



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**COLEGIO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

---

---

**TESIS**

**“PROCESADO DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) COMO  
PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE FRUTOS NO  
COMERCIALIZABLES PRODUCIDOS EN SAN SEBASTIÁN  
VILLANUEVA, PUEBLA.”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**SCARLETT CABRERA GARCÍA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M.C. ADRIANA SÁNCHEZ ESPÍNDOLA**

**CODIRECTOR:**

**M.C. RAMÓN ALMAZO DOMINGUEZ**

La tesis titulada “Procesado de tuna (*Opuntia ficus indica*) como propuesta de aprovechamiento de frutos no comercializables producidos en San Sebastián Villanueva, Puebla” se realizó en los laboratorios pertenecientes al Colegio de Ingeniería Agroindustrial, ubicado en el Complejo Regional Centro con sede en Tecamachalco, Puebla, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por la estudiante C. Scarlett Cabrera García bajo la dirección de la M.C. Adriana Sánchez Espíndola y el M.C. Ramón Domínguez Almazo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**, por la oportunidad brindada para desarrollar todos los proyectos e ideas de los que formé parte durante mi trayectoria universitaria

Al Director del complejo Regional Centro **Juan Manuel Alonso Orozco**, por el apoyo y la confianza para llevar a cabo cada proyecto.

A la **M.C. Adriana Sánchez Espíndola**, por haber dirigido este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos, tiempo y dedicación; pero sobre todo por siempre tener una palabra de aliento, por motivarme y principalmente por haberme brindado su amistad.

Al **M.C. Ramón Domínguez Almazo**, por compartir sus conocimientos, experiencia, tiempo y dedicación.

A **Jazmín Salazar Santamaría**, por siempre impulsarme a lograr grandes proyectos, por su valioso apoyo y su presencia en vida desde 2015 a la actualidad.

A todas aquellas personas que se interesaron en el proyecto y en la conclusión del mismo, por su paciencia, y por tener siempre una crítica que lograra enriquecer cada capítulo.

Y un agradecimiento especial a mi madre **Araceli García Amaro**, por impulsarme para desarrollar este trabajo, por confiar en mí y brindarme siempre su total apoyo para realizar cada uno de mis proyectos.

## **DEDICATORIA**

A **Dios**:

Por darme fortaleza, paciencia y el impulso necesario en cada etapa durante la realización de este proyecto y durante toda mi trayectoria universitaria.

A mis padres:

**Araceli García Amaro**

**Marco Antonio Cabrera Obregón**

Por apoyarme siempre en cada aspecto de mi vida, por darme las alas para llegar tan lejos como quiero, por amarme incondicionalmente y estar presente en los momentos más importantes de mi vida, por confiar en mí y dejarme ser. Todo es por y para ustedes.

A **Jazmín Salazar Santamaría**:

Por convertirse en un miembro más de mi familia, por su amor, su honestidad y sincera amistad.

A **Adolfo Flores Rodarte**, por motivarme siempre a ser una mejor versión de mi misma, por impulsarme a crecer como persona y a nivel profesional, por escuchar cada idea y proyecto en puerta, por su apoyo y cariño.

**¡GRACIAS!**

## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. MARCO TEÓRICO .....	8
4.1. Antecedentes de la investigación.....	9
4.1.1. Yogurt griego .....	9
4.1.2. Mermelada.....	10
4.1.3. Pulpas.....	11
4.2. Generalidades del cultivo de tuna .....	12
4.2.1. Producción de tuna en Puebla.....	14
4.2.2. Clima .....	14
4.2.3. Requerimientos agroclimáticos.....	14
4.2.4. Sistemas de producción .....	15
4.2.5. Descripción .....	15
4.2.6. Tuna Cristalina ( <i>O. ficus indica</i> ).....	16
4.2.7. Labores culturales .....	17
4.2.8. Plagas y enfermedades .....	17
4.3. Caracterización de la tuna.....	22
4.3.1. Parámetros físicos .....	23
4.3.2. Parámetros químicos.....	23
4.3.3. Parámetros fisicoquímicos.....	24
4.4. Agroindustrialización .....	25
4.4.1. Distribución y Comercialización.....	25

