicador fenolftaleína (Ayala & Guardado, 2019).

La acidez titulable se determina midiendo la cantidad de iones de hidroxilos necesarios para neutralizar una cantidad de cationes de ácidos orgánicos presentes en la solución, esta puede ser expresada independientemente en mili equivalentes por 100 g de muestra o en gramos de ácido cítrico por 100 g de muestra. La conversión es efectuada tomando en cuenta la masa molar de ácido cítrico y la normalidad (Sosa, 2015).

2.4.3 Acidez iónica

La mayoría de frutas contienen ácido cítrico, málico o tartárico, que son los que hacen posible la actuación de la pectina, y hacen que las confituras se conserven, evitan la cristalización del azúcar y potencian el sabor de la fruta. Al hacer confitura de frutas pobres en ácidos, como los higos, el melón, la sandía, las peras o los melocotones, hay que tener en cuenta que mejora si se le añade el zumo de un limón por kg de fruta. Se mide con el pH: cuanto más bajo es, más ácido es el producto (CosmoCaixa, 2010).

Según (ISP, 2012), la acidez titulable es un indicador que expresa el contenido de ácidos libres en una matriz, el cual se expresa el porcentaje del ácido predominante de la matriz, en el caso de los frutos ácido cítrico. Dicha acidez puede incluir la acidez natural y la desarrollada.

2.4.4 Sólidos solubles

Un sólido soluble es aquel que tiende a formar un sistema homogéneo con otros sólidos. Un ejemplo quizás muy común es el caso del hielo, por otro lado, el azúcar es a menudo el principal componente de los sólidos solubles (Ojeda, 2010).

Los °Brix como la concentración de sólidos solubles presentes en la solución, lo cual se mide con un equipo llamado refractómetro ya que esto indica la concentración de azúcares, sin embargo, están relacionados claramente con el índice del refractómetro el cual depende de la cantidad de estos en el medio (Sosa, 2015).

2.5 Características organolépticas de la mermelada

El análisis sensorial de los alimentos es un instrumento eficaz para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento. Se debe realizar una evaluación organoléptica a todo tipo de alimento que se quiera comercializar (mermelada), que debe cumplir los requisitos de higiene, inocuidad, calidad del producto, buena presencia, agradable olor y sabor, donde también es muy importante la textura y lo untable de la mermelada, para que éste sea aceptado por el consumidor, más aún cuando debe ser protegido por un nombre comercial los requisitos son mayores ya que debe poseer las características que justifican su reputación como producto comercial (Gavica & Teran, 2011).

2.5.1 Consistencia

Según (Ayala & Guardado, 2019), la consistencia describe la habilidad del material en permanecer junto/uniforme, usada típicamente para describir las propiedades de los sólidos, semisólidos y líquidos; y la textura en el alimento es definida como el grupo de propiedades físicas derivadas de la estructura del alimento mismo que puede ser detectada por el tacto.

2.5.2 Aroma

Según (Molina, 2011), consiste en la percepción de las sustancias olorosas y aromáticas de un alimento después de haberse puesto en la boca. Dichas sustancias se

disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, llegando a través del Eustaquio a los centros sensores del olfato.

2.5.3 Sabor

Esta propiedad de los alimentos es muy compleja, ya que combina tres propiedades: olor, aroma, y gusto; por lo tanto, su medición y apreciación son más complejas que las de cada propiedad por separado. El sabor es lo que diferencia un alimento de otro, ya que, si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido (Molina, 2011).

2.5.4 Apariencia

Su apariencia es libre de materias extrañas y con los componentes uniformemente distribuidos. En el momento de obtener la materia prima para el procesamiento de mermeladas se debe tener en cuenta el volumen de mermelada que se producirá con el fin de evitar pérdidas por el no uso (CCB, 2015).

2.6 Caracterización de la materia prima para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

La materia prima para la elaboración de mermelada partir de la hoja de nopal de nopales es la siguiente:

2.6.1 Hoja de nopal (*Opuntia ficus - indica*)

El nopal *Opuntia ficus - indica*, arbustiva de la familia de las cactáceas. Como la mayoría de los miembros de este género carece de hojas nomofilas, los segmentos o cladodios en que se divide, son tallos capaces de ramificarse, emitiendo flores y frutos. Estos tallos son planos, ovales y de color verde medio (Saenz, 2006)

Las paletas jóvenes de la planta se consumen como verdura (nopales) y el fruto como tal (tuna). En Marruecos y la zona mediterránea donde se cultivan son muy apreciados y se aprovechan tanto el fruto (higo chumbo) como el cactus en sí, para alimento o también se lo puede utilizar para forraje (Saenz, 2006).

2.6.2 Taxonomía de la especie de nopal (*Opuntia ficus - indica*)

En la tabla 2.1, se presenta la taxonomía de la especie de nopal (*Opuntia ficus - indica*) explicando a detalle toda su descripción.

Tabla 2.1

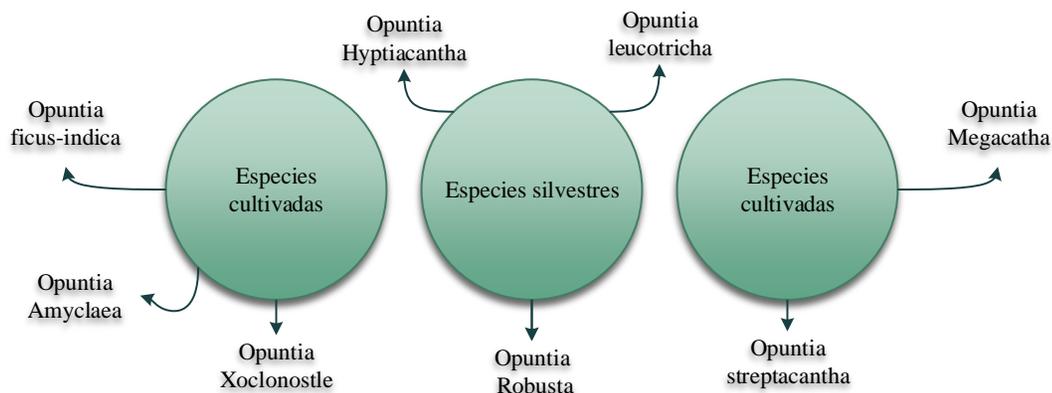
Taxonomía de la especie de nopal (Opuntia ficus - indica)

Categoría	Descripción
Reino	Vegetal
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntiooidea
Genero	Opuntia
Subgénero	Opuntia Patyopuntia
Especie	Ficus
Variedad	Indica
Nombre científico	<i>Opuntia ficus - indica</i>
Nombre común	Nopal, tuna, chumbera, chumbo, etc.

Fuente: Sáenz et al., 2006

2.6.3 Variedades del nopal

Según (Scheinvar, 1999), se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es el nopal *Opuntia ficus - indica*; es más, en la cuenca del Mediterráneo es la única *Opuntia* que se cultiva y se emplea con diferentes propósitos. En la figura 2.2, indica las variedades de nopal cultivadas y silvestres que existen.



Fuente: Scheinevar, 1999

Figura 2.2: Variedades de nopal cultivadas y silvestres

2.6.4 Composición fisicoquímica proximal de la hoja de la especie de nopal (*Opuntia ficus - indica*)

En la tabla 2.2, se muestran los resultados de la composición fisicoquímica proximal de la hoja de nopal, expresados en base húmeda y los resultados se dan en mg de ácido ascórbico / 100 g de penca fresca (Guzman & Chavez, 2007).

Tabla 2.2

Composición fisicoquímica proximal de la hoja de nopal, expresados en base húmeda

Componente	Unidad	Cladodio De 1 mes de edad	Cladodio De año de edad
Humedad	%	92,570	94,330
Proteína (x 6,25)	%	0,940	0,480
Grasa	%	0,170	0,110
Fibra	%	0,300	1,060
Cenizas	%	0,080	1,600
Carbohidratos	%	5,960	2,430
Vitamina C	(mg/100g*)	37,270	23,110
Ca	%	0,042	0,339
Na	%	0,001	0,018
K	%	0,000	0,145

Fuente: Guzmán & Chávez, 2007

2.6.5 Propiedades nutricionales de la hoja de nopal

Según (Carballido, 2011), los nopales tienen un perfil nutricional parecido a las verduras:

- Contiene principalmente agua (95%), por lo tanto, son alimentos hidratantes.
- No contienen prácticamente grasas, proteínas ni carbohidratos.
- Muy ricos en fibra, antioxidante vitaminas (excepto B12) y minerales, entre los que se destaca el potasio, magnesio, calcio, vitaminas C y provitaminas A.

En la tabla 2.3, se muestra las propiedades nutricionales de la hoja de nopal (*Opuntia ficus - indica*)

Tabla 2.3

Composición nutricional de la hoja de nopal

Componentes	Unidad	Cantidad
Agua	gr	93,93
Calorías	kcal	16,00
Vitamina C	mg	13,40
Vitamina B1	mg	0,01
Vitamina B2	mg	0,04
Vitamina B3	mg	0,52
Vitamina B6	mg	0,07
Folatos	mg	3,00
Calcio	mg	163,00
Magnesio	mg	58,00
Fosforo	mg	17,00
Sodio	mg	22,00
Potasio	mg	319,00
Hierro	mg	0,68
Zinc	mg	0,29
Cobre	mg	0,06
Selenio	mg	0,70

Fuente: Carballido, 2021

2.6.6 Aplicaciones del nopal

El nopal en general resulta de gran utilidad en numerosas áreas del mercado, su procesamiento e industrialización es de gran interés por ser económicamente viable y rentable. los cladodios del nopal son usados para producción de alimentos, utilizando tanto los cladodios tiernos como los maduros, para la producción de salmueras, escabeches, salsas, mermeladas, duces, bebidas y harinas. (Inglese et al., 1999).

Tomando en cuenta el grado de madurez del nopal se pueden desarrollar más aplicaciones como aditivos. Atraves de la extracción del mucilago del nopal para la industria alimentaria se obtiene los siguientes aditivos como espesantes, gelificante, reemplazantes de grasas, estabilizadores de emulsiones (Aguirre & Cardenas, 2015).

Esta presencia de fitoquímicos combinada con la fibra dietética, propiedades nutraceuticas, hacen que el nopal pueda ser aplicado como suplemento dietético y/o como ingrediente. Por último, el nopal es aplicado en la nutrición animal, por su contenido nutricional para incrementar la salud del ganado como forraje. También es importante su tolerancia a las heladas y la aclimatación (Torrez & Ponce, 2015).

2.7 Caracterización de los insumos en la elaboración de mermelada a partir de hojas de nopal

Los insumos a ser utilizados para la elaboración de mermelada a partir de hojas de nopal son:

2.7.1 Insumos naturales.

Los insumos naturales son los siguientes:

2.7.1.1 Agua potable

Según Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y Viceministerio de Agua Potabl y Saneamiento Básico (VAPSB, 2018), define como agua potable a aquella que, por sus características organolépticas, físico - químicas, radiológicas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y cumple con lo establecido en la Norma Boliviana NB-512.

2.7.1.2 Aplicación de agua potable en la elaboración de mermelada de nopal

Se añade agua potable para evitar que se queme el producto. La cantidad de agua a añadir dependerá de lo jugosa que sea la fruta, donde el agua también forma parte de la formulación para la elaboración de la mermelada (Coronado & Hilario, 2001).

2.7.1.3 Azúcar

El azúcar es la denominación común del producto constituido principalmente por sacarosa, cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$. La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se extrae de la caña de azúcar. También llamado azúcar común o azúcar de mesa. En ámbitos industriales se usa la palabra azúcar o azúcares para designar los diferentes monosacáridos y disacáridos, que generalmente tienen sabor dulce. El azúcar puede formar caramelo al calentarse por encima de su punto de fusión, especialmente en presencia de compuestos amino, es un ingrediente esencial. Desempeña un papel vital en la gelificación de la mermelada con el gelificante (Codex Alimentarius, 1995).

2.7.1.4 Aplicación del azúcar en la elaboración de mermelada de nopal

Según (Coronado & Hilario, 2001), el azúcar es un ingrediente esencial y desempeña un papel vital en la gelificación de la mermelada al combinarse con la pectina (Pag,7)

2.7.2 Insumos artificiales

Los insumos artificiales son los siguientes:

2.7.2.1 Glucosa

Es el más simple de los carbohidratos, lo que lo hace un monosacárido. Esto significa que tiene un azúcar. Pero, no es el único. Otros monosacáridos incluyen la fructosa, la galactosa y la ribosa. Junto con la grasa, la glucosa es una de las fuentes de combustible preferidas del cuerpo en forma de carbohidratos. Las personas obtienen la glucosa del pan, frutas, vegetales y productos lácteos. Necesitas los alimentos para crear la energía que te ayuda a mantenerte vivo (Pointer, 2017).

2.7.2.2 Aplicación de la glucosa en la elaboración de mermelada de nopal

La glucosa es un carbohidrato, empleado por sus diferentes propiedades en la industria alimenticia, para transformar, preparar conservar y envasar alimentos destinados al consumo de humanos y animales. Este ingrediente es fundamental para la elaboración.

La glucosa evita la cristalización de estos postres o mermeladas y también favorece su cremosidad, viscosidad además de dar un brillo para acentuar el color. La glucosa en esta área sirve como un estabilizante durante la fabricación (Gil, 2010).

2.7.2.3 Pectina

La pectina es una fibra natural que se encuentra en las paredes celulares de las plantas y alcanza una gran concentración en las pieles de las frutas. Es muy soluble en agua y se une con el azúcar y los ácidos de la fruta para formar un gel (Clemente, 2012).

2.7.2.4 Aplicación de la pectina en la elaboración de mermelada de nopal

Al incorporar pectina en las mermeladas, lo que conseguimos es espesar de forma natural nuestra conserva, añadiendo menos azúcar y lo que es muy importante disminuyendo el tiempo de cocción, lo que se traduce en que nuestra mermelada va a mantener mucho más el sabor a la fruta en fresco (Clemente, 2012).

Según (Clemente, 2012), menciona que la pectina aparte de reaccionar con el azúcar también lo hace con el ácido que posee la fruta para formar un gel, y como la acidez no es igual en todas las variedades, es conveniente añadir zumo de limón a la fruta cuando se está cocinando, puesto que si la cantidad de ácido es baja lo que ocurre es que la pectina no trabaja de forma efectiva.

2.7.2.5 Ácido cítrico

Según (Leioa, 2015), afirma que el ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de las frutas más que todo en las frutas cítricas inmaduras. Es un buen conservante y antioxidante natural que se añade a productos industrialmente o artesanalmente.

2.7.2.6 Aplicación de ácido cítrico en la elaboración de mermelada de nopal

Según (Leioa, 2015), el ácido cítrico es un ingrediente necesario para regular el pH de la fruta. Cada fruta tiene un punto diferente de acidez y necesitamos regularlo para que

la pectina gelifique adecuadamente. Además, el ácido cítrico mejora el sabor, da brillo y prolonga la conservación de la mermelada.

2.7.2.7 Colorante artificial

Según (De la Rosa, 2020), los colorantes artificiales son sustancias de procedencia química, elaboradas en un laboratorio.

2.7.2.8 Aplicación de colorante artificial en la elaboración de mermelada de nopal

Según (De la Rosa, 2020), los colorantes artificiales se usan en la industria alimentaria para aumentar o dar color a los alimentos.

2.8 Concentración de sólidos en frutas

Según (Kader, 2002), la concentración también involucra a la remoción de agua, pero no al mismo grado que en la deshidratación. Ejemplos de productos concentrados de frutas y hortalizas incluyen concentrados de jugos y néctares, mermeladas y jaleas, normalmente la concentración no se considera una forma de conservación a menos que la concentración sea alta en azúcares (mayor o igual 70% de sacarosa).

El procesamiento de estos tipos de concentrados de fruta se realiza mezclando los 4 componentes (fruta azúcar ácido y pectina), evaporando hasta la concentración de sólidos o azúcar deseada para reducir la humedad disponible para el crecimiento microbiano y pasteurizado el producto para destruir microorganismos (Kader, 2002).

2.9 Factores que influyen en la elaboración de mermelada

Los factores que influyen en la elaboración de mermelada son los siguientes:

2.9.1 Cocción inicial

Cocinar la fruta sola hasta que se ablande totalmente (20-30 minutos). Utilizar fuego fuerte sin tapar el recipiente de cocción. De este modo se liberan las pectinas naturales de la fruta (las cuales se encuentran combinadas con materiales celulósicos) que

posteriormente forman el gel en la mermelada. Para la liberación de la pectina es necesario calor y suficiente acidez de la fruta (Urfalino et al., 2021).

2.9.2 Temperatura

El calentamiento debe hacerse antes de adicionar el azúcar, ya que las pectinas se degradan por temperatura. Al hervir la fruta sola la temperatura ronda los 100°C y al agregar azúcar alcanza 105-106°C. En general, las frutas de alto contenido de pectinas presentan acidez suficiente para su liberación. Mientras que, las de bajo contenido tienen una acidez insuficiente (Urfalino et al., 2021).

2.9.3 Cocción final y agregado de insumos

Según (Urfalino et al., 2021), es importante que el tiempo de cocción luego de agregar el azúcar sea lo más corto posible, para minimizar la destrucción térmica de las pectinas y el riesgo de precipitación de la glucosa. Durante la cocción la sacarosa se transforma en glucosa y fructosa. El grado de conversión no debe ser menor del 30% ni mayor del 50% (para que la mermelada no tenga sabor a sacarosa o precipite la glucosa), adquiera brillo y aumente la solubilidad de los azúcares. Esta reacción depende de la temperatura, el pH y el tiempo (lo óptimo es: temperatura de ebullición, pH entre 3 - 3,5 y tiempo entre 15 y 25 min.).

2.9.4 pH

Según (Urfalino et al., 2021), es importante saber que al llegar a un pH entre 3 y 3,5 se puede asegurar tener una mermelada que tendrá una conservación óptima durante su tiempo de vida útil. Si el pH es menor la mermelada resultará excesivamente ácida, y si es mayor que 3,8 no favorece la ruptura de la sacarosa, lo que le confiere un fuerte sabor a azúcar, que no es característico de estos productos.

2.9.5 Defectos en la elaboración de mermeladas

Según (Coronado & Hilario, 2001), afirma: para determinar las causas de los defectos que se producen en la preparación de mermeladas se debe comprobar los siguientes

factores: contenido de sólidos solubles (°Brix), pH, color y sabor. A continuación, se presenta los principales defectos en la elaboración de mermeladas.

2.9.6 Mermelada floja o poco firme

Según (Coronado & Hilario, 2001), afirma que este defecto puede presentarse por diversas razones, entre estas tenemos.

- a) Cocción prolongada, provocando una mala formación de gel debido a la hidrólisis de la pectina.
- b) Acidez demasiado elevada, generando el rompimiento del sistema de redes o estructura en formación (causando sinéresis).
- c) Acidez demasiado baja, reduce la capacidad de gelificación de la pectina e impide la formación de gel.
- d) Algunos frutos contienen tampones en forma de sales, y si se encuentran en proporciones elevadas, impiden la gelificación.
- e) Frutos con bajo contenido de pectina.
- f) Elevado contenido de azúcar en relación a la cantidad de pectina.
- g) El enfriamiento excesivo antes del envasado, provoca la ruptura del gel.

2.9.7 Presencia de sinéresis en mermelada

Según (Coronado & Hilario, 2001), afirma que se presenta cuando la masa solidificada suelta líquido. El agua atrapada es exudada y se produce una compresión del gel. Las Causas son por acidez demasiado elevada, deficiencia en pectina, exceso de azúcar invertido, concentración deficiente, exceso de agua (demasiado bajo en sólidos) Para la determinación de esta falla se debe comprobar: °Brix y pH.

2.9.8 Presencia de cambio de color en mermelada

La cocción prolongada provoca una caramelización de azúcares y/o la degradación de la clorofila (provocando una coloración parda); el uso de fruta o pulpa con bajo grado

de madurez (pulpa descolorida), la contaminación con metales, debido a que los fosfatos (magnesio y potasio), los oxalatos entre otros metales producen enturbiamiento (Coronado & Hilario, 2001).

2.9.9 Presencia de cristalización en mermelada

Según (Coronado & Hilario, 2001), la elevada cantidad de azúcar, Acidez demasiado elevada que ocasiona la alta inversión de los azúcares dando lugar a la granulación de la mermelada, acidez demasiado baja que origina la cristalización de la sacarosa, exceso de cocción que da una inversión excesiva, la permanencia de la mermelada en las pailas de cocción u ollas, después del haberse hervido también da a lugar a una inversión excesiva.

2.9.10 Crecimiento microbiano en mermelada

Según (Coronado & Hilario, 2001), afirma que las causas son debido a la humedad excesiva en el almacenamiento, contaminación anterior al cierre de los envases, envases poco herméticos, bajo contenido de sólidos solubles del producto, debajo del 63%, contaminación debido a la mala esterilización de envases y de las tapas utilizadas, sinéresis de la mermelada, llenado de los envases a temperatura demasiado baja, menor a 85°C, llenado de los envases a temperatura demasiado alta, mayor a 90°C.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo del trabajo experimental

La parte experimental del trabajo de investigación “Elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal”, se realizó en el laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y en el Laboratorio Académico de Ingeniería de Alimentos (LACIA), ambos dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” en el departamento de Tarija provincia Cercado.

3.2 Tipos de intervención para la parte experimental

La metodología que se utilizó para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

- Análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la hoja de nopal.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la pulpa de nopal.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológico de la mermelada a partir de la hoja de nopal.
- Análisis del diseño factorial 2^3 en el proceso de concentración de sólidos para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.
- Análisis de la evaluación sensorial para la obtención de mermelada a partir de la hoja de nopal.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológico de la mermelada a partir de hoja de nopal después de tres meses.
- Operalización de las variables dependiente e independiente del proceso de concentración de sólidos.

3.3 Tipo de investigación

La investigación descriptiva, es aquella que trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental en la cual busca una interpretación correcta. Y puede incluir los siguientes tipos de estudios: encuestas, casos, exploratorios, causales, de desarrollo, predictivos, de conjuntos, de correlación (Vera, 2013).

Según (Bernal, 2010) en tales estudios se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, modelos, prototipos, guías, etcétera; pero no se dan explicaciones o razones de las situaciones, los hechos, los fenómenos, etcétera.