4.4.2.	Industrialización .....	26
4.4.3.	Características tecnológicas .....	27
4.4.4.	Disposiciones relativas a la calidad .....	28
4.4.5.	Métodos de conservación .....	29
4.4.6.	Alcances .....	31
5.	OBJETIVOS.....	32
5.1.	Objetivo general .....	32
5.2.	Objetivos específicos .....	32
6.	HIPÓTESIS.....	32
7.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
7.1.	Recolección del material vegetal.....	34
7.2.	Evaluación de parámetros de calidad requeridos .....	34
7.3.	Diseño experimental.....	34
7.4.	Preparación de las muestras.....	35
7.5.	Descripción del proceso .....	36
7.6.	Cálculo de rendimientos.....	37
7.7.	Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas .....	38
7.8.	Pruebas microbiológicas .....	39
7.9.	Evaluación sensorial .....	39
7.10.	Análisis bromatológico .....	41
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
8.1.	Caracterización del material vegetal colectado .....	42
8.2.	Obtención de rendimiento de la tuna cristalina ( <i>O. ficus indica</i> ).....	42
8.3.	Análisis fisicoquímico: pH.....	43
8.4.	Análisis sensorial .....	45

8.4.1. Apariencia.....	45
8.4.2. Color.....	46
8.4.3. Textura .....	47
8.4.4. Olor.....	48
8.4.5. Sabor .....	49
8.4.6. Análisis estadístico .....	50
8.5. Análisis Bromatológico.....	53
8.6. Evaluación microbiológica.....	54
8.7. Propuesta de presentación para la comercialización de la pulpa.....	55
9. CONCLUSIONES .....	56
10. RECOMENDACIONES .....	57
11. BIBLIOGRAFÍA.....	58
12. ANEXO.....	62

## INDICE DE TABLAS

Tabla I. Composición química de la pulpa de tuna.....	6
Tabla II. Producción nacional de tuna con cierre en diciembre 2020. ....	13
Tabla III. Principales microorganismos fitopatógenos causantes de daño en la tuna. ....	20
Tabla IV. Composición mineral de pulpas de tuna. ....	23
Tabla V. Clasificación de productos obtenidos del nopal y tuna.....	26
Tabla VI. Características tecnológicas de la pulpa de tuna. ....	28
Tabla VII. Diseño experimental para la obtención de pulpa de tuna cristalina ( <i>O. ficus indica</i> ). ....	35
Tabla VIII. Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas. ....	38
Tabla IX. Aspecto de la escala hedónica de nueve puntos. ....	40
Tabla X. Distribución de los tratamientos para el análisis sensorial de la tuna variedad cristalina. ....	41
Tabla XI. Determinaciones para análisis bromatológico.....	41
Tabla XII. Rendimientos de procesamiento de la pulpa de tuna cristalina. ....	42
Tabla XIII. pH obtenido de la pulpa de tuna de acuerdo a su respectivo tratamiento. ....	43
Tabla XIV. Puntuaciones finales de los análisis sensoriales para la pulpa de tuna. ....	50
Tabla XV. Prueba de normalidad para las variables de la evaluación sensorial. ..	51
Tabla XVI. Resumen de prueba de hipótesis para las variables de la evaluación sensorial.....	51
Tabla XVII. ANOVA de Friedman. Comparación por parejas para las variables de la evaluación sensorial. ....	52
Tabla XVIII. Resultados del análisis bromatológico para las muestras seleccionadas de pulpa de tuna.....	53
Tabla XIX. Análisis microbiológico de pulpa de tuna variedad cristalina. ....	54

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de brindar una alternativa de comercialización a los productores de tuna, mediante la utilización y aprovechamiento al 100% del fruto considerado como pérdida, generando un mínimo porcentaje de residuos.

Se inició con una visita a productores locales, en donde se identificaron las principales problemáticas que enfrentan al comercializar el fruto en fresco y se realizaron propuestas de procesamiento para generar valor agregado e impactar directamente en la economía de la localidad.

Se realizó el diseño experimental en donde se incluyó la utilización en diferentes porcentajes de la cascara de tuna como medio de adición de fibra.

Se procesó la tuna caracterizada como no apta para su venta en fresco, llevando a cabo una serie de pasos para asegurar la inocuidad del producto; generando pulpa de tuna como producto final con adición de fibra como producto final.

Se realizaron análisis sensoriales para determinar el tratamiento con mayor aceptación y seleccionar dos más el testigo para las pruebas pertinentes.

Se realizaron pruebas microbiológicas para asegurar la inocuidad y pruebas de fibra cruda y determinación de proteína.

**PALABRAS CLAVE:** *Opuntia ficus indica*, pulpa de tuna, alimento funcional.

## 1. INTRODUCCIÓN

San Sebastián Villanueva destaca por ser una de las regiones productoras de tuna más importantes a nivel nacional. Mediante una evaluación realizada en el año 2018, en donde se entrevistó a productores de tuna, se detectaron las problemáticas que enfrenta el cultivo, siendo la falta de procesamiento y la comercialización los principales factores que fomentan el aprovechamiento deficiente del fruto, ya que, aunque tiene una apariencia externa objetable, la pulpa se encuentra en condiciones óptimas para ser aprovechada. Bajo este contexto, los frutos no aprovechados son depositados en las inmediaciones de la comunidad, fomentando la descomposición lenta y la emisión de elementos contaminantes. Por lo anterior, las transformaciones agroindustriales ofrecen la oportunidad de introducir estos frutos nuevamente al mercado, mediante la aplicación de las llamadas “tecnologías limpias”, las cuales consisten en aprovechar al 100% el fruto (pulpa, cáscara, piel y semillas), teniendo como finalidad la generación mínima de residuos, el aumento de ingresos para los productores y la disminución del impacto negativo que tienen en el medio ambiente.

En los últimos años se ha observado una creciente tendencia en el consumo de alimentos que aporten un buen contenido de nutrientes con beneficios para la salud, de esta manera, se busca un alimento que sea lo más natural posible pero que al mismo tiempo otorgue un valor agregado, diferenciándolo del mercado por medio de la creación de una marca y un empaque adecuado.

Por lo tanto, este trabajo se centra en el aprovechamiento del fruto no comercializable como un producto de primera calidad, mediante la obtención de pulpa de tuna variedad Cristalina (*O. ficus indica*), ajustando el porcentaje de sólidos solubles al 15% y 20%, adicionando la cáscara del fruto en tres concentraciones diferentes: 5%, 10% y 15%, y proponiendo a partir de la formulación seleccionada una presentación adecuada para su comercialización como pulpa base, destinada para diversos productos alimenticios, entre los cuales

pueden destacar helados, yogurt, mermeladas, licores, industria de panificación y elaboración de alimentos gourmet.

Dicha investigación se llevará a cabo con la colaboración de productores de tuna de la Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva, ubicada en el municipio de Acatzingo de Hidalgo, Puebla.

La realización de los estudios pertinentes será en los laboratorios del Complejo Regional Centro, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y con la colaboración de investigadores expertos en áreas en común con el proyecto.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo a los estándares de comercialización requeridos para el consumo en fresco de la tuna, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), bajo el Codex stan 186-1993 (FAO) expone que los frutos suministrados frescos al consumidor deben presentarse enteros, limpios, firmes y frescos; exentos de cualquier materia extraña visible y daños causados por plagas y humedad externa anormal, además se deben excluir aquellos productos afectados por podredumbre o deterioro, sin daño causado por bajas temperaturas, ni presentar manchas pronunciadas y presentar un grado de madurez propio según la naturaleza del producto.

Con base en lo anterior, la Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva, región productora de Tuna, se ha detectado que gran parte de la producción anual se desperdicia por efecto de diversos factores, entre los que destacan:

- Persistencia de plagas, agentes bióticos y abióticos que provocan el daño externo en el fruto.
- Fluctuación de precios de venta.
- Acopio sin capacitación en recolección.
- Bajo valor agregado de la producción.
- Comercialización limitada a venta en fresco por falta de industrialización.

Tales situaciones generan pérdida económica y daño ambiental al depositar el fruto desechado en vertederos, potenciando el desarrollo de microorganismos y emisión de gases de efecto invernadero.