3.4 Paradigma de la investigación

Según (Hernández & Mendoza 2018), afirman: “El paradigma es un conjunto de concepciones y primicias acerca del mundo y los métodos y técnicas que se consideran apropiadas para investigarlo” (Pág. 4). Según Zayas (2018), afirma: que entre las principales características del paradigma positivista se encuentran la orientación, nomotética de la investigación, la formulación de hipótesis, su verificación y la predicción a partir de las mismas, la sobrevaloración del experimento, el empleo de métodos cuantitativos y de técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.

El presente trabajo de investigación asume el paradigma positivista; ya que se basó en la utilización de métodos y técnicas para generalizar los resultados.

3.4.1 Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, el cual es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “saltar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la hipótesis (Hernandez et al., 2006).

3.5 Métodos – técnicas e instrumentos

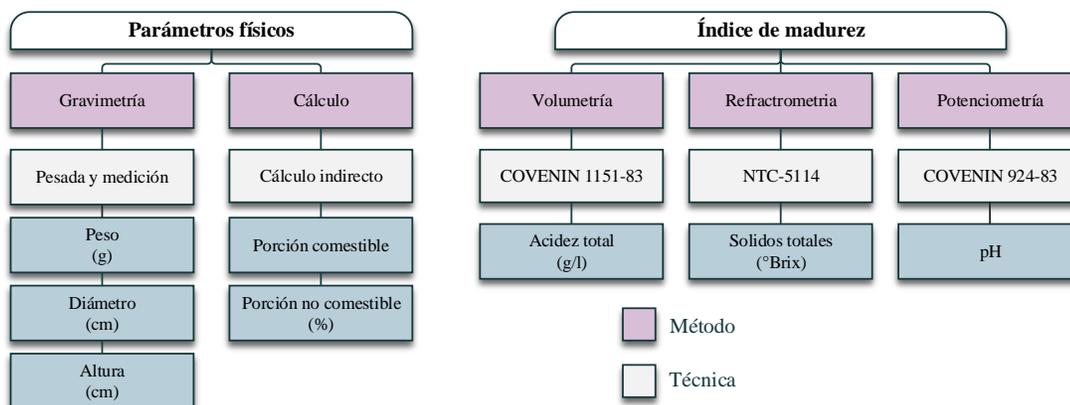
El método es un proceso de pasos a seguir para alcanzar una meta, y la técnica es el conjunto de procedimientos de los recursos de que se vale la ciencia para llegar a su fin, la técnica se puede repetir según el investigador lo considere para que su trabajo tenga validez (Custodio, 2008).

Las técnicas son un conjunto de normas y procedimientos para regular un determinado proceso y alcanzar un determinado objetivo. Como así también los instrumentos son las herramientas conceptuales o materiales que sirven a las técnicas de investigación especialmente a las técnicas de recolección de datos (Ñaupas et al., 2014).

Los métodos y técnicas que se utilizaron para la obtención de resultados del presente trabajo de investigación son:

3.5.1 Análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal

En la figura 3.1, se muestra los métodos y técnicas que se utilizaron en el análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal (*Opuntia ficus-indica*), que fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

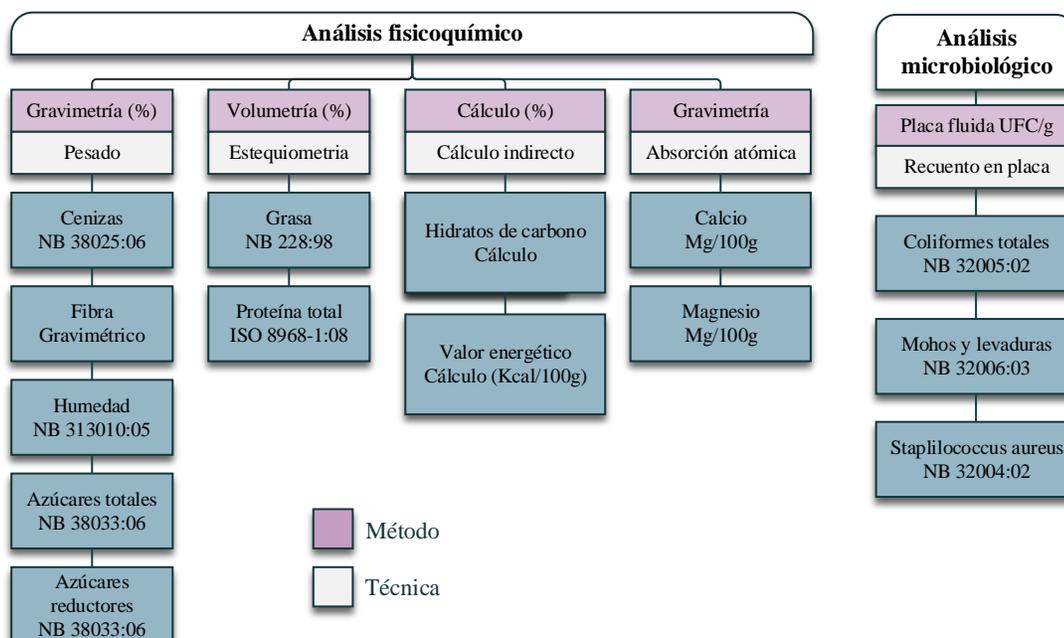


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Métodos y técnicas para el análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal

3.5.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la hoja de nopal

En la figura 3.2, se muestra los métodos y técnicas que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la hoja de nopal, que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

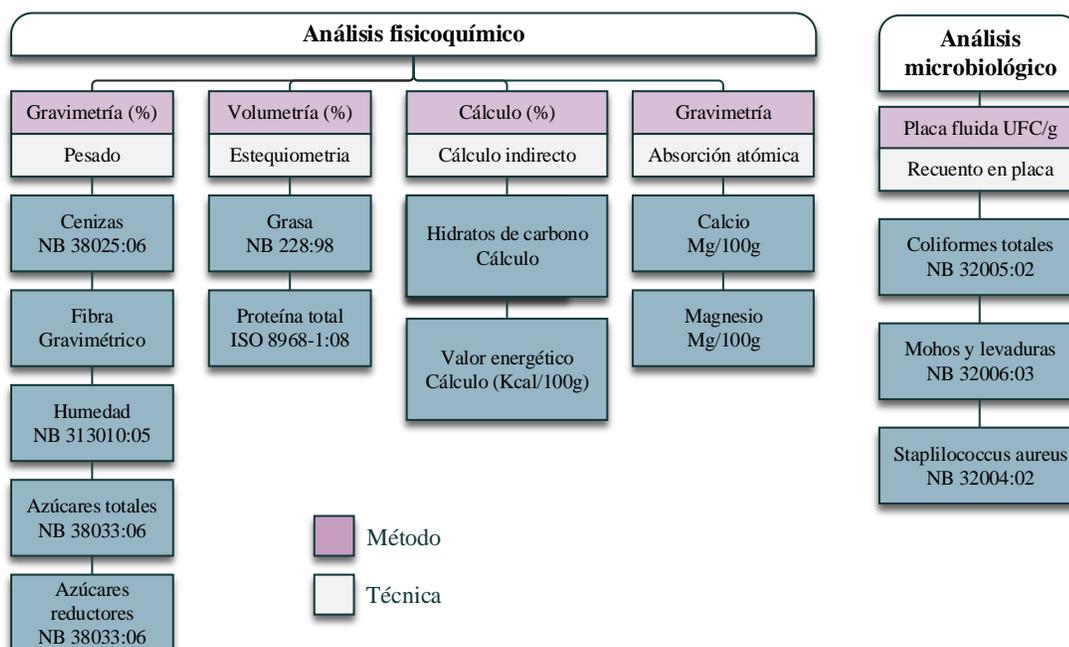


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2 Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológico de la hoja de nopal

3.5.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la pulpa de nopal

En la figura 3.3, se muestra los métodos y técnicas que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la pulpa de nopal, que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

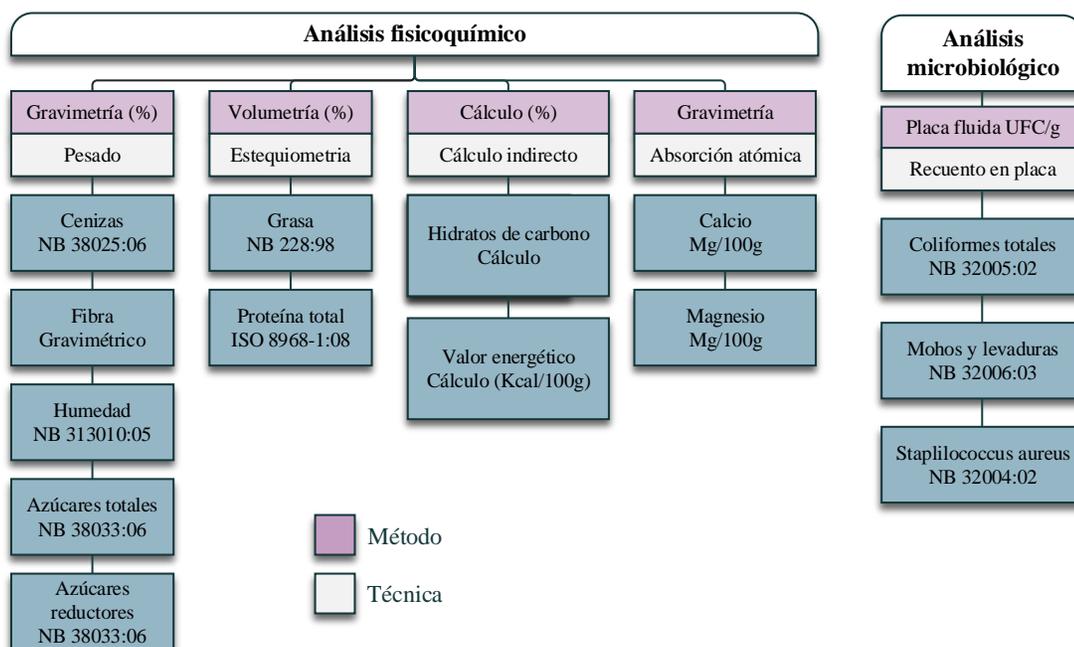


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.3 Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológico de la pulpa de nopal

3.5.4 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la figura 3.4, se muestra métodos y técnicas que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal, que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

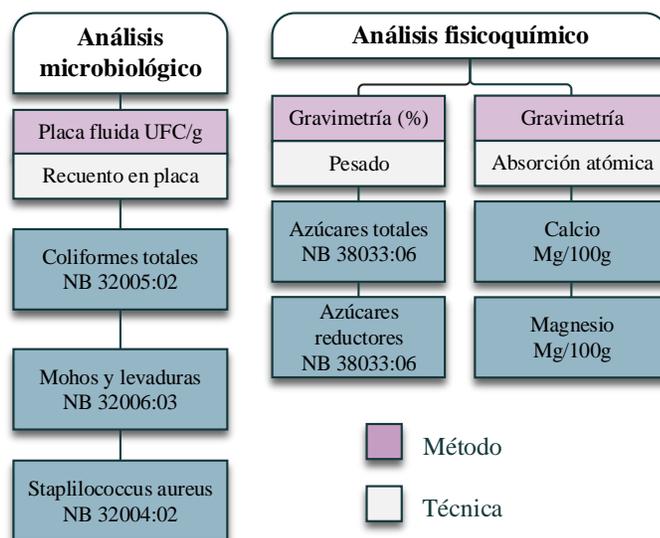


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.4: Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada de nopal

3.5.5 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal durante el almacenamiento

En la figura 3.5, se muestra métodos y técnicas que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada de nopal durante el almacenamiento, que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.5: Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada de nopal durante el almacenamiento

3.6 Insumos y aditivos alimentarios

En la figura 3.6, se detallan los insumos y aditivos alimentarios que se utilizaron para la “elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal”.

Insumos			Aditivo alimentario	
Azúcar de mesa (sacarosa)	Glucosa	Pectina	Colorante artificial (Verde hoja)	Acido cítrico
Marca: I.A.B.S.A. Origen: Tarija-Bermejo Calidad: Alimenticio Estado: Solido	Marca: Essenciales Origen: Santa Cruz Calidad: Alimenticio Estado: Solido	Marca: Essenciales Origen: Santa Cruz Calidad: Alimenticio Estado: Solido	Marca: Elymar Origen: Santa Cruz Calidad: Alimenticio Estado: Gel Concentrado	Marca: Essenciales Origen: Santa Cruz Calidad: Alimenticio Estado: Solido

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6: Insumos y aditivos para la elaboración de mermelada de nopal

3.7 Equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se emplearon para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

3.7.1 Equipos de proceso

En la figura 3.7, se observan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizaron en el trabajo de investigación y se muestran en la figura C.1.1 (Anexo C.1), los cuales se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Alimentos (LACIA).

Equipos de proceso	Especificaciones técnicas
Cocina eléctrica	Marca: Brogas Modelo: 2 hornallas 4 niveles Potencia eléctrica: 2000 W Frecuencia: 220v
Procesadora de alimentos	Marca: Philips Modelo: HR7631 Potencia eléctrica: 650 W Frecuencia: 220 – 50-60Hz

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Equipos de proceso para la elaboración de mermelada de nopal

3.7.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.8, se observa las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el trabajo de investigación y se muestran en la figura C.1.2 (Anexos C.1), los cuales se encuentran en el laboratorio Académico de la Carrera de Alimentos (LACIA).

Instrumentos de laboratorio	Especificaciones técnicas
Estufa de esterilización Marca J.P SELECTA, s.a.	Modelo: 230vac Potencia eléctrica: 1600 W Frecuencia: 50/60Hz
Balanza de precisión Marca RADWAG	Capacidad: max:4500gr,min:0,5g Modelo: PS 4500.R2 Frecuencia 12-16 V
Balanza analítica Marca METLER	Potencia: 5 w Frecuencia: 50-60 Hz
Refractómetro digital Marca KRUSS	Modelo: DR 301-95 Dimensiones: 18x6x10cm
pH-metro digital Marca LAGUA	Dimensiones: 170x174x73 mm Precisión: 0,003 pH Rango: 0 – 14 pH
Bureta de titulación digital Marca JENCONS	Dimensiones: 99x34 mm Precisión: 0,2 Rango: 0,01 – 50 ml

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Instrumentos de laboratorio

3.7.3 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación, se muestra en la figura C.1.3 (Anexo C.1) los cual cuales fueron los siguientes:

- Termómetro de alcohol de vidrio de 0 - 100° C.
- Vidrio reloj mediano.
- Vasos de precipitado de vidrio de 250 – 500 ml.
- Espátula de acero inoxidable.

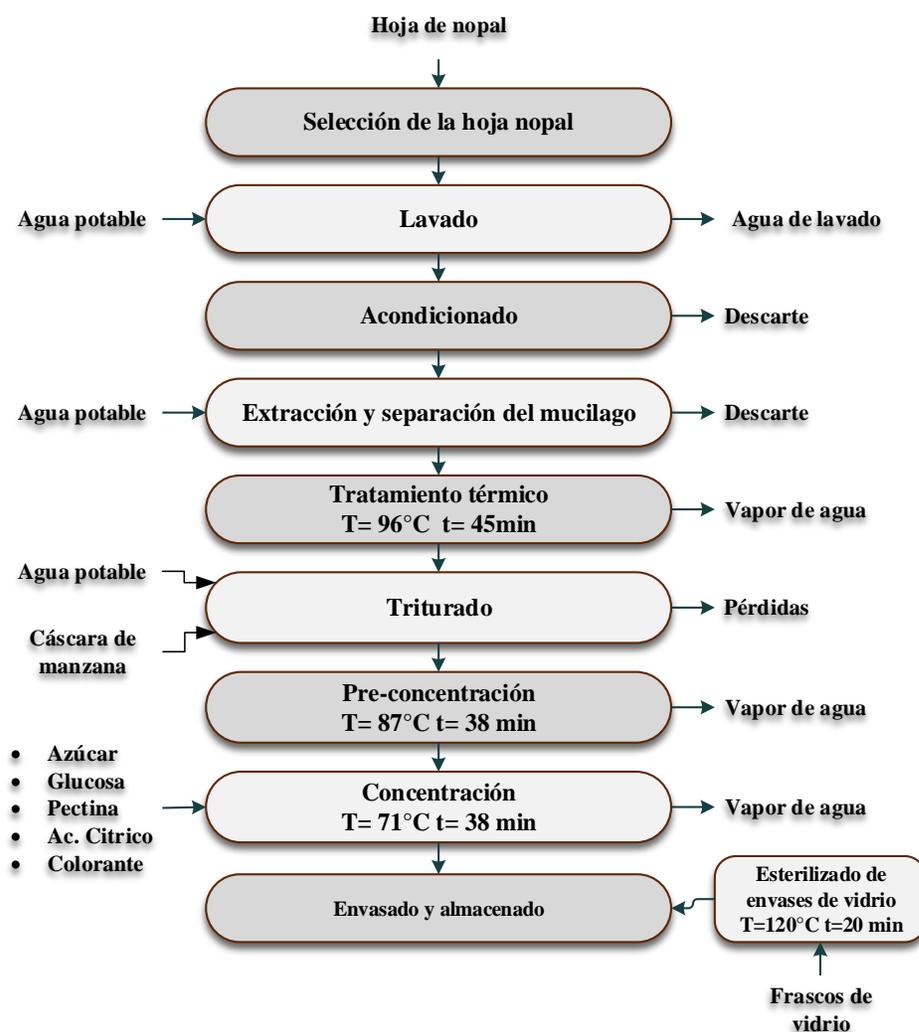
Los utensilios de cocina que se utilizaron en el presente trabajo de investigación se muestra en la figura C.1.4 (Anexo C.1), se detallan a continuación:

- **Recipiente:** capacidad grande, tipo de material plástico.
- **Espátula:** capacidad pequeña, tipo de material plástico.
- **Cuchara:** capacidad mediana, tipo de material acero inoxidable.

- **Olla:** capacidad mediana, tipo de material acero inoxidable.
- **Espumadera:** capacidad mediana, tipo de material acero inoxidable.
- **Tabla de picar:** capacidad mediana, tipo de material plástico.
- **Cuchillo:** capacidad mediana, tipo de material acero inoxidable.
- **Pinza:** Tipo de material de plástico y acero inoxidable.

3.8 Diagrama de proceso para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la figura 3.9, se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Diagrama de proceso para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

3.8.1 Descripción del proceso de elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

Las operaciones realizadas en el proceso experimental para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal, se detallan de acuerdo a lo siguiente:

3.8.1.1 Selección de la hoja de nopal



En la figura 3.10, se muestra la selección de la hoja de nopal. Donde inicialmente se realizó el seleccionado de las hojas de nopal jóvenes inspeccionando visualmente para descartar las hojas de nopal inmaduras o muy maduras o con defectos.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Hoja de nopal

3.8.1.2 Lavado



En la figura 3.11, se muestra el lavado de la hoja de nopal. Este proceso se desarrolló utilizando agua potable, con la finalidad de eliminar sustancias indeseables como ser tierra, polvo e impurezas.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Proceso de lavado de la hoja de nopal

3.8.1.3 Acondicionado



En la figura 3.12, se muestra el proceso de acondicionado de la hoja de nopal. En donde se procedió a realizar el desespinado; es decir, retirar las espinas con la ayuda de un cuchillo, además de retirar las partes dañadas de la hoja de nopal. Posteriormente, se continuó separando la pulpa de la cáscara y las nervaduras de la hoja de nopal.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Proceso de acondicionado de la hoja de nopal

3.8.1.4 Extracción y separación del mucilago



En la figura 3.13, se muestra el proceso de extracción Y separación de la pulpa y cáscara acondicionada. En esta etapa se hace el colado de la pulpa y cáscara acondicionada, con la ayuda de una espumadera de acero inoxidable con el propósito de separar el mucilago, después de dejar reposar la pulpa y la cáscara en agua durante un periodo de 12 horas para extraer mucilago.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Proceso de extracción y filtración del mucilago

3.8.1.5 Tratamiento térmico



En la figura 3.14, se muestra el tratamiento térmico de la pulpa y cáscara. Este proceso se realizó sumergiendo la pulpa y la cáscara en agua a temperatura de ebullición durante 45 min; con el propósito de ablandar y extraer el resto de mucilago existente.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Proceso de tratamiento térmico

3.8.1.6 Triturado



En la figura 3.15, se muestra el proceso de triturado de la pulpa de nopal, cáscara de nopal (fibra) y cáscara de manzana (fibra). Después de realizar el tratamiento térmico de la pulpa y cáscara de la hoja de nopal; se colocó la pulpa, cáscara de la hoja de nopal, cáscara de manzana (fibra) y agua dentro de una procesadora eléctrica de alimentos durante un tiempo de 15 minutos con el propósito de obtener una textura más fina en la mermelada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Proceso de triturado

3.8.1.7 Pre-concentración



En la figura 3.16, se muestra el proceso de pre-concentrado de la pulpa base (pulpa de nopal, cascara de nopal, cascara de manzana y agua).

En esta etapa se pre-concentra la pulpa base desde la temperatura ambiente de 20 °C hasta Alcanzar una temperatura de 87 °C durante un tiempo de 7 minutos, para posteriormente, adicionar los aditivos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Proceso de pre-concentración

3.8.1.8 Concentración



En la figura 3.17, se muestra el proceso de concentración de la pulpa base. En esta etapa se adicionan los aditivos (azúcar, glucosa, pectina, ácido cítrico y colorante) en función a la cantidad de la pulpa pre-concentrada y se concentró la mezcla hasta llegar a una concentración de sólidos solubles entre (50-60) (°Brix), con un pH entre (3,3 – 3,5); durante un tiempo de 38 minutos a una temperatura de 71 °C. Se determinó el punto final de concentración con la ayuda de un refractómetro digital .

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Proceso de concentración

3.8.1.9 Esterilizado de envases de vidrio



En la figura 3.18, se muestra el proceso de esterilización de los envases de vidrio de 125 cc.