Esta región al ser característica de la producción de tuna, se ha enfocado al estudio del cultivo, la cosecha y postcosecha del fruto, dejando en segundo término al procesamiento, constituyendo esto un gran problema del sector ya que limita la comercialización del fruto. Hasta el momento, la industria es familiar y se limita al desespinado (barrido), en algunas ocasiones encerado y el empaque del fruto. Las pequeñas plantas desespadoras presentan características similares, cuentan con área de recepción de fruta, y maquina desespadora, teniendo

procesos de transformación no automáticos. Estas plantas son propiedad de particulares que maquilan el desespine de la fruta.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La tuna contiene numerosos compuestos bioactivos que la convierten en un fruto multipropósito, apto para su transformación en diversos productos benéficos para la salud del consumidor. En general, los frutos poseen un alto potencial nutrimental, mostrados en la Tabla I, aportando al organismo antioxidantes, carotenoides y vitaminas A, C y B; además, favorecen el sistema digestivo, reducen el colesterol, previene enfermedades cardiovasculares, es diurética y puede llegar a controlar los niveles de azúcar en la sangre.

Un estudio sobre la caracterización de la cáscara de la tuna reportó que es una buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados y antioxidantes naturales como la vitamina E, tocoferoles y vitamina C (Ramadam & Morsel, 2003), por otro lado, la cáscara contiene fibra cruda, proteína y pectina, lo cual le otorga propiedades funcionales de emulsificación, gelificación y espesante, además de retención de agua y grasa. Por otro lado, el aporte de sólidos a partir de la cáscara, participa en el incremento de los rendimientos finales. Además de las numerosas propiedades que ofrece la pulpa de tuna, sus diversos componentes son de gran valor nutrimentalmente. Por otro lado, la cáscara contiene fibra dietética, la cual contribuye a mejorar la textura y sabor. El aporte de sólidos a partir de la cáscara, participan en el incremento de los rendimientos finales, en el aumento de la fibra dietética y en la consistencia final del jugo obtenido a partir de la pulpa.

Debido al alto contenido de componentes químicos del fruto, se puede considerar a la tuna como un fruto con alto potencial para su agroindustrialización como alimento funcional, representando una alternativa como materia prima para la producción de alimentos.

Mediante el aprovechamiento de frutos no comercializables en fresco, se reduce el impacto negativo que tiene su descomposición en el medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gas metano, la sobreexplotación, la contaminación y, por consiguiente, al cambio climático.

**Tabla I. Composición química de la pulpa de tuna.**

<b>Nutrientes</b>	<b>Valores por cada 100 g de pulpa</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Valores por cada 100 g de pulpa</b>
Humedad (g)	84-89	Riboflavina (mg)	0.06
Energía (kcal/kJ)	47-67/196-280	Niacina (mg)	0.46
Proteína (g)	0.73	Vitamina B-6 (mg)	0.06
Lípidos totales (g)	0.51	B-Caroteno (mg)	25
Cenizas (g)	1.64	B-Cryptoxantina (mg)	3
Carbohidratos (g)	10-15	Vitamina A, (IU)	43
Fibra total (g)	3.6	<b>Aminoácidos</b>	
<b>Minerales</b>		Prolina (mg/L)	1768.70
Calcio (mg)	59	Glutamina (mg/L)	574.60
Hierro (mg)	0.30	Taurina (mg/L)	572.10
Magnesio (mg)	98.40	Serina (mg/L)	217.50
Fosforo (mg)	24	Alanina (mg/L)	96.60
Potasio (mg)	220	Ácido glutámico (mg/L)	83.00
Sodio (mg)	5	Metionina (mg/L)	76.90
Zinc (mg)	0.12	Lisina (mg/L)	53.30
Cobre (mg)	0.08	<b>Lípidos</b>	
Selenio (mcg)	0.6	Ácidos grasos (Saturados) (g)	0.067
<b>Vitaminas</b>		Ácidos grasos (monoinsaturados) (g)	0.075
Ácido ascórbico (mg)	18-23	Ácidos grasos (Poliinsaturados) (g)	0.213
Tiamina (mg)	0.014		

Fuente: Ochoa & Guerrero, 2010; USDA, 2009; Piga, 2004; Stinting *et al.*, 2001; Askar y EL-Samahy, 1981.