Previo al envasado se realizó el esterilizado de los envases de vidrio en la estufa de esterilización donde se programo a una temperatura de 120 °C por un tiempo de 20 minutos con el fin de esterilizar y obtener envases asépticos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Esterilizado de los envases de vidrio

3.8.1.10 Envasado y almacenado



En la figura 3.19, se muestra el proceso de envasado de la mermelada. El envasado de la mermelada se realizó en caliente en los frascos de vidrio previamente esterilizados, rellenando los frascos hasta casi el borde, cerrándolos herméticamente con las tapas y se colocó los frascos boca abajo hasta que se enfríen. El almacenado de la mermelada se realizó en un lugar fresco, limpio y seco; con suficiente ventilación con el objeto de garantizar la conservación del producto hasta el momento de su consumo.

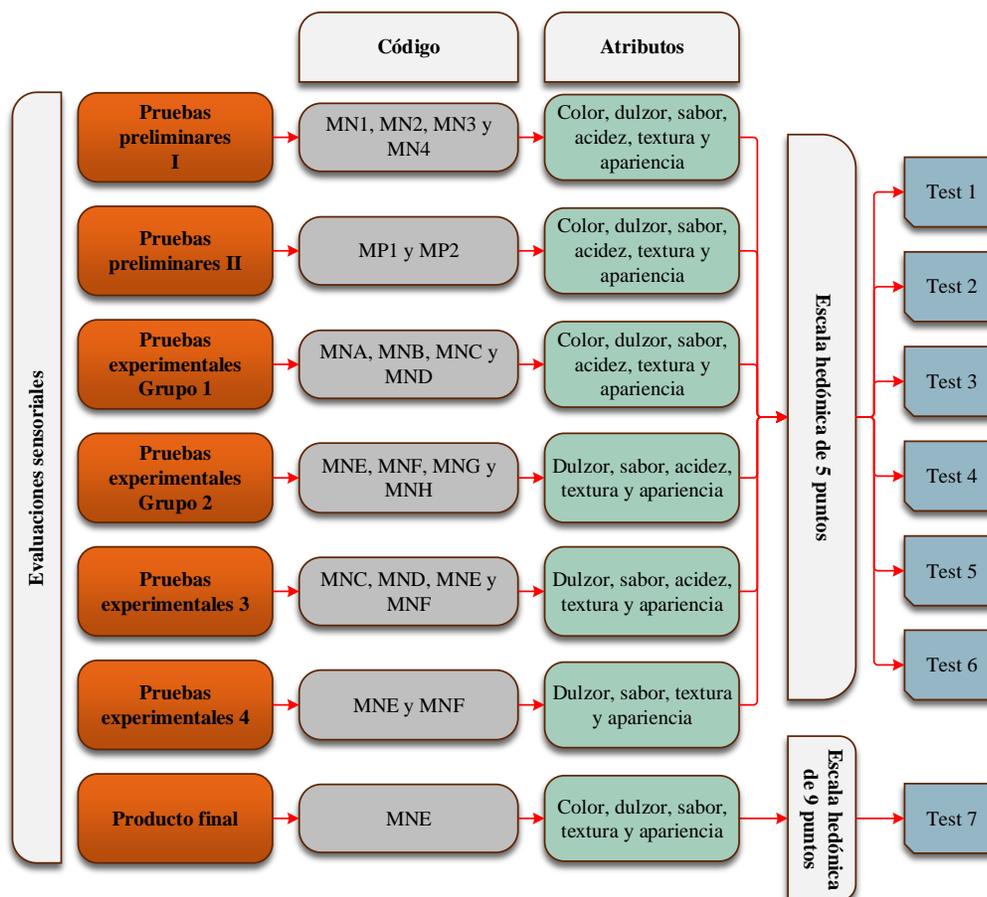
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19: Envasado de la mermelada

3.9 Evaluación sensorial del producto final

La valoración sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia, que le lleva, consciente o inconscientemente a aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos. Es decir, es un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los sentidos humanos; obteniendo datos cuantificables y objetivables (Bota & de Castro, 1999).

En la figura 3.21, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal, con el objeto de caracterizar las propiedades organolépticas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Evaluaciones sensoriales de la mermelada de nopal

3.10 Diseño experimental

Según (Montgomery, 2004), un diseño experimental es una serie de pruebas en las que se realizan cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida.

3.10.1 Diseño factorial 2^3

Con el diseño factorial 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de 8 tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse con las mismas notaciones introducidas con el diseño 2^2 . Con este diseño se pueden estudiar los $2^3 - 1 = 7$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles. Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño 2^3 como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que, al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas, como se aprecia más adelante (Gutierrez y De la Vara, 2018).

El diseño factorial aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se muestra en la ecuación 3.1.

$$2^K \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

2 = número de niveles

K = número de variables

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

β = coeficientes de regresión

X_A, X_B, X_C = Valor codificado del factor de diseño

3.10.1.1 Diseño experimental en el proceso de dosificación de materia prima e insumos de la mermelada a partir de la hoja de nopal

Para realizar el diseño experimental en el proceso de dosificación de materia prima e insumos para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal, se aplicó de acuerdo a la (ecuación 3.1), cuyo diseño factorial corresponde a la ecuación 3.3.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos/prueba} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

Porcentaje de pulpa / fibra de la hoja de nopal (%) (A)= 2 niveles

Porcentaje de azúcar (%) (B)= 2 niveles

Porcentaje de pectina (%) (C)= 2 niveles

En la tabla 3.1, se muestra la matriz del diseño experimental a ser aplicado en el proceso de dosificación para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal, las variables tomadas en cuenta son: Porcentaje de pulpa / porcentaje fibra de la hoja de nopal(A), porcentaje de azúcar (B), porcentaje de pectina (C).

Tabla 3.1

Matriz de variables para el proceso de dosificación de materia prima e insumos

Tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _{i1}	Y _{i2}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁
a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂
b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄	Y ₄
c	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_i= Azúcares reductores, acidez y pH.

En la tabla 3.2, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), aplicado en el proceso de dosificación para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.

Tabla 3.2

Niveles de variación de los factores de dosificación

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Porcentaje pulpa / fibra (A)	%	70,0/30,0	60,0/40,0
Porcentaje de azúcar (B)	%	55,0	45,0
Porcentaje de pectina (C)	%	0,2	0,6

Fuente: Elaboración propia

3.11 Operacionalización de la variable dependiente e independiente para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

En el cuadro 3.1, se muestra la operacionalización de las variables dependiente e independiente que son aplicadas en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Cuadro 3.1

Operacionalización de la variable dependiente e independiente para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

Hipótesis	Variables		Definición	Parámetros	Indicadores	Unidades
El proceso de concentración de frutas a ser aplicado para la elaboración de mermelada a partir de hoja de nopal, permitirá obtener un producto de calidad en la provincia de Cercado del departamento de Tarija.	Independiente	Conservación de frutas	Según (Atlas, 2020), la conservación de alimentos es un conjunto de procedimientos y recursos para preparar y envasar los productos alimenticios con el fin de guardarlos y consumirlos mucho tiempo después.	Dosificación	Pulpa y fibra de nopal	%
					Azúcar y glucosa	%
					Pectina	%
				Concentración de sólidos	Tiempo	hr
					Pulpa de nopal	%
					Temperatura	°C
	Dependiente	Mermelada a partir de la hoja de nopal	Según (CAA, 2008), se entiende por mermelada como la confitura elaborada por cocción de frutas u hortalizas (enteras, en trozos, pulpa tamizada, jugo y pulpa normal o concentrada), con uno o más de los edulcorantes.	Fisicoquímicos	Proteínas	%
					Cenizas	%
					Humedad	%
					Fibra	%
					Hidratos de carbono	%
					Materia grasa	%
				Organolépticos	Valor energético	Kcal/g
					Sabor	Hedónica
					Color	Hedónica
					Acidez	Hedónica
				Microbiológicos	Textura	Hedónica
					Apariencia	Hedónica
Coliformes totales	UFC/g					
Mohos y levaduras	UFC/g					
Stapililococcus aureus	UFC/g					

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la materia prima

Para realizar la caracterización de la hoja de nopal (*Opuntia ficus - indica*), se tomaron en cuenta los siguientes análisis:

- Físico
- Fisicoquímico
- Microbiológico

4.1.1 Parámetros físicos de la hoja de nopal

En la figura 4.1, se observan diez muestras de hoja de nopal las cuales fueron tomadas aleatoriamente para determinar los siguientes parámetros físico: peso total, porción comestible y no comestible.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Muestras de hoja nopal

En el cuadro 4.1, se muestran las ecuaciones aplicadas para la determinación de porción comestible y no comestible de la hoja de nopal.

Cuadro 4.1*Ecuaciones para las propiedades físicas de la hoja de nopal*

Porción comestible	Porción no comestible	Media aritmética
$PC = \frac{P_{final}}{P_{inicial}} * 100$	$PNC = 100 - PC$	$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$
PC = Porción comestible (%) PNC = Porción no comestible (%) P _{inicial} = Peso inicial de la muestra (g) P _{final} = Peso final de la muestra (g)		X = Media aritmética n = Número de muestras

Fuente: Carbajal & Sánchez, 2018

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físicos de la hoja de nopal, realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.1*Propiedades físicas de la hoja de nopal*

Muestras NP	Peso total (g)	PC (%)	PNC (%)	DL (cm)	DE (cm)
1	759,36	45,96	54,04	33,00	19,00
2	869,93	49,53	50,47	36,00	23,00
3	629,58	47,42	52,58	37,00	23,00
4	1207,88	49,31	50,69	32,00	22,00
5	1029,18	43,08	56,92	34,00	23,00
6	633,59	47,57	52,43	36,00	21,00
7	981,53	46,00	54,00	36,00	24,00
8	686,29	47,74	52,26	34,00	20,00
9	719,00	46,00	54,00	33,00	23,50
10	1125,74	45,99	54,01	32,00	22,00
X_i	864,20	46,86	53,14	34,30	22,05

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos de las propiedades físicas de la hoja de nopal que presenta: peso total 864,20 g; porción comestible 46,86 %; porción no comestible 53,14 %; diámetro longitudinal 34,30 cm y diámetro ecuatorial 22,05 cm.

4.1.2 Índice de madures de la hoja de nopal

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del índice de madurez que se realizaron en 10 muestras de la hoja de nopal.

Tabla 4.2

Índice de madurez de la hoja de nopal

Muestras	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez (%)	$IM = \frac{°Brix}{Acidez}$
1	4,768	5,7	0,0640	89,06
2	4,654	8,5	0,0183	464,48
3	4,643	8,8	0,0212	415,09
4	4,595	9,4	0,0145	648,27
5	4,542	10,9	0,0186	586,02
6	4,326	11,7	0,0190	615,79
7	4,395	6,8	0,0171	397,66
8	4,528	10,5	0,0105	1000,00
9	4,673	7,5	0,0084	892,86
10	4,570	8,8	0,0200	440,00
X_i	4,569	8,8	0,0211	554,92

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos del índice de madurez de la hoja de nopal, que presenta: pH 4,569; °Brix 8,8; acidez 0,0211 % e índice de madurez de 554,92.

4.1.3 Parámetros fisicoquímicos de la hoja de nopal

En la tabla 4.3, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la hoja de nopal de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.3

Composición fisicoquímica de la hoja de nopal

Parámetros	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	391,00
Magnesio	mg/100g	323,00
Azúcares totales	%	0,80
Ceniza	%	1,16
Fibra	%	0,78
Grasa	%	0,88
Hidratos de carbono	%	4,10
Humedad	%	92,24
Proteínas totales	%	0,84
Valor energético	Kcal/100g	27,68

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar que los resultados del análisis fisicoquímico de la hoja de nopal que presenta: Calcio 391,00 mg/100g; Magnesio 323,00 mg/100g;

Azúcares totales 0,80 %; Cenizas 1,16 %; Fibra 0,78 %; Grasa 0,88 %; Hidratos de carbono 4,10 %; Humedad 92,24 %; Proteína total 0,84 % y valor energético 27,68 Kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológicos de la hoja de nopal

En la tabla 4.4, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos de la hoja de nopal de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la hoja de nopal

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Coliforme totales	UFC/g	5,0 x 10 ¹
Staphilococcus aureus	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la hoja de nopal que presenta: Mohos y levaduras < 1,0 x 10¹ (*) UFC/g; Coliformes totales 5,0 x 10¹ UFC/g y Staphilococcus aureus < 1,0 x 10¹ (*) UFC/g. (*) No se observa desarrollo de colonias.

4.1.5 Parámetros fisicoquímicos de la pulpa de nopal

En la tabla 4.5, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la pulpa de nopal de extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.5

Composición fisicoquímica de la pulpa de nopal

Parámetros	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	380,00
Magnesio	mg/100g	62,80
Azucares totales	%	0,60
Ceniza	%	0,75
Fibra	%	0,33
Grasa	%	0,13
Hidratos de carbono	%	3,50
Humedad	%	95,10
Proteínas totales	%	0,64
Valor energético	Kcal/100g	15,23

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.5, se puede observar que los resultados del análisis fisicoquímico de la pulpa de nopal que presenta: Calcio 380,00 mg/100g; Magnesio 62,80 mg/100g; Azucares totales 0,60 %; Cenizas 0,75 %; Fibra 0,33 %; Grasa 0,13 %; Hidratos de carbono 3,50 %; Humedad 95,10 %; Proteína total 0,64 % y valor energético 15,23 Kcal/100g.

4.1.6 Análisis microbiológicos de la pulpa de nopal

En la tabla 4.6, se muestran los resultados de los análisis microbiológicos de la pulpa de nopal de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.6

Análisis microbiológico de la pulpa de nopal

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Coliforme totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Staphilococcus aureus	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2021

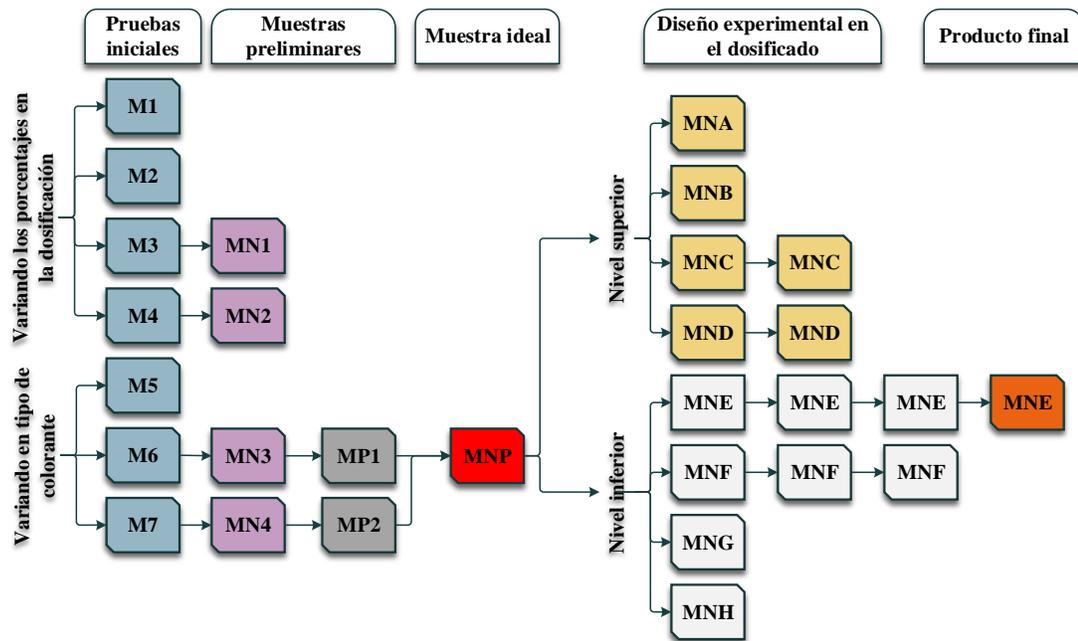
En la tabla 4.6, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la pulpa de nopal que presenta: Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Staphilococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. (*) No se observa desarrollo de colonias.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal, se tomaron en cuenta las pruebas preliminares con el fin de obtener una metodología para su elaboración en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

4.2.1 Pruebas iniciales para la elaboración de mermelada

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación de elaboración de mermelada a partir de hoja de nopal, se procedió a realizar cuatro pruebas iniciales (M1, M2, M3 y M4); donde se hizo variar la dosificación en los porcentajes de: pulpa/fibra, azúcar y pectina; así mismo, se realizó tres pruebas iniciales (M5, M6 y M7) adicionando tres tipos colorante; con el fin de mejorar la apariencia de la mermelada. Para tales efectos, se tomaron en cuenta las muestras M3 y M4; de igual manera, se tomaron en cuenta las muestras M6 y M7. En base a estas cuatro muestras (M3, M4, M6 y M7) se realizaron las muestras preliminares MN1, MN2, MN3 y MN4 en donde se hizo variar el porcentaje de azúcar/glucosa y el porcentaje de ácido cítrico; con la finalidad de determinar la relación adecuada de °Brix y acidez. En base a estas se tomaron en cuenta las muestras MN3 y MN4; con el fin de obtener la muestra ideal, según se detalla en la figura 4.2.



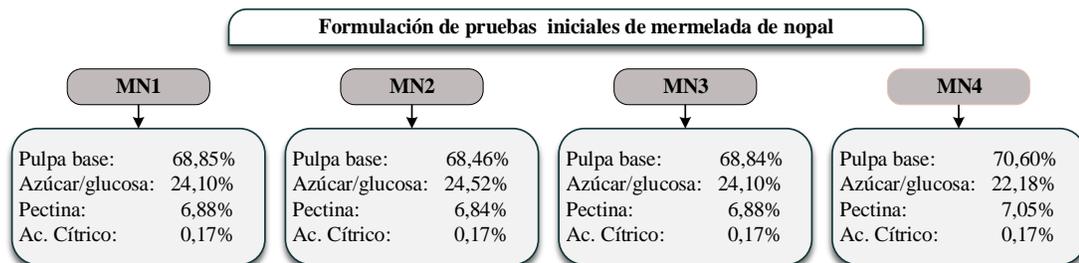
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Pruebas iniciales para la elaboración de mermelada a partir de nopal

4.2.1.1 Formulación de pruebas iniciales de mermelada a partir de hoja de nopal variando la dosificación

Para la elaboración de la formulación de las pruebas iniciales de mermelada a partir de la hoja de nopal (M1, M2, M3 y M4); se hizo variar la dosificación de los porcentajes de: pulpa/fibra, azúcar y pectina con la finalidad de obtener la metodología experimental para el proceso de elaboración de mermelada.

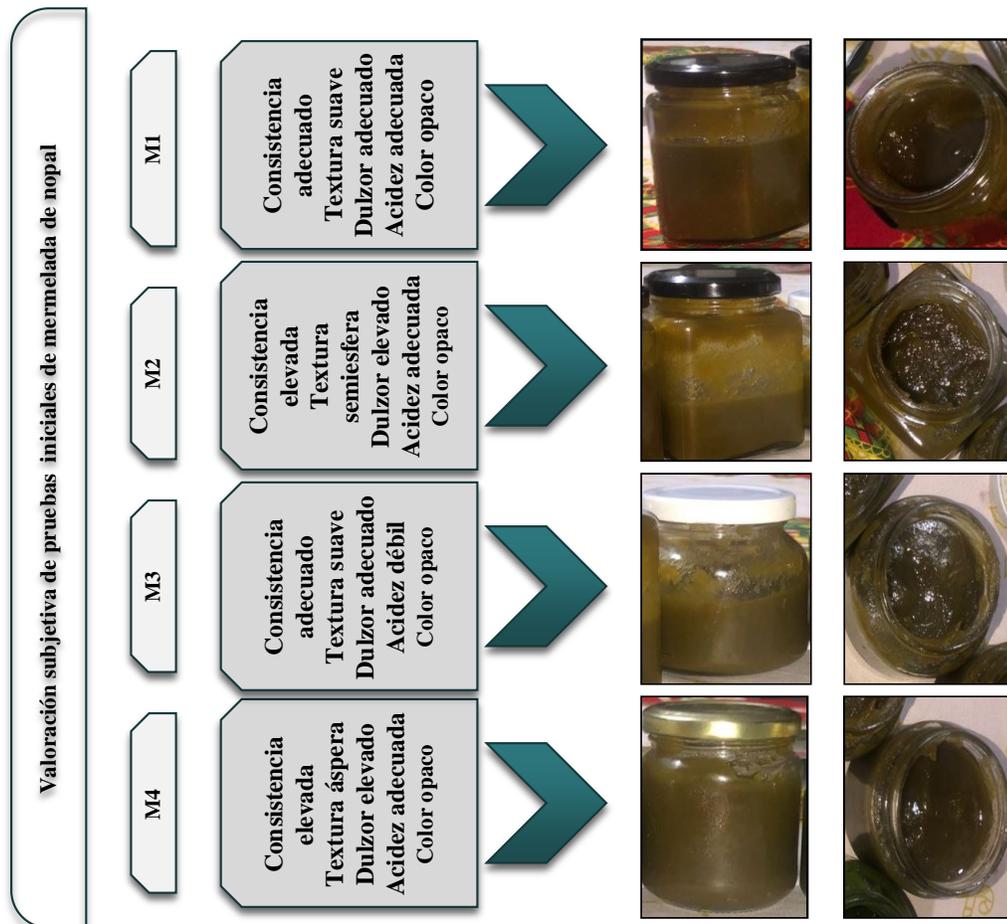
En la figura 4.3, se especifican las formulaciones de las cuatro pruebas iniciales para la elaboración de mermelada de nopal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Formulación de pruebas iniciales de mermelada de nopal

En base a la figura 4.3, las cuatro pruebas de mermelada a partir de la hoja de nopal fueron valoradas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos; ya que, no se realizó una evaluación sensorial; la valoración subjetiva se detalla en la figura 4.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Valoración subjetiva de muestras iniciales de mermelada de nopal

En la figura 4.4, se puede observar que las muestras M1 y M2 fueron las de mayor preferencia por presentar una buena consistencia, grado de dulzor y acidez; en comparación con las muestras M3 y M4 de la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos. Aunque, el color que presentó todas las muestras no fue de agrado para los evaluadores.

4.2.1.2 Variación del tipo de colorante en la elaboración de mermelada de nopal

Para la elaboración de las pruebas iniciales de mermelada a partir de la hoja de nopal (M5, M6 y M7); se hizo variar el tipo de colorante alimenticio (verde limón fuerte, verde hoja y verde limón) con el fin de mejorar la apariencia de la mermelada; ya que, en la valoración subjetiva realizada de las primeras cuatro muestras mencionaron que se mejore el color en la apariencia de la mermelada.

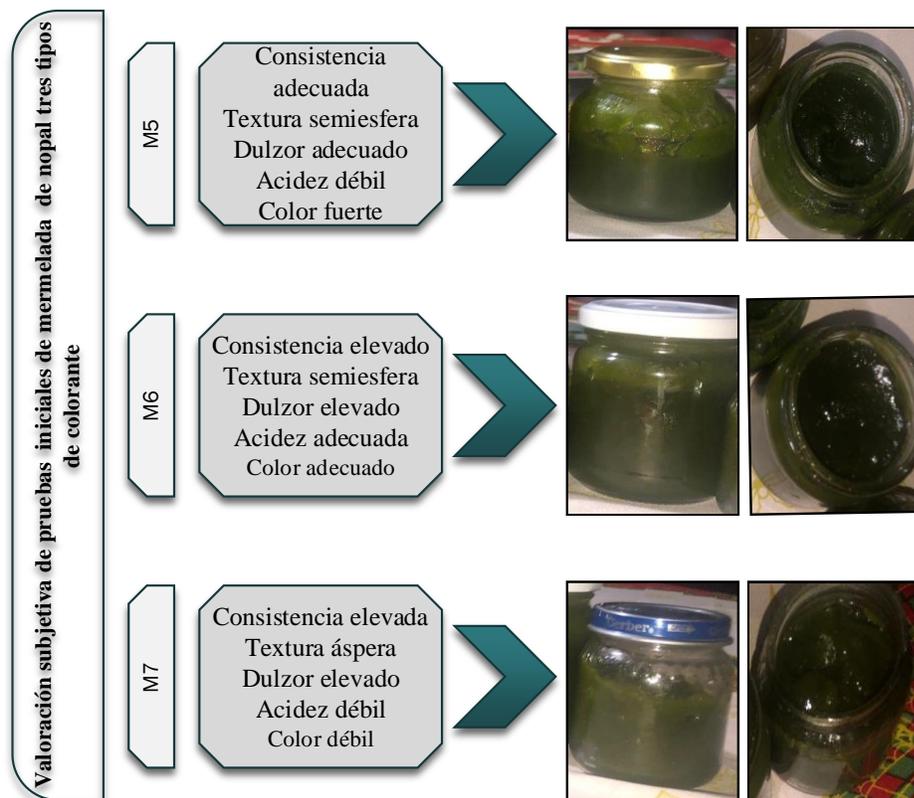
En la figura 4.5, se especifican las formulaciones variando el tipo de colorante de las tres pruebas iniciales para la elaboración de mermelada de nopal.

Variación del tipo de colorante a adicionar en la mermelada de nopal					
MN5		MN6		MN7	
Pulpa base:	70,504%	Pulpa base:	70,546%	Pulpa base:	70,547%
Azúcar/glucosa:	22,269%	Azúcar/glucosa:	22,222%	Azúcar/glucosa:	22,222%
Pectina:	7,047%	Pectina:	7,054%	Pectina:	7,054%
Ac. Cítrico:	0,178%	Ac. Cítrico:	0,176%	Ac. Cítrico:	0,175%
Colorante verde limón fuerte:	0,002%	Colorante verde limón:	0,002%	Colorante verde hoja:	0,002%

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Variación del tipo de colorante a adicionar en la mermelada de nopal

En base a la figura 4.5, las tres pruebas de mermelada de nopal con diferentes tipos de colorantes alimenticios fueron valoradas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos; ya que, no se realizó una evaluación sensorial; la valoración subjetiva se detalla en la figura 4.6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Valoración subjetiva de muestras iniciales de mermelada de nopal adicionando tres tipos de colorante

En la figura 4.6, se puede observar que las muestras M6 y M7 fueron la de mayor preferencia por presentar una buena consistencia, grado de dulzor, acidez y buena apariencia de acuerdo al color que presentaban; en comparación con la muestra M5 de la valoración subjetiva realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos

4.2.2 Muestras preliminares para determinar el porcentaje de azúcar/glucosa y porcentaje de ácido cítrico

En base a las siete muestras valoradas subjetivamente (figura 4.4), se procedió a elaborar nuevamente las cuatro muestras (M3, M4, M6 y M7) que fueron recodificadas como MN1, MN2, MN3 y MN4 tomando en cuenta la formulación de la figura 4.3, con el fin de obtener las muestras preliminares. En base a las muestras de la figura 4.5 se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica

de cinco puntos en la que se valoraron los atributos; color, sabor, dulzor, acidez, apariencia y textura.

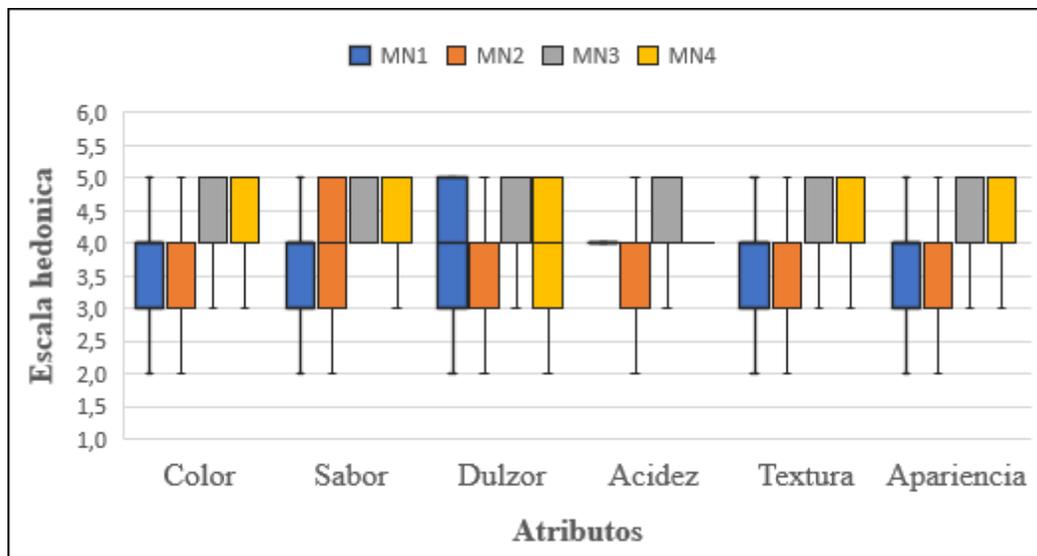
Formulación de muestras preliminares de mermelada de nopal							
MN1		MN2		MN3		MN4	
Pulpa base:	68,845%	Pulpa base:	68,863%	Pulpa base:	70,545%	Pulpa base:	70,571%
Azúcar/glucosa:	24,097%	Azúcar/glucosa:	24,111%	Azúcar/glucosa:	22,222%	Azúcar/glucosa:	22,230%
Pectina:	6,884%	Pectina:	6,886%	Pectina:	7,054%	Pectina:	7,056%
Ac. Cítrico:	0,172%	Ac. Cítrico:	0,138%	Ac. Cítrico:	0,177%	Ac. Cítrico:	0,141%
Colorante	0,002%	Colorante	0,002%	Colorante	0,002%	Colorante	0,002%

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Formulación de pruebas preliminares de mermelada de nopal

4.2.2.1 Estadístico de caja y bigote para las muestras preliminares de mermelada de nopal

En la figura 4.8, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos evaluados: color, sabor, dulzor, acidez, apariencia y textura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Caja y bigote para pruebas preliminares de mermelada de nopal

Según la figura 4.8, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados son: Color MN1 (5,0); Sabor MN3 (4,0); Dulzor MN2 (5,0);

Acidez MN3 (4,0); Textura MN2 (4,0) y apariencia MN2 (5,0). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.2 Estadísticos de Tukey para el atributo color de la mermelada de nopal

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1.4), para el atributo color.

Tabla 4.7

Estadístico Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN1-MN2	0,00	0,52	No significativo
MN1-MN3	0,68	0,52	Significativo
MN1-MN4	0,68	0,52	Significativo
MN2-MN3	0,68	0,52	Significativo
MN2-MN4	0,68	0,52	Significativo
MN3-MN4	0,00	0,52	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN1-MN3, MN1-MN4, MN1-MN3 y MN3-MN4. Sin embargo, para los tratamientos MN1-MN2 y MN3-MN4, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.3 Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de la mermelada de nopal

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1.8), para atributo sabor.

Tabla 4.8*Estadístico Tukey para el atributo sabor*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN3-MN4	0,44	0,40	Significativo
MN3-MN2	0,64	0,40	Significativo
MN3-MN1	0,76	0,40	Significativo
MN4-MN2	0,20	0,40	No significativo
MN4-MN1	0,32	0,40	No significativo
MN2-MN1	0,12	0,40	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN3-MN4, MN3-MN2 y MN3-MN1. Sin embargo, para los tratamientos MN4-MN2, MN4-MN1 y MN2-MN1, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.4 Estadísticos de Tukey para el atributo de dulzor de la mermelada de nopal

En la tabla 4.9 se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1.12), para atributo dulzor.

Tabla 4.9*Estadístico Tukey para el atributo dulzor*

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN3-MN4	0,24	0,40	No significativo
MN3-MN1	0,40	0,40	Significativo
MN3-MN2	0,6	0,40	Significativo
MN4-MN1	0,16	0,40	No significativo
MN4-MN2	0,36	0,40	No significativo
MN1-MN2	0,20	0,40	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN3-MN1, MN3-MN2. Sin embargo, para los tratamientos MN3-MN4, MN4-MN1, MN4-MN2 y MN1-MN2, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.5 Estadísticos de Tukey para el atributo de acidez de la mermelada de nopal

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1 .16), para atributo acidez.

Tabla 4.10

Estadístico Tukey para el atributo acidez

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN3-MN4	0,32	0,35	No significativo
MN3-MN1	0,48	0,35	Significativo
MN3-MN2	0,64	0,35	Significativo
MN4-MN1	0,16	0,35	No significativo
MN4-MN2	0,32	0,35	No significativo
MN1-MN2	0,16	0,35	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN3-MN1 y MN3-MN2. Sin embargo, para los tratamientos MN3-MN4, MN4-MN1, MN4-MN2 y MN1-MN2, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.6 Estadísticos de Tukey para el atributo de textura de la mermelada de nopal

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1. 20), para atributo textura.

Tabla 4.11

Estadístico Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN4-MN3	0,44	0,47	No significativo
MN4-MN1	0,64	0,47	Significativo
MN4-MN2	0,68	0,47	Significativo
MN3-MN1	0,64	0,47	Significativo
MN3-MN2	0,68	0,47	Significativo
MN1-MN2	0,04	0,47	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN4-MN1, MN4-MN2, MN3-MN1 y MN3-MN2. Sin embargo, para los tratamientos MN4-MN3 y MN1-MN2, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.7 Estadísticos de Tukey para el atributo de apariencia de la mermelada de nopal

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.1. 24), para atributo apariencia.

Tabla 4.12

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MN4-MN3	0,04	0,37	No significativo
MN4-MN2	0,32	0,37	No significativo
MN4-MN1	0,44	0,37	Significativo
MN3-MN2	0,28	0,37	No significativo
MN3-MN1	0,40	0,37	Significativo
MN2-MN1	0,12	0,37	No significativo

Fuente: Elaboración propia

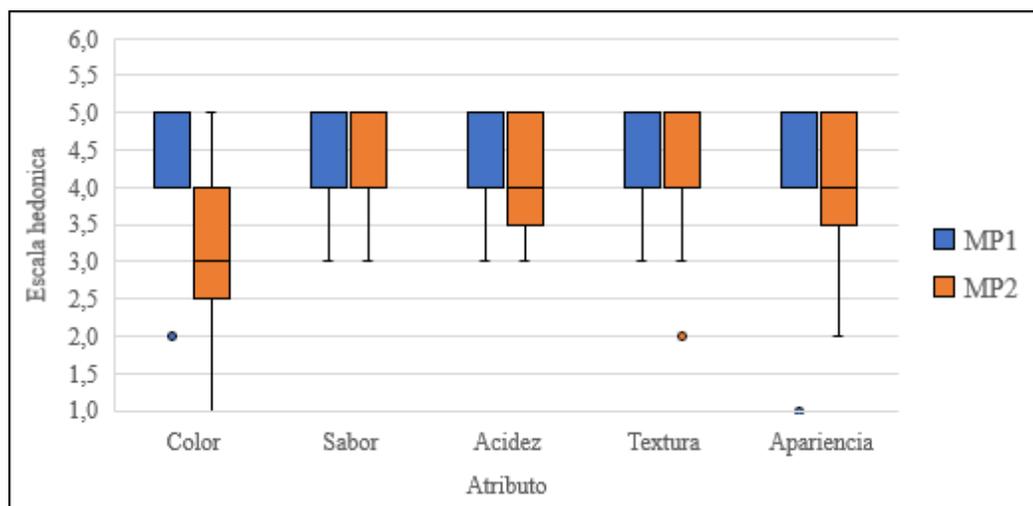
En la tabla 4.12, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MN4-MN1 y MN3-MN1. Sin embargo, para los tratamientos MN4-MN3, MN4-MN2, MN3-MN2 y MN2-MN1, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.3 Muestras preliminares para determinar la muestra ideal de mermelada de nopal

Experimentalmente, en base a las dos muestras MP1 y MP2, se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos en la que se valoraron los atributos; color, sabor, acidez, apariencia y textura; con el fin de obtener la muestra ideal del proceso de elaboración de mermelada de nopal.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas preliminares mermelada de a partir de la hoja de nopal

En la figura 4.9, se muestra el estadístico de caja y bigote en función de los atributos evaluados: color, sabor, acidez, textura y apariencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Caja y bigote para pruebas preliminares de mermelada de nopal

En la figura 4,9, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados son: color MP1 (5,0); sabor MP2 (5,0); acidez MP1 y MP2 (4,0); textura MP2 (5,0) y apariencia MP1 (5,0). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.3.2 Estadísticos de Tukey para el atributo color de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos del Anexo e (tabla E.2.4) para atributo color.

Tabla 4.13

Estadístico Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MP1-MP2	0,21	0,67	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.13, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MP1-PM2 para un nivel de nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Así mismo, finalizada la evaluación sensorial y la preferencia de los jueces se procedió a elegir la muestra (MP1) para el proceso y aplicar el diseño experimental en la elaboración de mermelada de nopal.

4.2.4 Diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación de mermelada a partir de la hoja de nopal

Para el diseño experimental del presente trabajo, se realizó en base a la muestra (MNP), donde se aplicó la matriz del diseño experimental 2^3 de la tabla 3.1 donde se tomó en cuenta las variables con sus niveles superior e inferior de la tabla 3.2.

4.2.4.1 Variable respuesta azúcares reductores de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza en el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de dosificación de mermelada de nopal, y donde la variable respuesta fue el azúcar reductor de datos extraídos Anexo F (tabla F.1).

Tabla 4.14

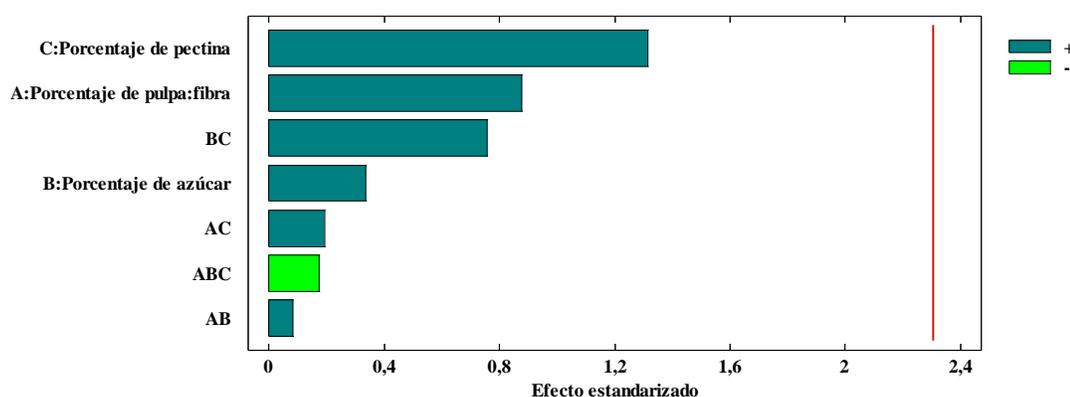
Análisis de varianza en función de la variable azúcares reductores

Fuente de varianza FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fcal	Ftab
A:Pulpa:Fibra	15,21	1	15,21	0,77	5,32
B:Porcentaje de azúcar	2,22	1	2,22	0,11	5,32
C:Porcentaje de pectina	34,04	1	34,04	1,73	5,32
AB	0,14	1	0,14	0,01	5,32
AC	0,73	1	0,73	0,04	5,32
BC	11,35	1	11,35	0,58	5,32
ABC	0,60	1	0,60	0,03	5,32
Error total	157,63	8	19,70		
Total	221,95	15			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14 según el análisis de varianza, se observa que para los factores: (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones no son significativos en la etapa de dosificación en función de los azúcares reductores de la mermelada de nopal para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En la figura 4.10, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en función de los azúcares reductores para el diseño factorial y tomando en cuenta el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306), de tal manera si alguno de los factores excede la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

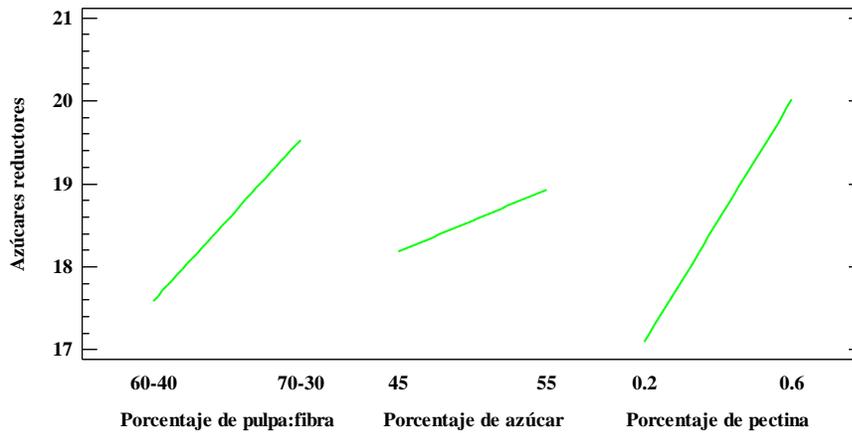


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Diagrama Pareto estandarizado para el factor azúcares reductores

Según la figura 4.10, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores e interacciones C (porcentaje de pectina), A (pulpa/fibra), BC (porcentaje de azúcar/porcentaje de pectina) B (porcentaje de azúcar/glucosa), AC (porcentaje pulpa/fibra - porcentaje de pectina), ABC (porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de azúcar/glucosa - porcentaje de pectina) y AB (porcentaje de pulpa/fibra-porcentaje de azúcar/glucosa). Por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

En la figura 4.11, se muestra los efectos principales de los factores: porcentaje de pulpa/fibra (A), porcentaje de azúcar/glucosa (B) y porcentaje de pectina (C) con relación a los azúcares reductores.

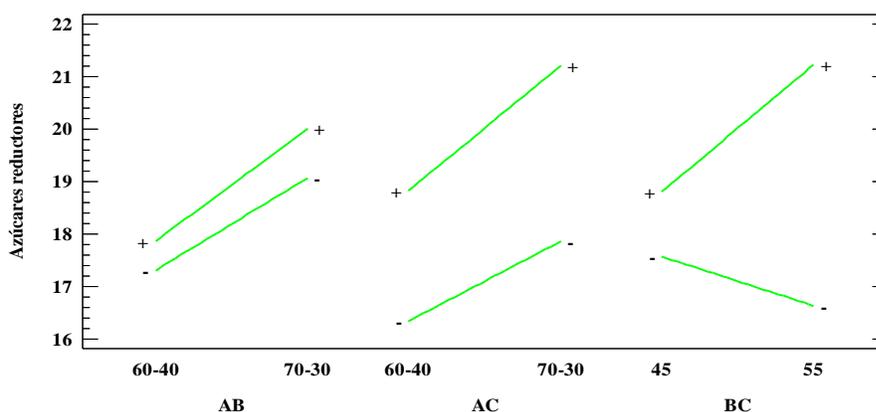


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Efectos principales con relación al factor azúcares reductores

Según la figura 4.11, se puede observar que los factores (A, B y C) no influyen significativamente sobre la variable respuesta azúcares reductores cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como nivel alto, ya que los valores de azúcares reductores oscilan entre (17-21) %.

En la figura 4.12, se observa las interacciones de los factores porcentaje pulpa/fibra y porcentaje de azúcar/glucosa (AB), porcentaje pulpa/fibra y porcentaje de pectina (AC) y porcentaje de azúcar/glucosa y porcentaje de pectina (BC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Interacciones de los factores con relación al factor azúcares reductores

Según la figura 4.12, se puede observar que el valor de los azúcares reductores para la interacción BC se ve afectado cuando el porcentaje de azúcar se encuentra en nivel superior e inferior entre (45-55) %, presentando variación en el porcentaje azúcares reductores de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción AC el valor de los azúcares reductores varía cuando el factor A se encuentra en su nivel superior e inferior (60-70) %. Finalmente, para la interacción AB se observa que el porcentaje de pulpa/fibra y porcentaje de azúcar/glucosa no influye en el porcentaje de azúcares reductores.

4.2.4.2 Variable respuesta porcentaje de acidez (expresado en ácido cítrico)

En la tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza en el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de dosificación de mermelada de nopal, y donde la variable respuesta fue la acidez de datos extraídos Anexo F (tabla F.2).