La falta de aprovechamiento de estos frutos impacta directamente a nivel social y económico, ya que al no lograr la comercialización del fruto se fomenta su desperdicio, impactando directamente en la economía de los productores, por lo que, con la propuesta de aprovechamiento del presente estudio, se ofrece un panorama más claro sobre los alcances que puede tener el procesar todo el fruto que no es ocupado actualmente, beneficiando a los productores al tener una nueva fuente de ingresos. Cabe destacar que el aprovechamiento de residuos al

adoptar las “tecnologías limpias”, brinda una opción para la generación de ingresos, contribuyendo además a la creación de productos con valor agregado y en este caso, con alto valor nutrimental.

Por lo anterior, el presente estudio plantea el aprovechamiento de la pulpa y la cáscara de tuna mediante su procesado, perfilando una oportunidad para incursionar en mercados con mayor rentabilidad al generar un nuevo producto con propiedades funcionales.

#### 4. MARCO TEÓRICO

En los últimos años, se ha hecho énfasis en la evidencia científica de la fuerte relación que existe entre la alimentación y la salud humana. Por ello, la tendencia en el consumo de alimentos que proporcionen beneficios extra a la salud ha aumentado exponencialmente, creando consumidores que exigen alimentos que cubran más allá de las necesidades nutricionales mínimas, pero que mantengan sus atributos sensoriales tradicionales. Esta tendencia se ha enfocado en el consumo de productos frescos, pero ante las problemáticas que enfrentan las frutas y hortalizas durante el almacenamiento postcosecha, se ha optado por desarrollar productos mínimamente procesados, que mantengan sus características nutricionales y que puedan orientarse al desarrollo de productos procesados o semiprocados de alto valor.

El término “Alimento funcional” se refiere a aquellos alimentos procesados a los cuales se les ha añadido un ingrediente que desempeña una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano. Algunas funciones a las que alude éste término son las que tienen un impacto positivo al sistema cardiovascular, antioxidantes, el metabolismo de xenobióticos, el sistema gastrointestinal, entre otros.

Se han desarrollado diversos estudios en los que se ha evaluado el potencial del fruto. Pruebas han demostrado que el valor calórico de su pulpa varía entre 31-50 kcal/100 g (Sáenz, *et al.*, 2006; Sawaya *et al.*, 1983; Muñoz de Chávez *et al.*, 1995; Schmidt-Hebbel *et al.*, 1990), valores que son comparables con frutos como la pera, la manzana, el durazno y la naranja (Sáenz, *et al.*, 2006). Sáenz, *et al.*, (2006) informa que la tuna al ser consumida con las semillas, aporta gran cantidad de fibra, destacando valores de 11.38 para *O. ficus-indica* (Sáenz, *et al.*, 2006; Muñoz de Chávez *et al.*, 1995.)

## **4.1. Antecedentes de la investigación**

Por lo antes mencionado y gracias a los componentes bioactivos y funcionales que posee la tuna y a los efectos benéficos que estos tienen en la salud, ha llamado la atención de diversos investigadores para el desarrollo de investigaciones enfocadas en el desarrollo de productos a base de la tuna para probar su estabilidad y su factibilidad, generando productos con características nutrimentales enriquecidas y con un alto valor agregado, dando una oportunidad de ubicar al fruto en un mercado cada vez más competitivo.

### **4.1.1. Yogurt griego**

El yogurt estilo griego, es una variedad que ha gozado de gran popularidad en Europa, Estados Unidos y México en los últimos años, se trata de una variante del yogurt tradicional, posee una textura espesa y ligeramente viscosa, con un contenido proteico de 6%-7% aproximadamente y un contenido de grasa en un 10%. Es la combinación de leche entera estandarizada con crema láctea al 7%. Su obtención tradicional incluye la fermentación de la base hasta un pH de 4.6, seguido por el drenaje del suero mediante presión a 4°C con la finalidad de incrementar los sólidos totales desde un 14% hasta 21%-23%.