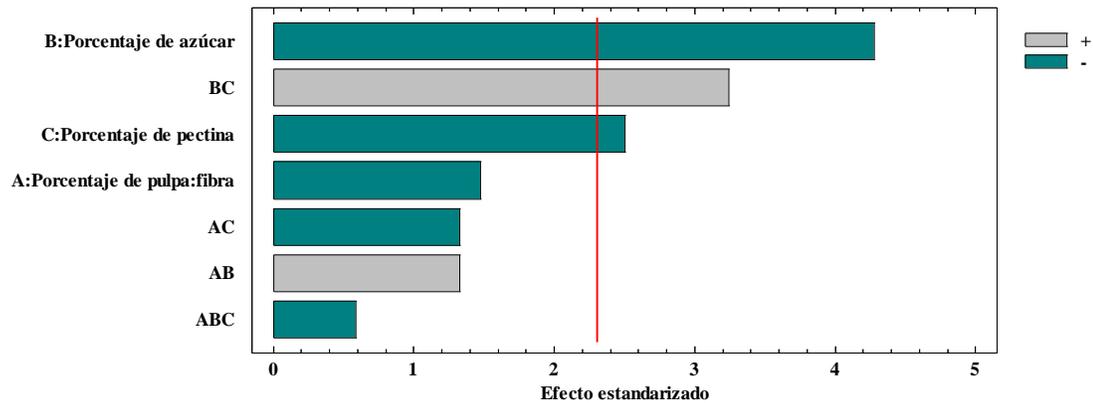
Tabla 4.15*Análisis de varianza en función de la variable acidez*

Fuente de varianza FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fcal	Ftab
A:Pulpa:Fibra	0,000025	1	0,000025	2,17	5,32
B:Porcentaje de azúcar	0,000210	1	0,000210	18,28	5,32
C:Porcentaje de pectina	0,000072	1	0,000072	6,28	5,32
AB	0,000020	1	0,000020	1,76	5,32
AC	0,000020	1	0,000020	1,76	5,32
BC	0,000121	1	0,000121	10,52	5,32
ABC	0,000004	1	0,000004	0,35	5,32
Error total	0,000092	8	0,000011		
Total (corr.)	0,000565	15			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.15, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (B y C) e interacción (BC) si existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones son significativos en la etapa de dosificación para la elaboración de la mermelada de nopal; en comparación con el factor (A) e interacciones (AB, AC y ABC) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que este factor e interacciones no son significativos en la etapa de dosificación en función de la acidez de la mermelada de nopal para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.13, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en función del porcentaje de acidez para el diseño factorial y tomando en cuenta el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306), de tal manera si alguno de los factores excede la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

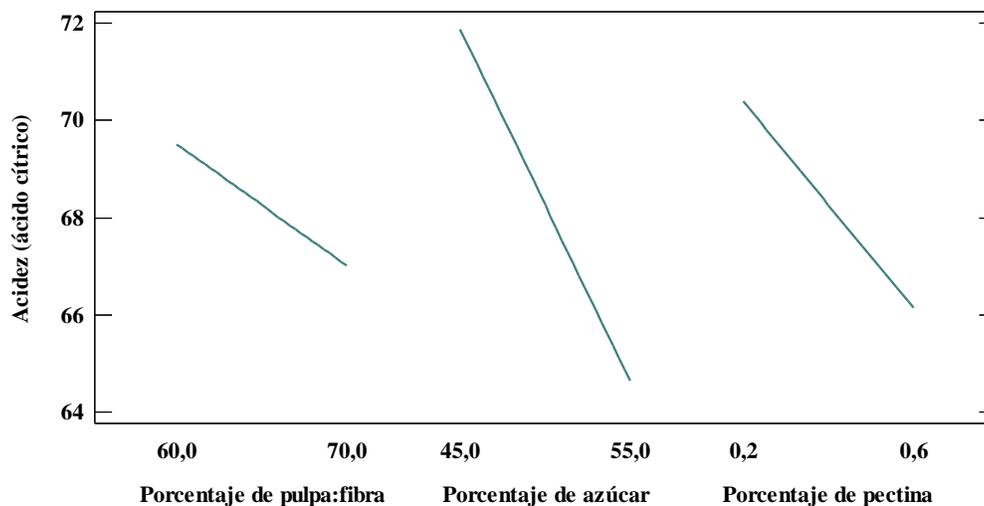


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Diagrama Pareto estandarizado para el factor acidez

Según la figura 4.13, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores e interacción: Porcentaje de azúcar/glucosa (B), porcentaje de pulpa/fibra (C) y la interacción porcentaje de azúcar-porcentaje de pectina (BC), son estadísticamente significativos debido a que las barras sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. En comparación con el factor A (pulpa/fibra), e interacciones AB (porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de azúcar/glucosa) y ABC (porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de azúcar/glucosa - porcentaje de pectina) no son estadísticamente significativos.

En la figura 4.14, se muestra los efectos principales de los factores: porcentaje de pulpa fibra (A), porcentaje de azúcar (B) y porcentaje de pectina (C) con relación a la acidez.

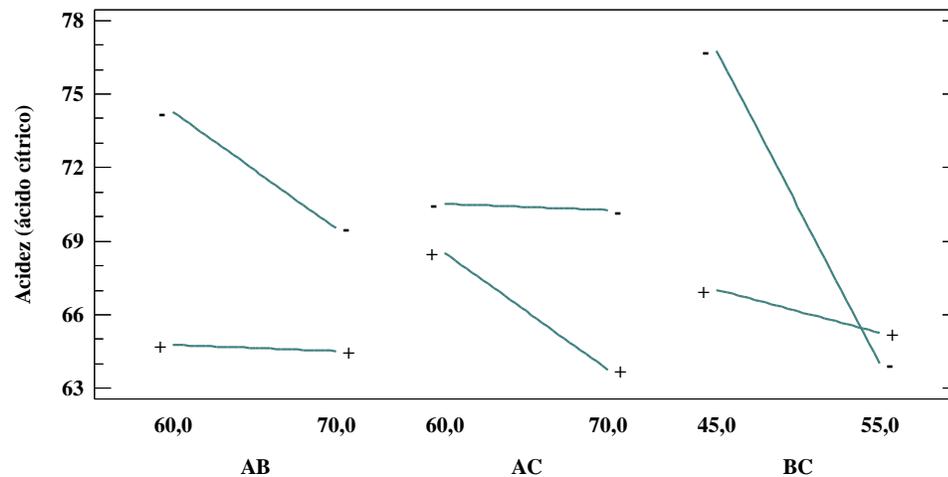


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Efectos principales con relación al factor acidez

Según la figura 4.14, se puede observar que los factores: porcentaje de azúcar (45,0-55,0) % inciden significativamente sobre la variable respuesta acidez cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como en nivel alto ya que los valores de acidez oscilan entre (17-21) %; en comparación con el porcentaje de pulpa/fibra (60,0/70,0) % y porcentaje de pectina (0,2 - 0,6) % no inciden significativamente tanto en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.15, se observa las interacciones de los factores porcentaje pulpa/fibra y porcentaje de azúcar (AB), porcentaje pulpa:/fibra y porcentaje de pectina (AC) y porcentaje de azúcar y porcentaje de pectina (BC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Interacciones de los factores con relación al factor acidez

Según la figura 4.15, se puede observar que el valor de la acidez para la interacción BC se ve afectado cuando el porcentaje de azúcar se encuentra en nivel superior e inferior entre (45-55) %, presentando variación en el porcentaje de acidez de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción AC el valor de la acidez varía cuando el factor A se encuentra en su nivel superior e inferior (60 - 70) %. Finalmente, para la interacción AB se observa que el porcentaje de pulpa/fibra y porcentaje de azúcar no influye en la acidez.

4.2.4.3 Variable respuesta pH

En la tabla 4.16, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza en el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de dosificación de mermelada de nopal, y donde la variable respuesta fue el pH de datos extraídos, Anexos F (tabla F.3).

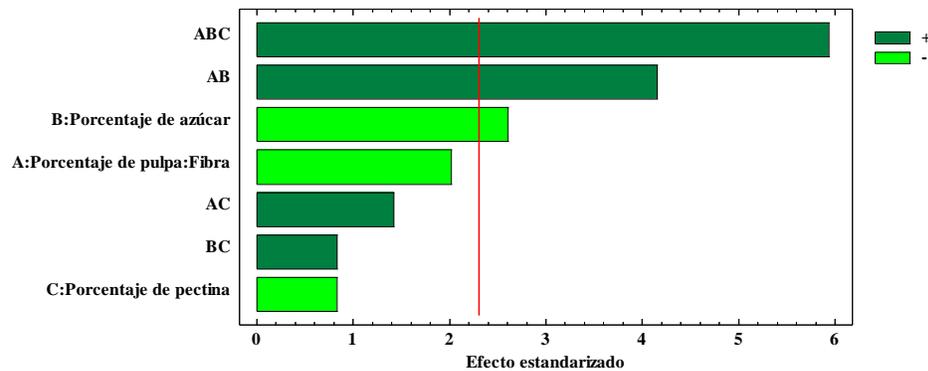
Tabla 4.16*Análisis de varianza en función de la variable pH*

Fuente de varianza FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fcal	Ftab
A:Pulpa:Fibra	0,007225	1	0,00722	4,07	5,32
B:Porcentaje de azúcar	0,012100	1	0,01210	6,82	5,32
C:Porcentaje de pectina	0,001225	1	0,00122	0,69	5,32
AB	0,030625	1	0,03062	17,25	5,32
AC	0,003600	1	0,00360	2,03	5,32
BC	0,001225	1	0,00120	0,69	5,32
ABC	0,062500	1	0,06250	35,21	5,32
Error total	0,014200	8	0,00177		
Total (corr.)	0,132700	15			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, según el análisis de varianza se observa que para el factor: (B) e interacciones (AB y ABC) si existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que este factor e interacciones son significativos en la etapa de dosificación para la elaboración de mermelada de nopal; en comparación con los factores (A y C) e interacciones (AC y BC) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones no son significativos en la etapa de dosificación en función del pH de la mermelada de nopal para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En la figura 4.16, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en función al pH para el diseño factorial y tomando en cuenta el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306), de tal manera si alguno de los factores excede la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

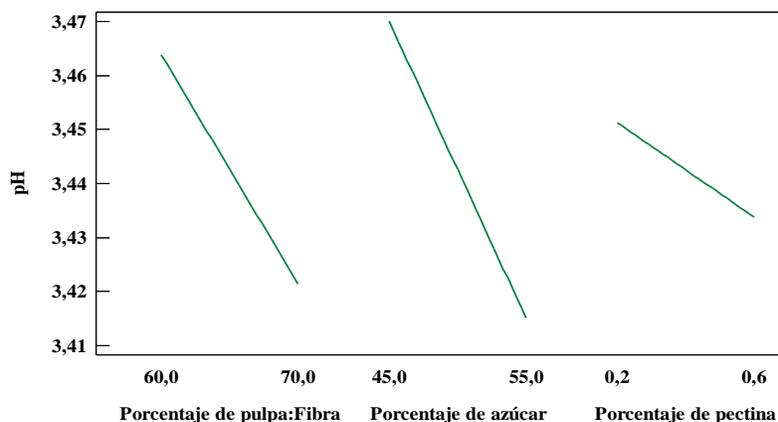


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Diagrama Pareto estandarizado para el factor pH

Según la figura 4.16 se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde el factor e interacciones: Porcentaje de azúcar (B) e interacciones porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de azúcar (AB) y porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de azúcar - porcentaje de pectina son estadísticamente significativos debido a que las barras sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. En comparación con los factores A (pulpa/fibra) y C (porcentaje de pectina) e interacciones AC (porcentaje de pulpa/fibra - porcentaje de pectina) y BC (porcentaje de azúcar - porcentaje de pectina) no son estadísticamente significativos.

En la figura 4.17, se muestra los efectos principales de los factores: porcentaje de pulpa/fibra (A), porcentaje de azúcar (B) y porcentaje de pectina (C) con relación al pH.

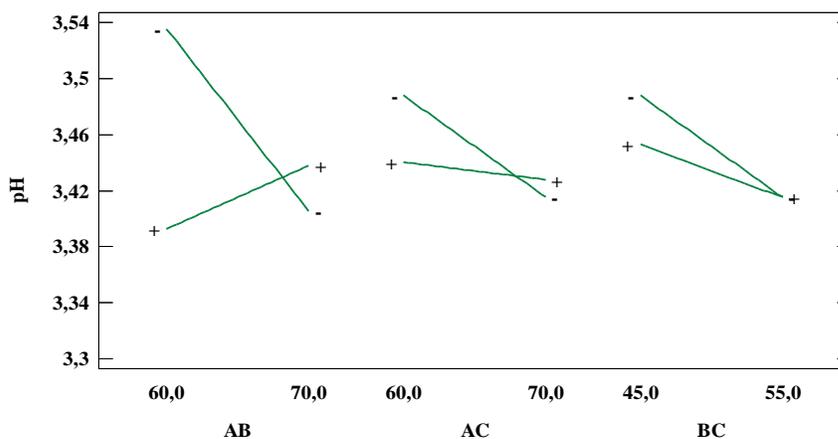


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Efectos principales con relación al factor pH

Según la figura 4.17, se puede observar que los factores porcentaje de pulpa/fibra (60,0 - 70,0) % y porcentaje de azúcar (45,0 - 55,0) % inciden significativamente sobre la variable respuesta pH cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como en nivel alto ya que los valores de pH oscilan entre (3,41 - 3,47) %; en comparación con porcentaje de pectina (0,2 - 0,6) % no inciden significativamente tanto en sus niveles alto y bajo.

En la figura 4.18, se observa las interacciones de los factores porcentaje pulpa/fibra y porcentaje de azúcar (AB), porcentaje pulpa:fibra y porcentaje de pectina (AC) y porcentaje de azúcar y porcentaje de pectina (BC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Interacciones de los factores con relación al factor pH

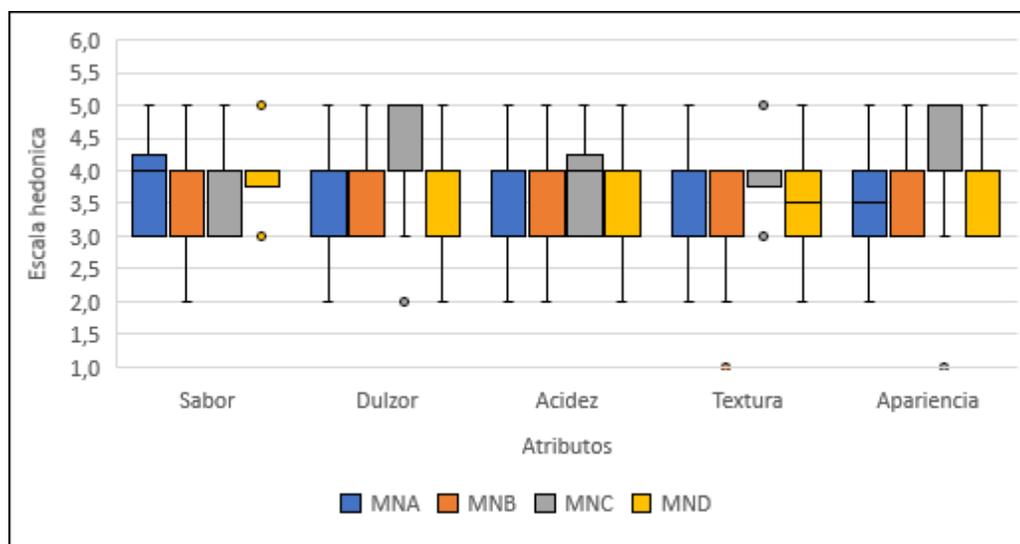
Según la figura 4.18, se puede observar que el valor de pH para la interacción AB se ve afectado cuando el porcentaje de pulpa: fibra se encuentra en nivel superior e inferior entre (60 - 70) %, presentando variación en el porcentaje de pH de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción AC el valor de pH varia cuando el factor A se encuentra en su nivel superior e inferior (60 - 70) %. Finalmente, para la interacción BC el valor de pH varia cuando el factor B se encuentra en su nivel superior e inferior (45,0 - 55,0) %.

4.2.5 Evaluación sensorial de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal

Para realizar la evaluación sensorial de las ocho pruebas experimentales de mermelada de nopal, se procedió a evaluar las pruebas en función de la variable porcentaje de pectina (C) tanto de su nivel superior e inferior; con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta y obtener la muestra final de mermelada de nopal.

4.2.5.1 Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal de nivel inferior

En la figura 4.19, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos dulzor, sabor, acidez, textura y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Caja y bigote pruebas experimentales de mermelada de nopal nivel inferior

En la figura 4.19, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: sabor 5,0 (MND); dulzor 4,0 (MNA, MNB y MND); acidez 3,5 (MNA, MNC y MND) textura 3,5 (MND) y apariencia 5,0 (MNC). Por lo que realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos sabor, dulzor y acidez; sin embargo, si existe

diferencia para el atributo apariencia y textura para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.5.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo de textura de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.2.10), para atributo textura.

Tabla 4.17

Estadístico Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNC-MND	0,25	0,48	No significativo
MNC-MNA	0,55	0,48	Significativo
MNC-MNB	0,60	0,48	Significativo
MND-MNA	0,30	0,48	No significativo
MND-MNB	0,35	0,48	No significativo
MNA-MNB	0,05	0,48	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MNC-MNA y MNC-MNB. Sin embargo, para los tratamientos MNC-MND, MND-MNA, MND-MNB y MNA-MNB, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.5.1.2 Estadísticos de Tukey para el atributo de apariencia de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.2.14), para atributo apariencia.

Tabla 4.18

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

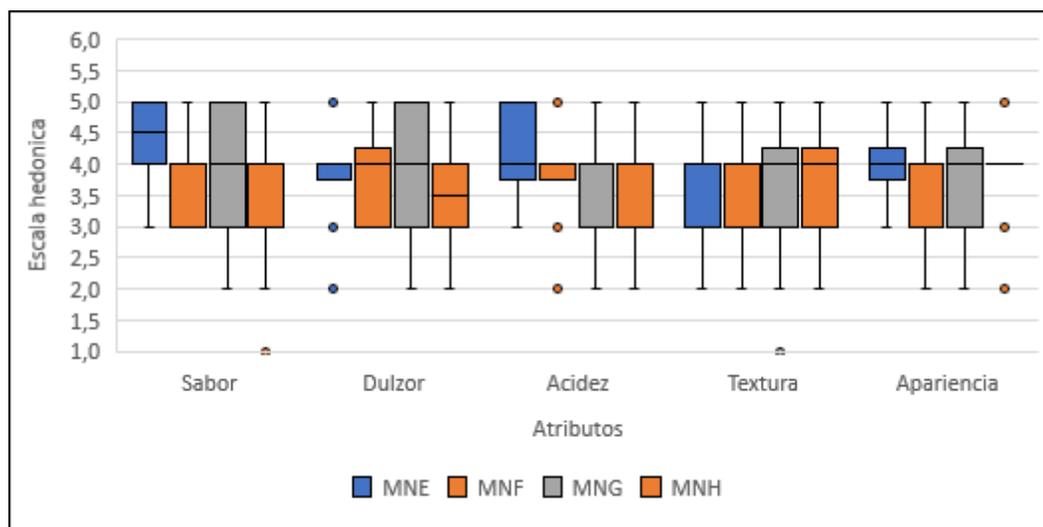
Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNC-MNB	0,35	0,62	No significativo
MNC-MND	0,50	0,62	No significativo
MNC-MNA	0,65	0,62	Significativo
MNB-MND	0,15	0,62	No significativo
MNB-MNA	0,30	0,62	No significativo
MND-MNA	0,15	0,62	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observa que existe diferencia estadística en el tratamiento MNC-MNA. Sin embargo, para los tratamientos MNC-MNB, MNC-MND, MNB-MND, MNB-MNA y MND-MNA, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.5.2 Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal de nivel superior

En la figura 4.20, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos dulzor, sabor, acidez, textura y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Caja y bigote pruebas experimentales de mermelada de nopal nivel superior

En la figura 4.20, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: sabor 4,5 (MNG); dulzor 5,0 (MNG); acidez 4,5 (MNG) textura 5,0 (MNG) y apariencia 4,5 (MNG). Por lo que realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos sabor, dulzor y acidez; sin embargo, si existe diferencia para el atributo apariencia y textura para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.5.2.1 Estadísticos de Tukey para el atributo de acidez de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.4.10), para atributo acidez.

Tabla 4.19

Estadístico Tukey para el atributo acidez

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNE-MNF	0,20	0,61	No significativo
MNE-MNG	0,45	0,61	No significativo
MND-MNH	0,75	0,61	Significativo
MNF-MNG	0,25	0,61	No significativo
MNF-MNH	0,55	0,61	No significativo
MNG-MNH	0,30	0,61	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se observa que existe diferencia estadística en el tratamiento MND-MNH. Sin embargo, para los tratamientos MNE-MNF, MNE-MNG, MND-MNH, MNF-MNG, MNF-MNH y MNG-MNH, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.6 Control de °Brix y contenido de humedad en el proceso de pre concentración y concentración de mermelada a partir de la hoja de nopal

Se realizó el control de °Brix y el contenido de humedad en cuatro muestras del diseño experimental tanto del nivel superior (MNC y MND) e inferior (MNE y MNF) en relación a la variable C (porcentaje de pectina); con la finalidad de realizar el seguimiento del proceso de elaboración. El control, se realizó durante la etapa de pre

concentración y concentración de mermelada de nopal. Para llevar a cabo el control de °Brix se realizó la lectura con la ayuda del Brixometro digital a temperatura ambiente y para el contenido de humedad se realizó mediante cálculo tomando en cuenta el sólido seco.

En la tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos de °Brix y contenido de humedad de la muestra MNC del diseño experimental del nivel superior de datos extraídos del Anexo H (tabla H.1) durante la elaboración de mermelada de nopal.

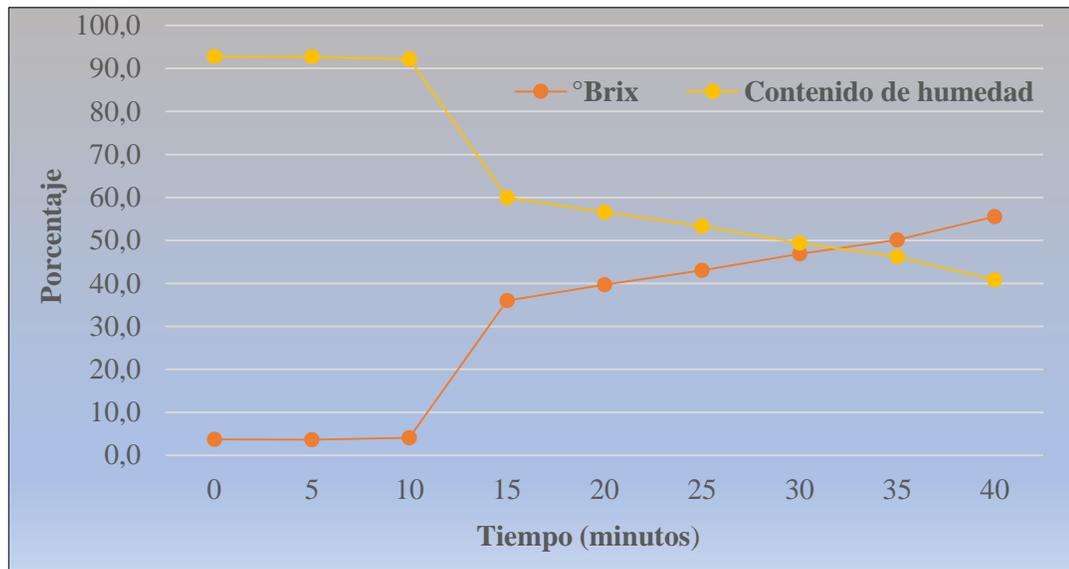
Tabla 4.20

Control de °Brix y contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal

MNC		
Tiempo	°Brix	Contenido de humedad
0	3,7	92,8
5	3,6	92,7
10	4,1	92,2
15	36,0	60,0
20	39,7	56,6
25	43,0	53,3
30	46,9	49,4
35	50,1	46,2
40	55,5	40,8

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.21, se muestra el control de sólidos solubles y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal, en base a los datos de la tabla 4.20.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal

Según la figura 4,21, se observa que la muestra MNC presenta valor inicial de °Brix de 3,7; al transcurrir y finalizar la etapa de preconcentración y concentración en la elaboración de mermelada de nopal durante un tiempo de 40 minutos la muestra presento un aumento de °Brix hasta los 55,5. A su vez, el contenido de humedad disminuye desde un valor de 92,8 % hasta un valor de 40,8 %.

En la tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos de solidos solubles (°Brix) y el contenido de humedad de la muestra MND del diseño experimental del nivel superior de datos extraídos de Anexo H (tabla H.2), durante la elaboración de mermelada de nopal.

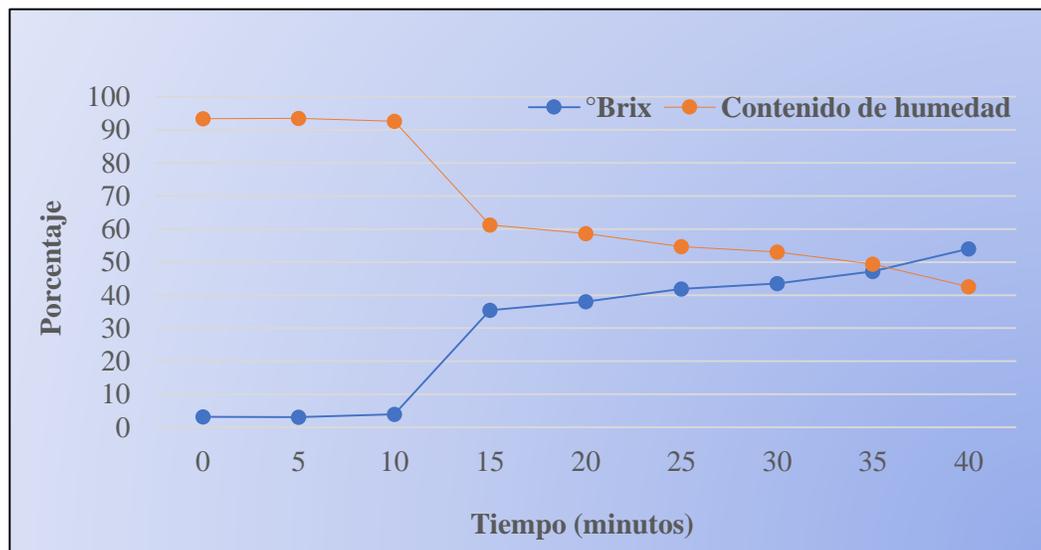
Tabla 4.21

Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal

MND		
Tiempo	°Brix	Contenido de humedad
0	3,2	93,4
5	3,1	93,5
10	4,0	92,6
15	35,4	61,2
20	38,0	58,6
25	41,9	54,7
30	43,5	53,1
35	47,2	49,4
40	54,0	42,6

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.22, se muestra el control de sólidos solubles y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal, en base a los datos de la tabla 4.21 .



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal

Según la figura 4,22, se observa que la muestra MND presenta valor inicial de °Brix de 3,2; al transcurrir y finalizar la etapa de pre concentración y concentración en la elaboración de mermelada de nopal durante un tiempo de 40 minutos la muestra presentó un aumento de °Brix hasta los 54,0. A su vez, el contenido de humedad disminuye desde 93,4 % hasta 42,6 %.

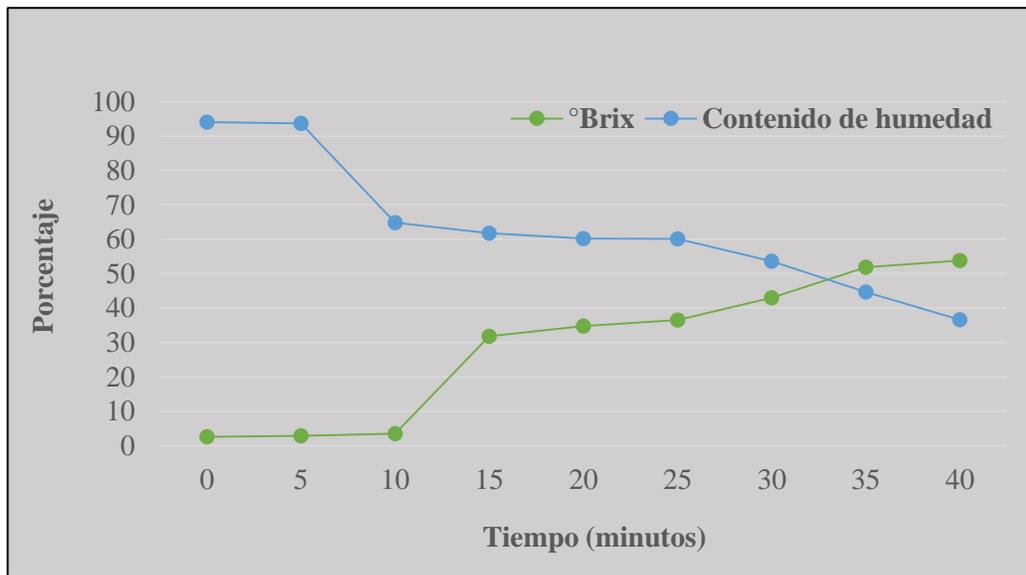
En la tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos de sólidos solubles (°Brix) y el contenido de humedad de la muestra MNE del diseño experimental de nivel inferior de datos extraídos del Anexo H (tabla H.3), durante la elaboración de mermelada de nopal.

Tabla 4.22
Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal

MNE		
Tiempo	°Brix	Contenido de humedad
0	2,6	94,0
5	2,9	93,7
10	3,5	64,8
15	31,8	61,8
20	34,8	60,2
25	36,5	60,1
30	43,0	53,6
35	51,9	44,7
40	53,8	36,6

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.23, se muestra el control de sólidos solubles y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal, en base a los datos de la tabla 4.22.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal

Según la figura 4,23, se observa que la muestra MNE presenta valor inicial de °Brix de 2,6; al transcurrir y finalizar la etapa de preconcentración y concentración en la elaboración de mermelada de nopal durante un tiempo de 40 minutos la muestra presento un aumento de °Brix hasta los 53,8. A su vez, el contenido de humedad disminuye desde 94 % hasta 36 %.

En la tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos de solidos solubles (°Brix) y el contenido de humedad de la muestra MNF del diseño experimental de nivel inferior de datos extraídos de Anexo H (tabla H.4), durante la elaboración de mermelada de nopal.

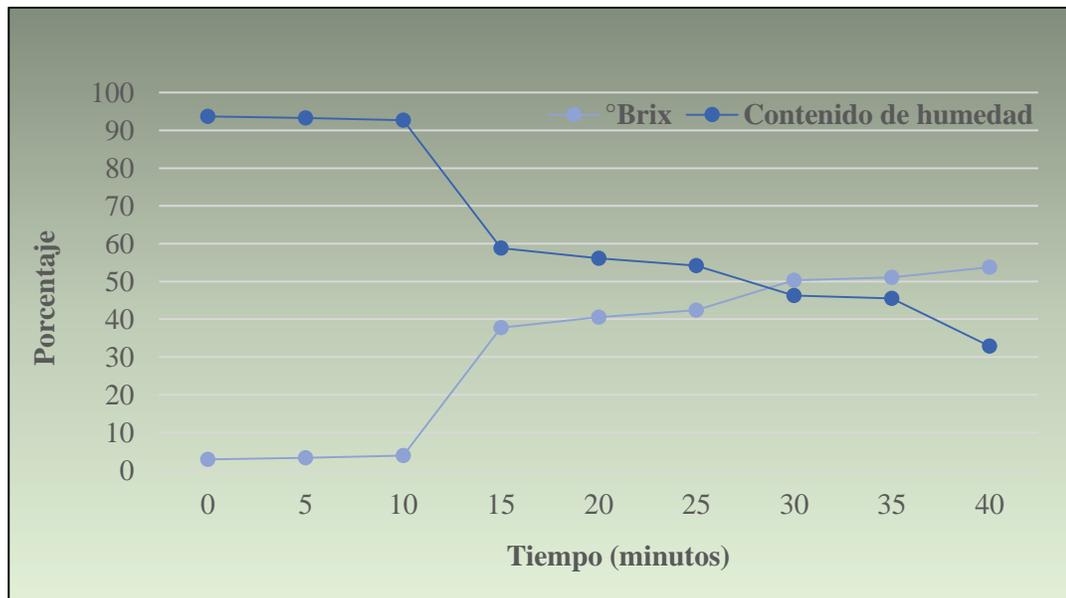
Tabla 4.23
Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal

MNF		
Tiempo	°Brix	Contenido de humedad
0	2,9	93,7
5	3,3	93,3
10	3,9	92,7
15	37,8	58,8
20	40,5	56,1
25	42,4	54,2
30	50,3	46,3
35	51,1	45,5
40	53,8	32,9

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 4.24, se observa que la muestra MNF presenta valor inicial de °Brix de 2,9; al transcurrir y finalizar la etapa de preconcentración y concentración en la elaboración de mermelada de nopal durante un tiempo 40 minutos la muestra presento un aumento de °Brix hasta los 53,8. A sí mismo, el contenido de humedad disminuye desde 93,7% hasta 32,9%.

En la figura 4.24, se muestra el control de solidos solubles y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal, en base a los datos de la tabla 4.23



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal

4.2.7 Control de °Brix durante la etapa de concentración de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos de °Brix de las muestras del diseño experimental del nivel superior e inferior de datos extraídos de Anexo H (tabla H.5), durante la etapa de concentración de la elaboración de mermelada de nopal.

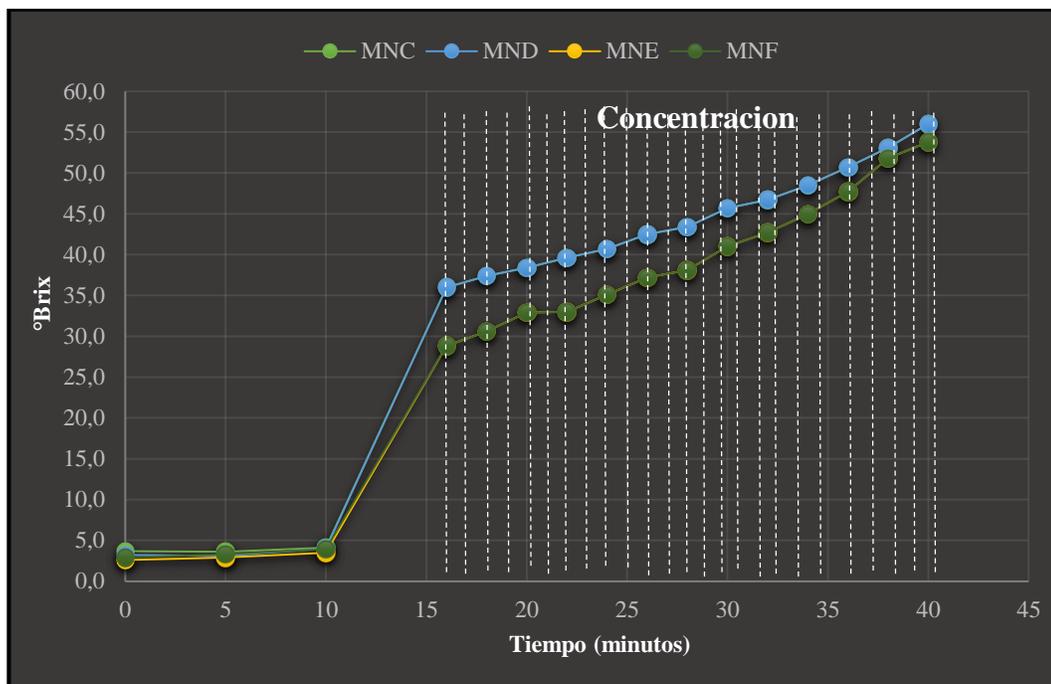
Tabla 4.24

Control de •Brix durante la etapa de concentración

Muestras experimentales				
Tiempo	MNC	MND	MNE	MNF
0	3,7	3,2	2,6	2,9
5	3,6	3,1	2,9	3,3
10	4,1	4,0	3,5	3,9
16	36,0	36	28,8	28,8
18	37,4	37,4	30,6	30,6
20	38,4	38,4	32,9	32,9
22	39,6	39,6	33,0	33,0
24	40,7	40,7	35,1	35,1
26	42,5	42,5	37,2	37,2
28	43,4	43,4	38,1	38,1
30	45,7	45,7	41,0	41,0
32	46,7	46,7	42,7	42,7
34	48,5	48,5	45,0	45,0
36	50,7	50,7	47,7	47,7
38	53,1	53,1	51,8	51,8
40	56,0	56,0	53,8	53,8

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.25, se muestra el control de sólidos solubles y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal, en base a los datos de la tabla 4.24.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Control °Brix durante la etapa de concentración de mermelada de nopal

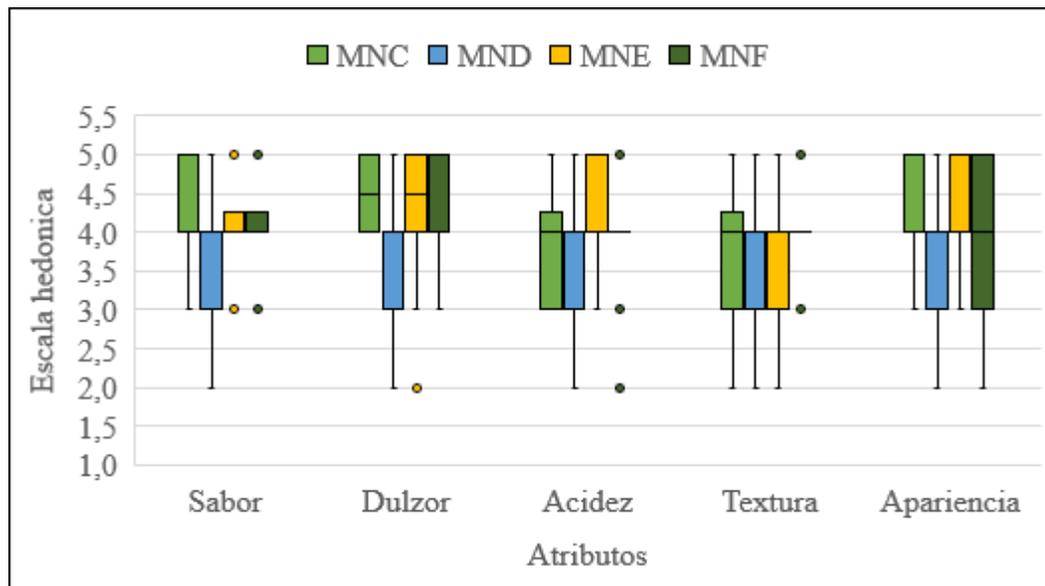
Según la figura 4.25, las muestras presentan valores iniciales de °Brix de: MNC (3,7); MND (3,2); MNE (2,6) y MNF (2,9) al transcurrir y finalizar el proceso de concentración de mermelada de nopal durante un tiempo de 30 minutos las muestras presentaron un ascenso de °Brix de: MNC (56,0); MND (56,0); MNE (53,8) y MNF (53,8).

4.2.8 Evaluación sensorial de muestras del diseño experimental del nivel superior e inferior de mermelada a partir de la hoja de nopal

Para realizar la evaluación sensorial de las cuatro muestras experimentales de mermelada de nopal, se procedió a evaluar las muestras del nivel inferior MNC y MND y superior MNE y MNF. Con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final.

4.2.8.1 Estadístico caja y bigote de muestras del diseño experimental del nivel superior e inferior de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la figura 4.26, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos dulzor, sabor, acidez, textura y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Caja y bigote pruebas experimentales del nivel superior e inferior

En la figura 4.26, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: sabor 4 (MNE); dulzor 4,5 (MNC y MNE); acidez 4,5 (MNG) textura 4,0 (MNC) y apariencia 4,0 (MNC). Por lo que realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos textura y apariencia; sin embargo, si existe diferencia para el atributo sabor, dulzor y acidez para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.8.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo dulzor de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.25, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.5.4), para atributo dulzor.

Tabla 4.25

Estadístico Tukey para el atributo dulzor

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNF-MNC	0,05	0,54	No significativo
MNF-MNE	0,25	0,54	No significativo
MNF-MND	0,85	0,54	Significativo
MNC-MNE	0,20	0,54	No significativo
MNC-MND	0,80	0,54	Significativo
MNE-MND	0,60	0,54	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MNF-MND, MNC-MND y MNE-MND. Sin embargo, para los tratamientos MNF-MNC, MNF-MNE y MNC-MNE, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.8.1.2 Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.26, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.5.12), para el atributo sabor.

Tabla 4.26

Estadístico Tukey para el atributo sabor

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNC-MNF	0,10	0,54	No significativo
MNC-MNE	0,10	0,54	No significativo
MNC-MND	0,55	0,54	Significativo
MNF-MNE	0,00	0,54	No significativo
MNF-MND	0,45	0,54	No significativo
MNE-MND	0,45	0,54	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.26, se observa que existe diferencia estadística para el tratamiento MNC-MND. Sin embargo, para los tratamientos MNC-MNF, MNC-MNE, MNF-MNE y MNF-MND, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.8.1.3 Estadísticos de Tukey para el atributo acidez de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.27, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E.5.8), para atributo acidez.

Tabla 4.27

Estadístico Tukey para el atributo acidez

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNE-MNF	0,15	0,54	No significativo
MNE-MNC	0,20	0,54	No significativo
MNE-MND	0,70	0,54	Significativo
MNF-MNC	0,05	0,54	No significativo
MNF-MND	0,55	0,54	Significativo
MNC-MND	0,50	0,54	No significativo

Fuente: Elaboración propia

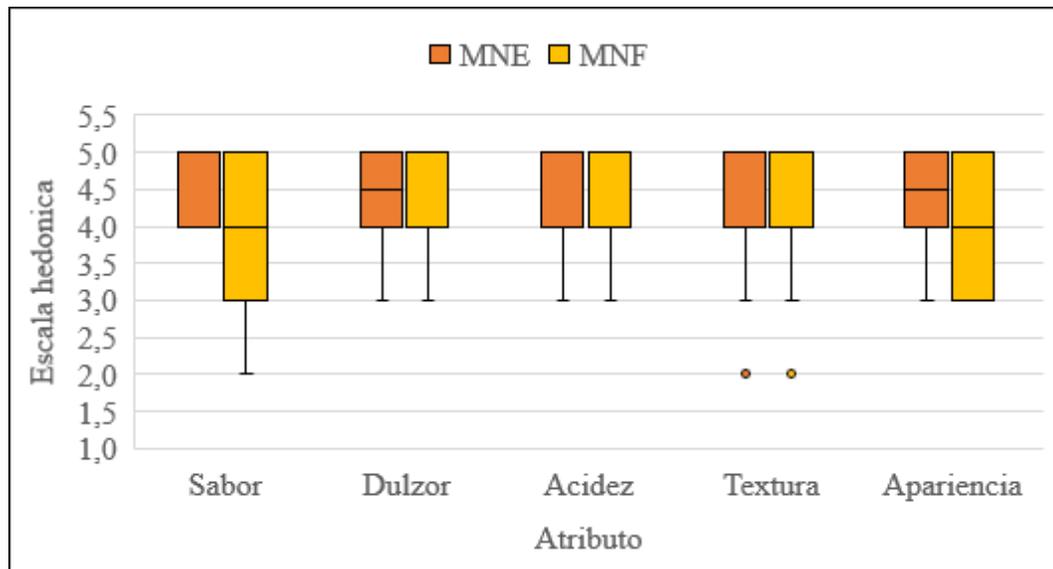
En la tabla 4.27, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MNE-MND y MNF-MND. Sin embargo, para los tratamientos MNE-MNF, MNE-MNC, MNF-MNC y MNC-MND, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.9 Comparación de muestras del diseño experimental de nivel superior de mermelada a partir de la hoja de nopal

Para realizar la evaluación sensorial de las dos muestras experimentales de mermelada de nopal, se procedió a evaluar las muestras del nivel superior MNE y MNF. Con la finalidad de obtener la muestra final.

4.2.9.1 Estadístico caja y bigote de muestras del diseño experimental del nivel superior de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la figura 4.27, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos dulzor, sabor, acidez, textura y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Caja y bigote de muestras experimentales del nivel superior

En la figura 4.27, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: sabor 4,0 (MNE y MNF); dulzor 5 (MNE); acidez 5,0 (MNE) textura 4,0 (MNE y MNF) y apariencia 5,0 (MNE). Por lo que realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos textura y apariencia; sin embargo, si existe diferencia para el atributo sabor, dulzor y acidez para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.9.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.28, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo E (tabla E 6.10), para atributo apariencia.