En 2017, Doumenz elaboró yogurt griego adicionando a la mezcla base, cáscara de tuna en diferentes concentraciones: 5%, 10% y 15%, evaluando cuál muestra generaba mayor aceptación por el público y analizando las propiedades fisicoquímicas del producto. Se concluyó que la muestra con mayor aceptación fue la que contenía un 10% de cáscara de tuna; teniendo un pH de 4.37 comparada con la mezcla base que obtuvo un pH de 4.28, y un porcentaje de sólidos solubles (PSS) de 57.87% en la muestra con adición de cáscara al 10%, comparada con la mezcla base con un porcentaje de 54.13% (Doumenz, 2017).

#### 4.1.2. Mermelada

La mermelada es un producto de consistencia gelatinosa y espesa, producida por la cocción y concentración de frutas en agua y azúcar. Es considerado como uno de los métodos más comunes de conservación de frutas. Posee un bajo contenido de grasas y proteínas y un alto porcentaje de azúcares sencillos y presenta una apariencia brillante y atractiva. Para elaborar mermelada es necesaria la incorporación de aditivos como pectina, siendo la cáscara un sustituto ideal por su alto contenido en este aditivo.

Se han realizado diversas investigaciones con respecto al uso de la tuna para formulación de mermeladas, en el año 2011 se realizó una formulación de mermelada a partir de pulpa de tuna variedad Reyna (*Opuntia ficus indica*) 35.70% y cáscara procedente de la tuna Reyna 5.70%, pectina cítrica 1%, sacarosa 41.20%, ácido cítrico 0.30%, benzoato de sodio 0.05% y sorbato de sodio 0.05%. El análisis químico proximal de la mermelada demostró que la cáscara (5.70%) aportó un alto contenido de fibra dietética siendo 29.06 g / 100 g de producto. Dichos resultados son comparables con un trabajo realizado por Arias (2008), en donde se realizó una formulación de mermelada de tuna roja con la adición de cáscara al 22.38%, obteniendo un aporte de 12 g / 100 g de fibra dietética en la mermelada. Demostrando así, que el aporte de fibra de la cáscara de tuna verde, es considerablemente mayor al aportado por la tuna roja. Lo anterior fue realizado de acuerdo a pruebas previas y para su aplicación en planta piloto; dando como resultado la creación de una mermelada gourmet con un diseño de marca, siendo esta un producto apto para su comercialización de acuerdo a las especificaciones exigidas por la Norma Oficial Mexicana. Con este estudio se demostró que al aumentar el porcentaje de cáscara en la composición de mermelada, aumenta el porcentaje de proteína, de fibra cruda, de humedad, de cenizas naturales, el pH, la dureza, la resortividad, la gomosidad, la masticabilidad y su aceptación sensorial, pero, por otro lado, disminuye el porcentaje de cenizas insolubles, la luminosidad y la adhesividad. Se demostró que las formulaciones óptimas fueron aquellas que incluyeron cáscara en una cantidad intermedia, siendo las composiciones de

87.80% de pulpa, 12.25% de cáscara y 1.96% de pectina (Orozco, Mercado, Martínez, & Magaña, 2011).

Orozco, Mercado, Martínez, & Magaña, (2011), también realizaron una comparación entre los contenidos de fibra dietética en mermeladas comerciales de diversas frutas como zarzamora (0.47%), frambuesa (0.47%), fresa (0.47%), cereza (0.47%), cereza negra (0.23%), grosella (0.55%), frutas del bosque (0.63%), ciruela (1.57%) y la mermelada de tuna realizada durante su investigación (4.35%), demostrando que esta última contiene aproximadamente 10 veces más contenido de fibra que la mermelada de fresa comercial (Orozco, Mercado, Martínez, & Magaña, 2011).

#### **4.1.3. Pulpas**

La pulpa de fruta se define como la parte comestible de las frutas o el producto obtenido de la separación de las partes comestibles carnosas mediante procesos tecnológicos tales como la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, maduras y limpias.

Las pulpas se consideran la materia prima base para la elaboración de cualquier producto procesado que necesite fruta, por ello las investigaciones se han concentrado no solo en las aplicaciones agroindustriales a las que puede orientarse el producto, sino también a la caracterización de este para sus usos posteriores en otros procesos.