Tabla 4.28

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
MNE-MNF	0,44	0,31	Significativo

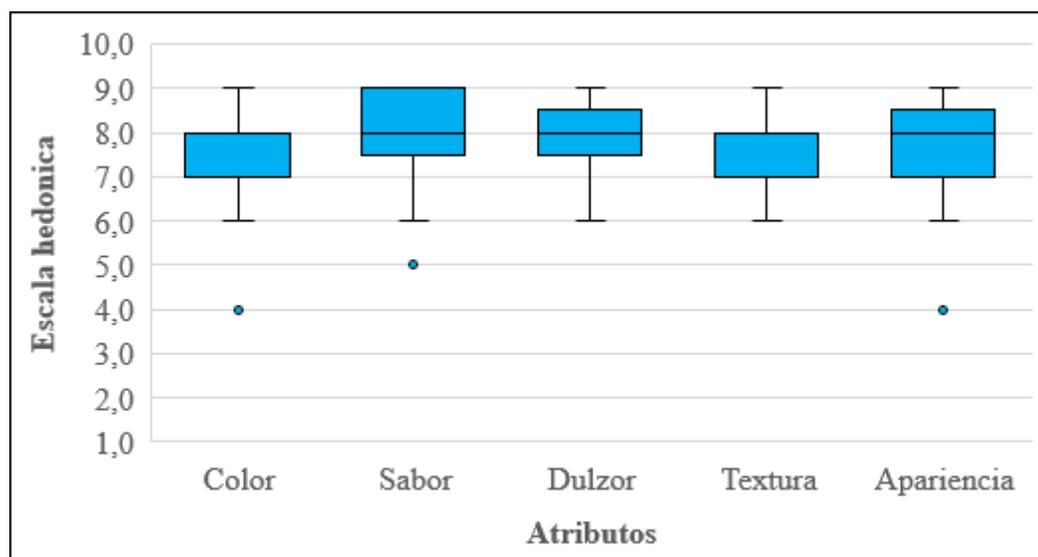
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.28, se observa que existe diferencia estadística entre los tratamientos MNE-MNF para un nivel de nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Por tales motivos, en función de las medianas y la preferencia de los jueces al finalizar la evaluación sensorial se procedió a elegir la muestra MNE como la muestra final del diseño experimental.

4.2.9.1.2 Estadístico de caja y bigote para muestra final de mermelada de nopal

En la figura 4.28, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos de Anexo C (tabla C) para el atributo: color, sabor, dulzor, textura y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura: 4.28: Caja y Bigote para muestra final de mermelada de nopal

Según la figura 4.28, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color (6,0), sabor (9,0), dulzor (8,0), textura (7,0) y apariencia (7,0).

4.3 Caracterización del producto terminado

En la caracterización del producto terminado, se tomaron en cuenta los parámetros físicos, fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal, los cuales se detallan a continuación:

4.3.1 Análisis físico de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.29, se detallan los resultados obtenidos del análisis físico de la mermelada de nopal de datos extraídos (Anexo B) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 4.29

Análisis físico de la mermelada de nopal

Parámetros	Unidad	Resultado
°Brix	-	46,900
pH	-	3,270
Acidez	%	0,061

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.29, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal presenta: °Brix 46,900, pH 3,270 y acidez 0,061.

4.3.2 Análisis fisicoquímico de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.30, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal de datos extraídos (Anexo B) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.30

Análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal

Parámetros	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	12,38
Azúcares reductores	%	37,14
Calcio	mg/100g	198,40
Magnesio	mg/100g	47,30
Cenizas	%	0,60
Fibra	%	0,38
Grasa	%	0,44
Hidratos de carbono	%	46,27
Humedad	%	51,80
Proteína total (Nx6,25)	%	0,51
Valor energético	Kcal/100g	191,08

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.30, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal que presenta: Azúcares totales 12,38 %, azúcares reductores

37,14 %, Calcio 198,40 mg/100g, Magnesio 47,30 mg/100g, Cenizas 0,60 %, Fibra 0,38 %, Grasa 0,44 %, Hidratos de carbono 46,27 %, Humedad 51,80 %, Proteína total 0,51 % y valor energético 191,08 Kcal/100.

4.3.3 Análisis microbiológico de la mermelada a partir de la hoja de nopal

En la tabla 4.31, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la mermelada de nopal de datos extraídos del (Anexo A) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.31

Análisis microbiológico de la mermelada de nopal

Microorganismos	Resultados	Unidad
Coliformes totales	$<1,0 \times 10^1$ (*)	UFC/g
Staphilococcus aureus	$<1,0 \times 10^1$ (*)	UFC/g
Mohos y levaduras	$<1,0 \times 10^1$ (*)	UFC/g

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.31, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la mermelada de nopal que presenta: Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Staphilococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Mohos y Levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. (*) No se observa desarrollo de colonias.

4.3.4 Análisis fisicoquímico y microbiológico de la mermelada a partir de la hoja de nopal durante su almacenado de tres meses

Después de un tiempo de almacenamiento de tres meses en un refrigerador se procedió a llevar la mermelada de nopal a laboratorio para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico; con la finalidad de conocer si existe variación de algunos de los parámetros durante este tiempo.

En la tabla 4.32, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal durante el tiempo de almacenado de datos extraídos del (Anexo A) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.32***Análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal durante su almacenamiento***

Parámetros	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	38,56
Azúcares reductores	%	13,68
Calcio	mg/100g	204,00
Magnesio	mg/100g	50,80

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.32, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal después de su almacenamiento de tres meses presento: azúcares totales 38,56 %, azúcares reductores 13,68 %, calcio 204,00 mg/100g y magnesio 50,80 mg/100g.

En la tabla 4.33, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la mermelada de nopal durante el tiempo de almacenado de datos extraídos del (Anexo A) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.33***Análisis microbiológico de la mermelada de nopal durante su almacenamiento***

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes totales	$<1,0 \times 10^1$ (*)	UFC/g
Staphilococcus aureus	$<1,0 \times 10^1$ (*)	UFC/g
Mohos y levaduras	$1,3 \times 10^2$	UFC/g

Fuente: CEANID, 2022

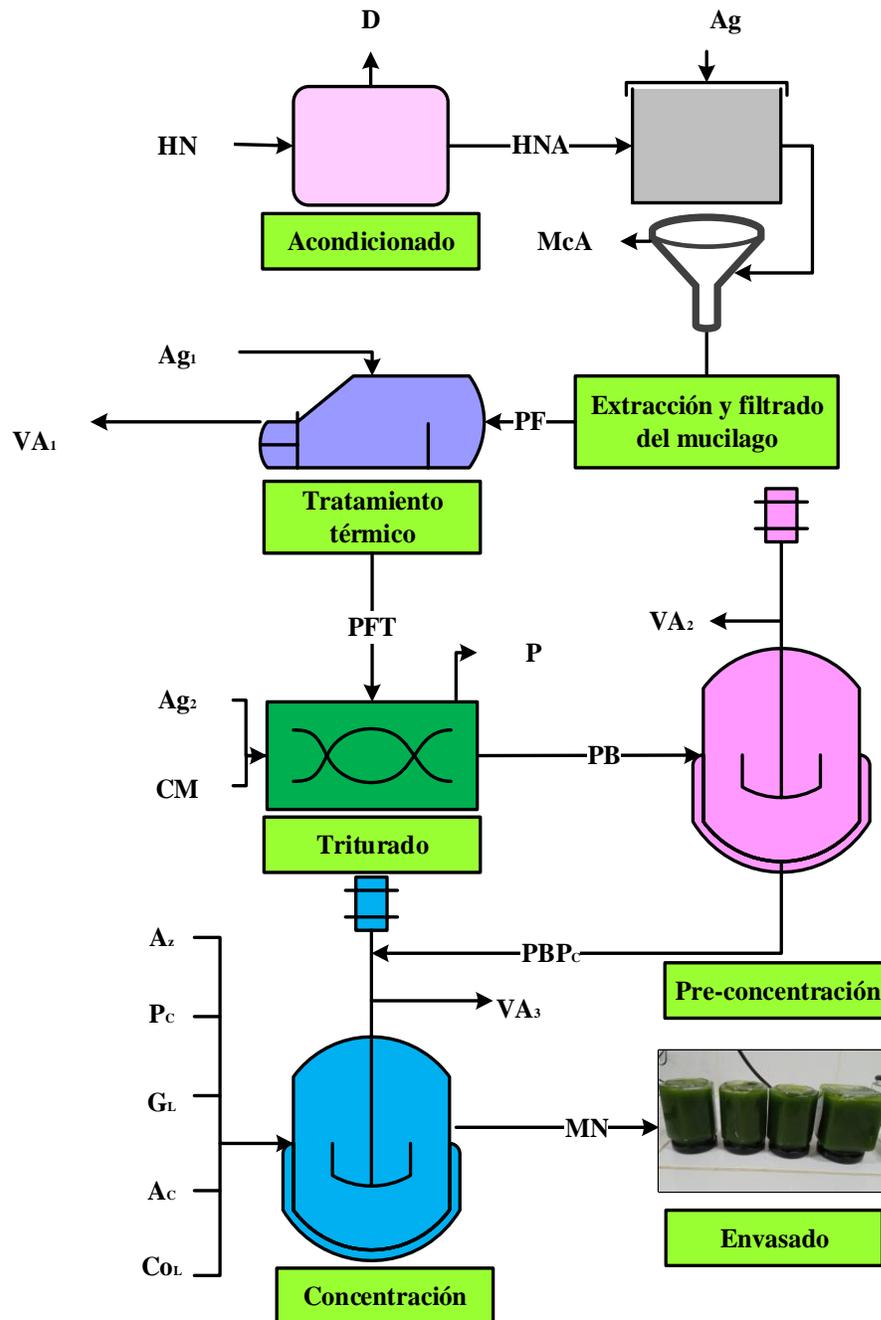
En la tabla 4.33, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la mermelada de nopal durante el tiempo de almacenado de tres meses presento: Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*), Staphilococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*), Mohos y Levaduras $< 1,3 \times 10^2$ UFC/g . (*) No se observa desarrollo de colonias.

4.4 Balance de materia y energía para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal

Para el desarrollo de los balances de materia y energía para la elaboración de 900,99 g mermelada a partir de la hoja de nopal se partió de 3565,76 g de hoja de nopal.

4.4.1 Balance de materia

En la figura 4.29, se muestra el balance general en las etapas donde se realizaron los balances de materia y energía en el proceso de elaboración de mermelada de nopal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Balance general en la elaboración de mermelada de nopal

Donde:

HN= Hoja Nopal (g)

HNA= Hoja Nopal acondicionada (g)

D= Descarte de la hoja de nopal (g)

Ag= Agua (g)

M_CA= Mucílago y agua (g)

PF=Pulpa: fibra filtrada (g)

Ag₁= Agua (g)

VA₁= Vapor de agua (g)

PFT=Pulpa: fibra tratada (g)

Ag₂= Agua (g)

CM= Cáscara de manzana (g)

P= Pérdida (g)

PB= Pulpa base

VA₂= Vapor de agua (g)

A_z= Azúcar (g)

P_c= Pectina (g)

G_L= Glucosa (g)

A_c= Ácido cítrico (g)

C_{ol}= Colorante artificial (g)

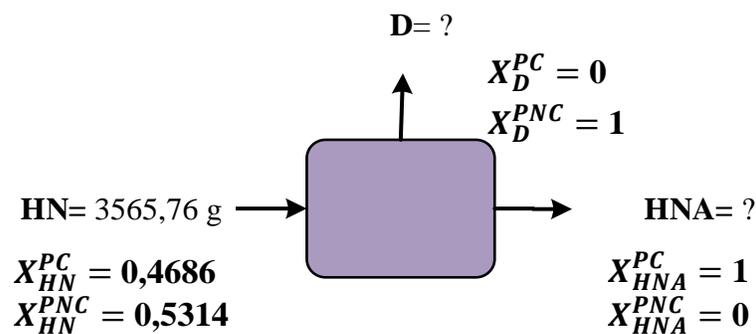
VA₃= Vapor de agua (g)

PBP_C= Pulpa base preconcentrada (g)

MN= Mermelada de nopal (g)

4.4.1.1 Balance de materia en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal

En la figura 4.30, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal. Los datos de porción comestible (PC) 46,86% y porción no comestible (PNC) 53,14 % se extrajeron de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Acondicionado de la hoja de nopal

Donde:

X_{HN}^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible del nopal	X_D^{NPC} = Fracción porcentual de la porción no comestible del descarte
X_{HN}^{NPC} = Fracción porcentual de la porción no comestible del nopal	X_{HNA}^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible del nopal acondicionado
X_D^{PC} = Fracción porcentual de la porción comestible del descarte	X_{HNA}^{NPC} = Fracción porcentual de la porción no comestible del nopal acondicionado

Balance de materia global en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal:

$$HN = D + HNA \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial para la porción comestible en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal:

$$HN * X_1^{PC} = D * X_2^{PC} + HNA * X_3^{PC} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Debido a que D no presenta porción comestible, la ecuación 4.2 se reduce a:

$$HN * X_{HN}^{PC} = \cancel{D * X_D^{PC}} + HNA * X_{HNA}^{PC} \quad HN * X_{HN}^{PC} = HNA * X_{HNA}^{PC}$$

Despejando HNA de la ecuación 4.2, se obtiene:

$$HNA = \frac{HN * X_{HN}^{PC}}{X_{HNA}^{PC}}$$

$$HNA = \frac{3565,76 \text{ g} * 0,4686}{1}$$

$$HNA = 1670,92 \text{ g hoja de nopal acondicionado}$$

Balance parcial para la porción no comestible en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal:

$$HN * X_{HN}^{PNC} = D * X_D^{PNC} + HNA * X_{HNA}^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Debido a que HNA no presenta porción no comestible la ecuación 4.3, se reduce a:

$$HN * X_{HN}^{PNC} = D * X_D^{PNC} + \cancel{HNA * X_{HNA}^{PNC}}$$

Despejando D de la ecuación 4.3, se obtiene:

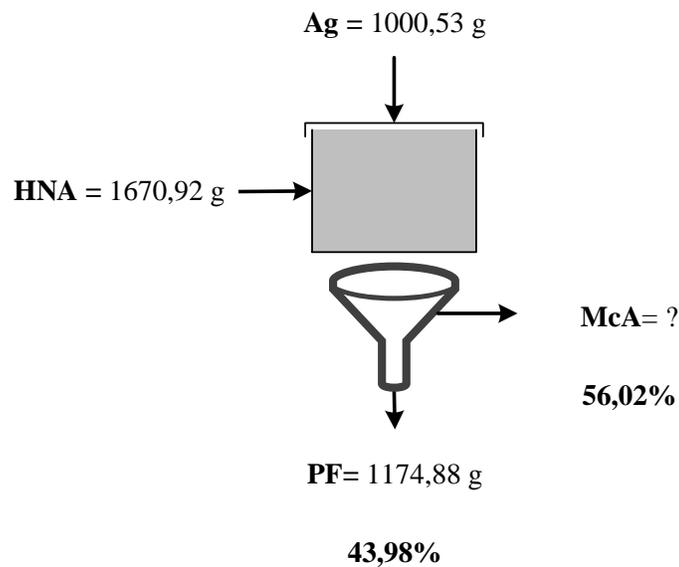
$$D = \frac{HN * X_{HN}^{PNC}}{X_D^{PNC}}$$

$$D = \frac{3565,76 * 0,5314}{1}$$

$$D = 1894,84 \text{ g de descarte}$$

4.4.1.2 Balance de materia en la etapa de extracción y filtración de mucílago

En la figura 4.31, se muestra el proceso de balance de materia en la extracción del mucílago.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Extracción y filtración de mucílago

Balance de materia global en la etapa de extracción del mucílago:

$$HNA + Ag = PF - M_cA \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Para el cálculo de M_cA , se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa:

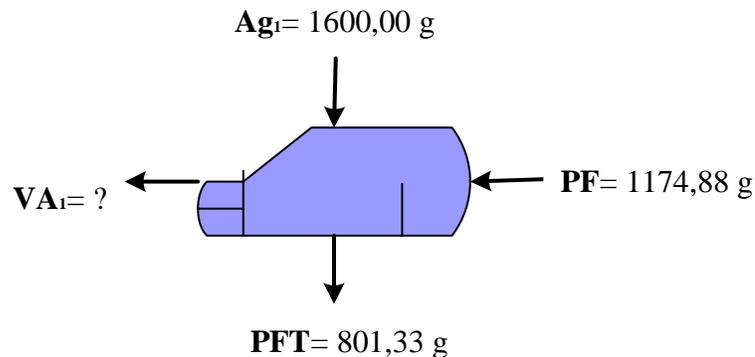
$$M_cA = (HNA + Ag) * X_{M_cA}^R \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$M_cA = (1670,92 + 1000,53) g * 0,5602$$

$$M_cA = 1496,54 g \text{ mucílago más agua}$$

4.4.1.3 Balance de materia en la etapa de tratamiento térmico

En la figura 4.32, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de tratamiento térmico, donde la pulpa: fibra de la hoja de nopal se trataron térmicamente a 95°C .



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Tratamiento térmico

Balance de materia global en la etapa de tratamiento térmico:

$$PF + Ag_1 = VA_1 + PFT \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Para el cálculo de VP_1 se tomó en cuenta la ecuación 4.6:

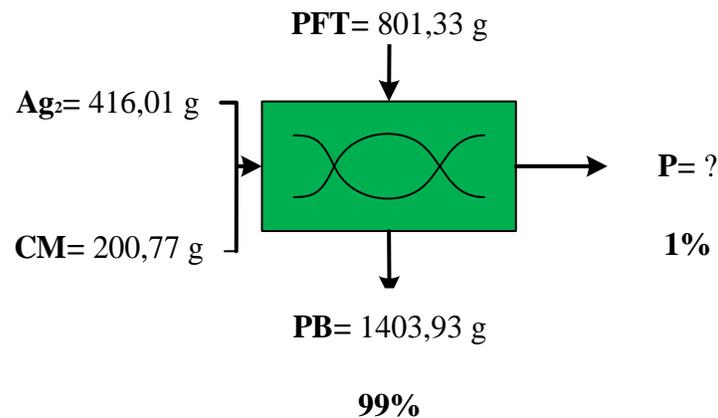
$$VA_1 = PF + Ag_1 - PFT$$

$$VA_1 = 1174,88 \text{ g} + 1600 \text{ g} - 801,33 \text{ g}$$

$$VA_1 = 1973,55 \text{ g de vapor de agua}$$

4.4.1.4 Balance de materia en la etapa de triturado

En la figura 4.33, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de triturado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Triturado

Balance de materia global en la etapa de trituración:

$$PFT + CM + Ag_2 = P + PB \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Para el cálculo de P, se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en el proceso:

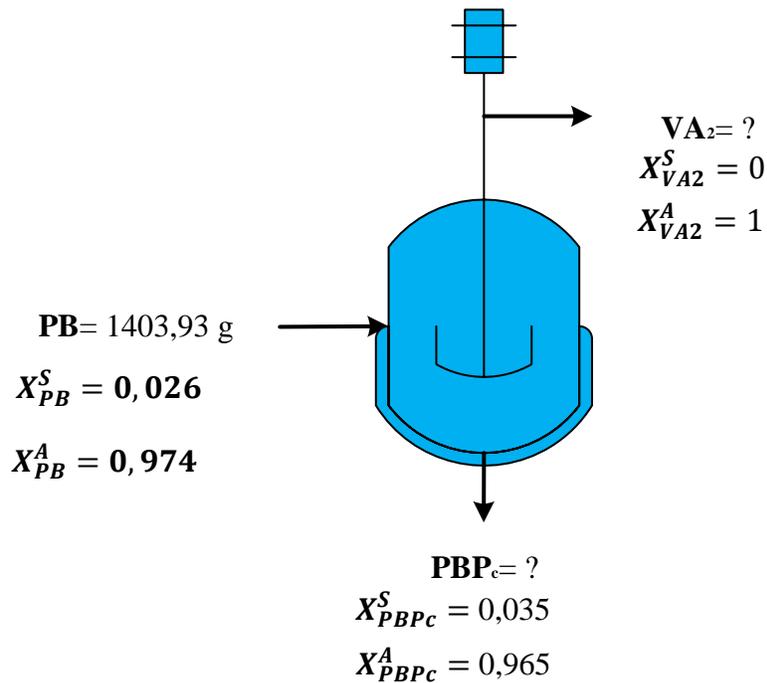
$$P = (PFT + CM + Ag_2) * X^R \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$P = 1418,11 \text{ g} * 0,01$$

$$P = 14,1811 \text{ g de pérdida en el triturado}$$

4.4.1.5 Balance de materia en la etapa de pre concentración

En la figura 4.34, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de pre-concentración:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Pre-concentración

Donde:

X_{PB}^S =Fracción porcentual de solidos solubles de la pulpa base

$X_{PBP_c}^S$ =Fracción porcentual de solidos solubles de la pulpa base preconcentrada

$X_{VA_2}^S$ =Fracción porcentual de solidos solubles del vapor de agua

Balance de materia global en la etapa de preconcentrado de la pulpa base:

$$PB = PBP_c + VA_2 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Para el cálculo de PBP_c se tomó en cuenta los sólidos solubles en el proceso:

$$PB * X_{PB}^S = PBP_C * X_{PBP_C}^S + VA_2 * X_{VA_2}^S \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Debido a que VA_2 no presenta solidos solubles, la ecuación 4.10 se reduce a:

$$PB * X_{PB}^S = PBP_C * X_{PBP_C}^S + \cancel{VA_2 * X_{VA_2}^S}$$

$$PBP_C = \frac{PB * X_{PB}^S}{X_{PBP_C}^S}$$

$$PBP_C = \frac{1403,93 * 0,026}{0,035}$$

$$PBP_C = 1042,92 \text{ g de pulpa base preconcentrada}$$

Para el cálculo de VA_2 se despejo VA_2 de la ecuación 4.9:

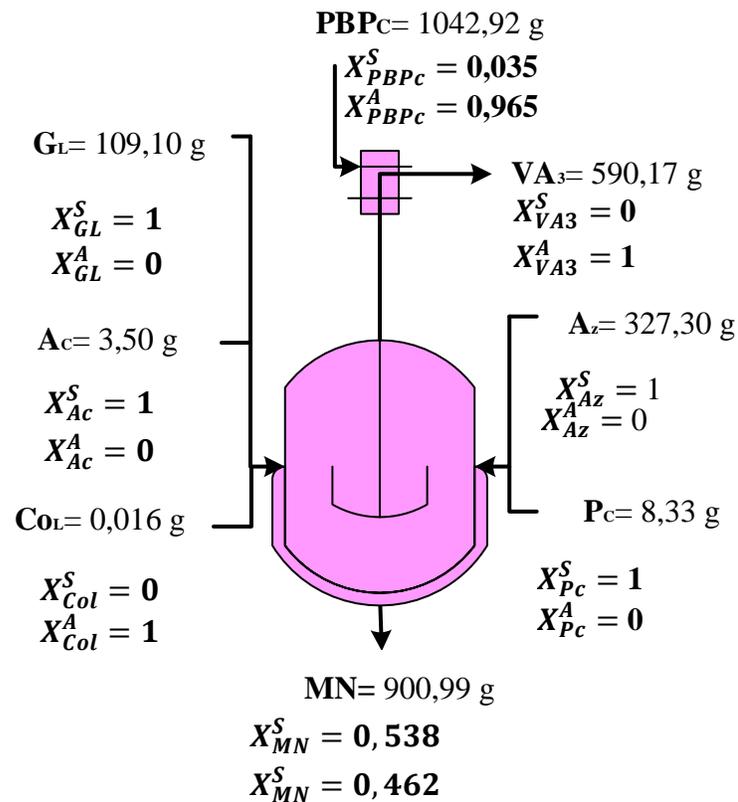
$$VA_2 = PB - PBP_C$$

$$VA_2 = 1403,93 \text{ g} - 1042,92 \text{ g}$$

$$VA_2 = 361,01 \text{ g de vapor de agua}$$

4.4.1.6 Balance de materia en la etapa de concentración

En la figura 4.35, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de concentración.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.35: Concentración

Donde:

X_{PBPc}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles de la pulpa base preconcentrada

X_{Az}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles del azúcar

X_{Pc}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles de la pectina

X_{GL}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles de la glucosa

X_{Ac}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles del ácido cítrico

X_{Col}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles del colorante artificial

X_{VA3}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles del vapor de agua

X_{MN}^S = Fracción porcentual de sólidos solubles de la mermelada de nopal

Balance de materia global en la etapa de concentración:

$$PBP_c + A_z + P_c + G_L + A_c + C_{ol} = VA_3 + MN$$

Ecuación 4.11

Para el cálculo de MN se tomó en cuenta los sólidos solubles en el proceso:

$$PBP_c * X_{PBP_c}^S + A_Z * X_{A_Z}^S + P_C * X_{P_C}^S + G_L * X_{G_L}^S + A_C * X_{A_C}^S + C_{ol} * X_{C_{ol}}^S =$$

$$VA_3 * X_{VA_3}^S + MN * X_{MN}^S \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Debido a que VA₃ y C_{OL} no presenta solidos solubles, la ecuación 4.12 se reduce a:

$$PBP_c * X_{PBP_c}^S + A_Z * X_{A_Z}^S + P_C * X_{P_C}^S + G_L * X_{G_L}^S + A_C * X_{A_C}^S + C_{ol} * X_{C_{ol}}^S =$$

$$VA_3 * X_{VA_3}^S + MN * X_{MN}^S$$

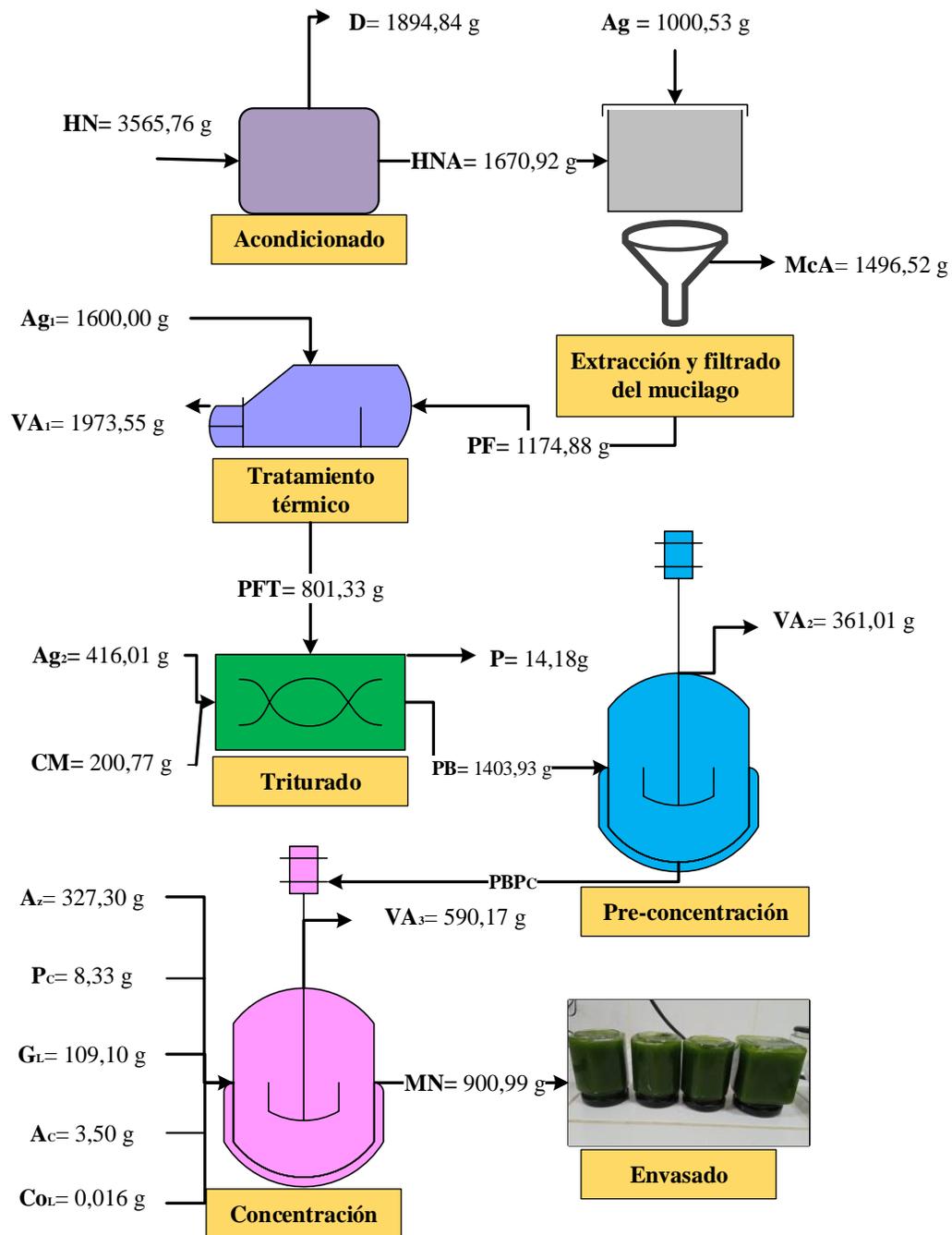
$$PBP_c * X_{PBP_c}^S + A_Z * X_{A_Z}^S + P_C * X_{P_C}^S + G_L * X_{G_L}^S + A_C * X_{A_C}^S = MN * X_{MN}^S$$

$$MN = \frac{PBP_c * X_{PBP_c}^S + A_Z * X_{A_Z}^S + P_C * X_{P_C}^S + G_L * X_{G_L}^S + A_C * X_{A_C}^S}{X_{MN}^S}$$

$$MN = \frac{1042,92 * 0,035 + 327,3 * 1 + 8,33 * 1 + 109,1 * 1 + 3,5 * 1}{0,538}$$

MN= 900,99 g de mermelada a partir de la hoja de nopal

En la figura 4.36, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia en el proceso de elaboración mermelada a partir de la hoja de nopal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Resumen del balance de materia para la elaboración de mermelada

4.4.2 Balance de energía

Según (Lewis, 1993), se muestra la deducción del balance general de energía para procesos de transferencia de calor:

$$L_1(\cancel{\epsilon C_1} + \cancel{\epsilon P_1} + P_{V1}) + Q - L_2(\cancel{\epsilon P_2} + \cancel{\epsilon C_2} + \mu_2 + P_{V2}) = \cancel{T} + \cancel{2F} + \frac{d\theta \gamma^4}{d\theta}$$

$$L_1(\mu_1 + P_{V1}) + Q = L_2(\mu_2 + P_{V2}) = 0$$

$$L_1(H_1) + Q - L_2(H_2) = 0$$

$$\cancel{L_1} (H_1 - H_2) = \cancel{Q}$$

$$Q = L_1 \Delta H$$

$$\Delta H = C_p \Delta H$$

$$Q = L_1 C_p \Delta H$$

Ecuación 4.13

Según (Lewis, 1993), el principio de conservación de la energía está dado por:

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$- Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$- \sum Q_{cedido} = \sum Q_{ganado}$$

$$Q_T = Q_{cedido} + Q_{ganado}$$

Ecuación 4.14

Para calcular el calor latente en los cambios de fase según (Lewis, 1993) es:

$$Q = \Delta H_L = m * \lambda$$

Ecuación 4.15

Donde:

ΔH_L = Calor latente

λ = Landa de vaporización

m = Masa

Para el cálculo del balance de energía en las diferentes etapas para la elaboración de mermelada de nopal, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Según (Lewis, 1993), manifiesta que: si se conoce la composición fisicoquímica del alimento se puede utilizar para calcular las capacidades caloríficas, como se detalla en la ecuación 4.16, de la tal forma en el presente trabajo se determinó el C_p de la pulpa, la hoja de nopal:

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_a C_a + X_f C_f \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Donde:

X_w = Fracción en peso del agua

X_f = Fracción en peso de grasa

X_c = Fracción en peso de carbohidratos

X_a = Fracción en peso de cenizas

X_p = Fracción en peso de proteína

Las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos, se detallan en la tabla 4.34.

Tabla 4.34

Composición fisicoquímica de los alimentos

Calor específico	Valor 1 KJ/Kg°C	Valor 2 KJ/Kg°C
C_w (agua)	4,18	4,18
C_c (carbohidratos)	1,40	1,22
C_p (proteína)	1,60	1,90
C_f (grasa)	1,70	1,90
C_a (ceniza)	0,80	-

Fuente: Lewis, 1993

En la tabla 4.35, se observa los resultados de la composición fisicoquímica de pulpa de nopal de datos extraídos de Anexo A.

Tabla 4.35

Composición fisicoquímica de la pulpa de nopal

Composición	Unidad	Valor
Ceniza	%	0,75
Proteína total	%	0,64
Grasa	%	0,13
Hidratos de carbono	%	3,50
Humedad	%	95,10

Fuente: CEANID, 2022

Para la determinación del calor específico de la pulpa de la hoja de nopal, se tomó en cuenta la ecuación 4.16, citado por (Lewis, 1993):

Según el S.I (Sistema Internacional de Unidades) el valor de 1 KJ = 0,23884 Kcal mencionado por (Marques & Marcal, 1991).

$$C_p = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_f C_f + X_a C_a$$

$$C_p = 0,951 * 0,9983512 + 0,035 * 0,334376 + 0,0064 * 0,382144 + 0,0013 * 0,406028 + 0,0075 * 0,191072$$

$$C_p = 0,97 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \text{ calor específico de la pulpa de nopal}$$

Según (Orozco, 1998), se puede observar la ecuación empírica para el cálculo de la capacidad calorífica a presión constante, en función de la fracción del peso del agua y fracción de masa para sólidos. En el presente trabajo, se utilizó la ecuación para calcular el C_{pM} de la mezcla (agua y pulpa de nopal)

$$C_{pM} = X_w C_w + X_s C_s \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde:

X_w = Fracción en peso del agua

X_s = Fracción en peso de los sólidos solubles de la pulpa de nopal

C_w = Capacidad calorífica del agua

C_s = Capacidad calorífica de la pulpa de nopal

Para la determinación del calor específico de la mezcla C_{pM} , se tomó en cuenta la ecuación 4.17:

$$C_{pM} = X_w C_w + X_s C_s$$

$$C_{pM} = 1,00 * 0,9983512 + 0,088 * 0,97$$

$$C_{pM} = 1,08 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \text{ calor específico de la mezcla de la pulpa base}$$

En la tabla 4.36, se puede observar la capacidad calorífica del agua, del acero inoxidable y aluminio.

Tabla 4.36

Capacidad calorífica del agua, del acero inoxidable y aluminio

Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Aluminio	Kcal/Kg $^\circ$ C	0,22
Acero inoxidable	Kcal/Kg $^\circ$ C	0,12
Agua	Kcal/Kg $^\circ$ C	1,00

Fuente: Díaz et al., 2006

En la tabla 4.37, se puede observar las entalpías de vaporización en función a la temperatura para el agua saturada.

Tabla 4.37

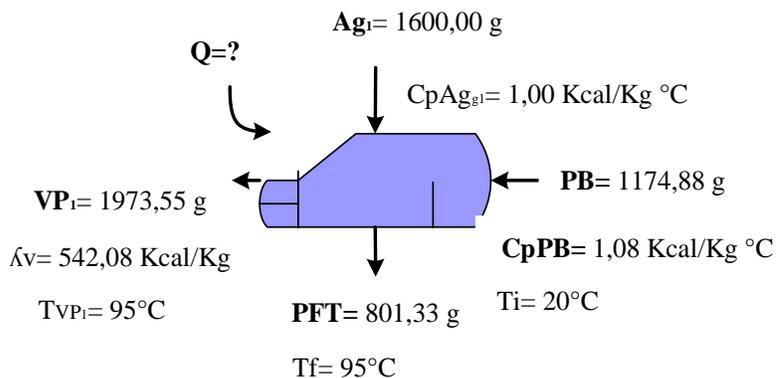
Entalpías de vaporización del agua

Temperatura (°C)	Unidad	Entalpia de vaporización
95	Kcal/Kg	542,08

Fuente: UTN, 2021

4.4.2.1 Balance de energía en la etapa de tratamiento térmico

En la figura 4,37, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de tratamiento térmico de la pulpa: fibra de nopal:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37: Tratamiento térmico

Para el cálculo del calor requerido para calentar la olla se tomó en cuenta la ecuación 4.18

Datos:

$$m_{olla} = 0,86558 \text{ Kg}$$

$$Q = m_{olla} * C_{p_{olla}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$Q = 0,86558 \text{ Kg} * 0,22 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (95-20) ^\circ\text{C} = 14,28 \text{ Kcal}$$

Para la determinación del calor requerido para calentar la mezcla, se tomó en cuenta la ecuación 4.19:

$$Q = m_{P:B} * C_{p_{PB}} * (T_f - T_i) + m_{Ag} * \lambda_v \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$Q_M = 11,7488 \text{ Kg} * 1,08 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (95-20) ^\circ\text{C} + 1,6 \text{ Kg} * 542,08 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 1818,98 \text{ Kcal}$$

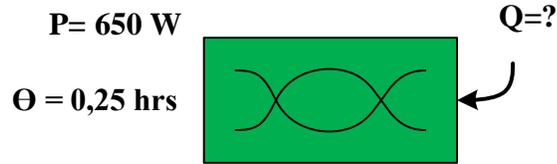
Para la determinación del calor total requerido, se tomó en cuenta la ecuación 4.20:

$$Q_T = Q_{olla} + Q_M \quad \text{Ecuación 4.20}$$

$$Q_T = 14,28 \text{ Kcal} + 1818,98 \text{ Kcal} = 1833,26 \text{ Kcal}$$

4.4.2.2. Balance de energía en la etapa de triturado:

En la figura 4.38, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de triturado:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Triturado

Para la etapa de triturado, se utilizó una licuadora con una potencia de 650 W por un tiempo 0,25 horas tiempo que dura la trituración.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida se tomó en cuenta la ecuación 4.21, despejando E se obtiene:

$$E = P * \Theta$$

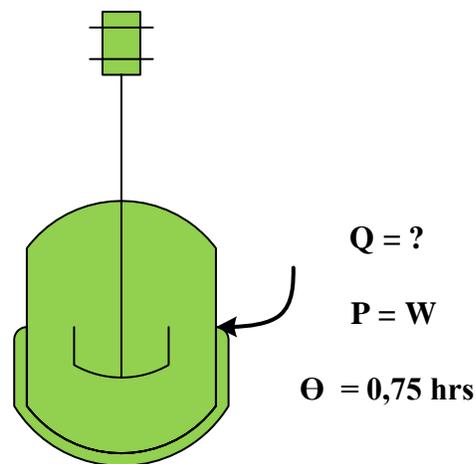
$$E = 650 * \frac{1 \text{ kcal/hrs}}{1,163 \text{ W}} * 0,25 \text{ hrs}$$

$$E = 139,72 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la trituración y durante un tiempo de 0,25 horas es de 139,72 Kcal.

4.4.2.3 Balance de energía en la etapa de preconcentración y concentración

En la figura 4,39, se muestra el proceso de balance de energía en la etapa de preconcentración y concentración:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39: Tratamiento térmico

Para la etapa de preconcentración y concentración se utilizó el equipo calentador con una potencia de 2000 W por un tiempo 0,75 horas tiempo que dura la preconcentración y concentración.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida durante esta etapa, se tomó en cuenta la ecuación 4.22, despejando E se obtiene:

$$E = P * \Theta$$

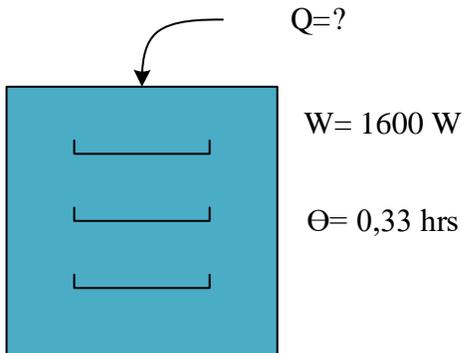
$$E = 2000 \text{ W} * \frac{1 \text{ kcal/hrs}}{1,163 \text{ W}} * 0,75 \text{ hrs}$$

$$E = 1289,77 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la pre-concentración y concentración durante un tiempo de 0,75 horas es de 1289,77 Kcal.

4.4.2.4 Balance de energía en la etapa de esterilización de frascos:

En la figura 4,40, se muestra el balance de energía en la etapa de esterilización de frascos:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40: Esterilización de frascos

Para la etapa de esterilización de frascos con una potencia de W por un tiempo $0,33$ horas tiempo que dura la esterilización.

$$P = \frac{\text{Energía (E)}}{\text{Tiempo } (\Theta)} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Para la determinación de la energía eléctrica requerida se tomó en cuenta la ecuación 4.23, despejando E se obtiene:

$$E = P * \Theta$$

$$E = 1600 \text{ W} * \frac{1 \text{ kcal/hrs}}{1,163 \text{ W}} * 0,33 \text{ hrs}$$

$$E = 453,99 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la esterilización durante un tiempo de $0,33$ horas es de $453,99$ Kcal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base al análisis fisicoquímico de la hoja de nopal muestra que contiene: Calcio 391,00 mg/100g; Magnesio 323,00 mg/100g; Azúcares totales 0,80 %; Cenizas 1,16 %; Fibra 0,78 %; Grasa 0,88 %; Hidratos de carbono 4,10 %; Humedad 92,24 %; Proteína total 0,84 % y valor energético 27,68 Kcal/100g.
- En base al análisis fisicoquímico en la pulpa de nopal: Calcio 380,00 mg/100g; Magnesio 62,80 mg/100g; Azúcares totales 0,60 %; Cenizas 0,75 %; Fibra 0,33 %; Grasa 0,13 %; Hidratos de carbono 3,50 %; Humedad 95,10 %; Proteína total 0,64 % y valor energético 15,23 Kcal/100g.
- En base al análisis microbiológico a la hoja de nopal contiene: Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Coliformes totales $5,0 \times 10^1$ y Staphilococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*).
- En base al análisis microbiológico a la pulpa de nopal contiene: Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Staphilococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g
- Realizado la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de mermelada a partir de la hoja de nopal según el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos color, sabor, dulzor, acidez, textura y apariencia de las muestras evaluadas. En base a la preferencia de los jueces y en función de las medianas se tomó en cuenta la prueba MNP.
- Aplicado el diseño experimental en la etapa de dosificación de la mermelada a partir de nopal, se puede establecer que las variables; porcentaje pulpa/fibra (A), porcentaje de azúcar (B) y porcentaje de pectina (C), no existe evidencia estadística significativa debido que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada, ya que no influyen en la variable respuesta azúcares reductores.

- Realizado la evaluación sensorial de las muestras experimentales de nivel bajo y alto (porcentaje de pectina) se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos evaluados. Así mismo, en función de las medianas y tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la muestra MNE como la muestra final.
- Realizado el control de °Brix y el contenido durante la preconcentración y concentración indica que en función del tiempo el contenido de humedad inicia con 94 % y disminuye levemente hasta 36,6 %, mientras que los °Brix inicia con un valor de 2,6 y aumenta a 53,8.
- Realizado el análisis fisicoquímico en el producto final se indica que presenta: Azúcares totales 12,38 %; Azúcares reductores 37,14 %; Calcio 198,40 mg/100g, Magnesio 47,30 mg/100g; Cenizas 0,60 %; Fibra 0,38 %; Grasa 0,44 %; Hidratos de carbono 46,27 %; Humedad 51,80 %; Proteína total 0,51 % y valor energético 191,08 Kcal/100.
- Realizado el análisis microbiológico en el producto final indica que presenta: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; *Staphilococcus aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Mohos y $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.
- Realizado el análisis fisicoquímico del producto final después de su almacenamiento presenta: Azúcares totales 38,56 %; Azúcares reductores 13,68 %; Calcio 204,00 mg/100g y Magnesio 50,80 mg/100g.
- Realizado el análisis microbiológico del producto final después de su almacenamiento presenta: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; *Staphilococcus aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Mohos y Levaduras $1,3 \times 10^2$ (*) UFC/g.

- Realizado el balance de materia y energía se evidenció que a partir de 3565,76 g de hoja de nopal se obtiene 900,90 g de mermelada a partir de hoja de nopal. Así mismo, la cantidad total de calor y energía eléctrica necesario para llevar a cabo la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal es 3716,74 kilocalorías.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar más trabajos de investigación a partir de la hoja de nopal; de tal manera, diversificar los productos derivados del mismo y así aprovechar sus beneficios nutricionales.
- Se recomienda invertir en la producción de hoja de nopal, para aumentar su valor agregado, de tal manera coadyubar a los municipios interesados.
- Se recomienda la implementación de una planta piloto para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal; y así, pueda incorporarse en el mercado local del municipio de cercado del Departamento de Tarija para aprovechar los beneficios que ofrece la hoja de nopal y beneficiando también a los productores de hoja de nopal