Terán, Navas, Petit, Garrido, & D'Aubetenz (2015), realizaron la caracterización fisicoquímica de piel, cáscara, pulpa y semillas de Tuna (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller), obteniendo un rendimiento en pulpa de 57%, pH de cáscara y pulpa de 5.98%, un porcentaje de acidez de 0.03% en la cáscara y 0.01% en la pulpa, mayor contenido de sólidos solubles (8.33°Brix), 3.53% de azúcares totales y 2.077% de azúcares reductores en la pulpa; la cáscara presentó un contenido de humedad de 88.62%, y vitamina C (21.97 mg / 100 g); por otro lado, las semillas

presentaron un alto contenido de proteínas (5.63%); demostrando su potencial alimenticio (Terán, Navas, Petit, Garrido, & D´Aubetenz, 2015).

Cabe señalar que en la región de estudio se han reportado limitadas investigaciones centradas en el procesamiento del fruto para su aprovechamiento óptimo; la más reciente se ha enfocado en determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento y humedad relativa sobre las características fisicoquímicas, enzimáticas, antioxidantes y microbiológicas de tuna roja variedad San Martín (Ochoa E. C., 2012).

#### **4.2. Generalidades del cultivo de tuna**

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es la cactácea que posee la mayor importancia agronómica a nivel mundial, debido al potencial de los frutos y cladodios para consumo humano (Kiesling & Metzling, 2018; Casas y Barbera, 2002; Kiesling, 1999; Alkamper, 1984).

De acuerdo a datos proporcionados por el servicio de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción de tuna se concentra en tres regiones: Puebla (Acatzingo y Quecholác), Valle de México (Estado de México e Hidalgo) y el Altiplano Potosino-Zacatecano (Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas). Al cierre del año 2020 el Estado de México se posicionó como el principal productor de tuna, con una producción de 175,635 toneladas, Puebla escaló al segundó lugar produciendo 122,053 toneladas y desplazando a Zacatecas al tercer lugar con 102,236 toneladas; la información de tallada de producción nacional se muestra en la Tabla II.

**Tabla II. Producción nacional de tuna con cierre en diciembre 2020.**

Posición	Estado	Superficie (ha)		Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
		Sembrada	Cosechada	Obtenida	Obtenido
1°	Estado de México	15,902	15,902	175,635	11.045
2°	Puebla	5,514	5,448	122,053	22.405
3°	Zacatecas	11,542	11,540	102,236	8.859
4°	Guanajuato	1,807	1,798	22,691	12.624
5°	Hidalgo	4,028	3,292	14,484	4.399
6°	Jalisco	2,016	2,016	12,884	6.389
7°	Aguascalientes	410	410	1,912	4.664

Fuente: Elaboración propia con información tomada del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2021.

Villabona, Paz, & Martínez (2013), afirman que México cuenta con 100 de las 258 especies de tuna reconocidas; se producen variedades como: alfajayucan, amarilla, blanca burrón, blanca cristalina, criolla, pico chulo, roja y xoconostle; con sabores ácidos o dulces y coloraciones que van desde las tunas rojas y amarillas, hasta las verdes y blancas. Debido a los diferentes tiempos de maduración de las diferentes especies de nopal, la tuna se encuentra disponible durante casi todo el año, representando una ventaja que coloca al país como uno de los principales productores de tuna a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2018).

Las regiones productoras de tuna en el país se dividen en tres: la región centro-norte que abarca los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato y Aguascalientes; la región central cuyos estados son México, Hidalgo y Tlaxcala; y la región sur correspondiente al estado de Puebla.

#### **4.2.1. Producción de tuna en Puebla**

El Estado de Puebla cuenta con una superficie sembrada de 5,514 hectáreas de Nopal-Tuna, produciendo anualmente 122,053 toneladas de fruto, principalmente procedente de los municipios de Acatzingo, Quecholac, General Felipe Ángeles, Soltepec, San José Miahuatlán, Chapulco, San Gabriel Chilac, Coxcatlán, Tehuitzingo, Ajalpan, Mazapiltepec de Juárez, Tecamachalco, Tlacotepec de Benito Juárez, Zinacatepec, San Salvador El Seco y Palmar de Bravo (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2021). La principal comunidad productora es San Sebastian Villanueva perteneciente al municipio de Acatzingo, concentrando el 95% de la producción a nivel estatal.

#### **4.2.2. Clima**

Las regiones productoras en el estado cuentan con una temperatura media anual (TMA) de 15 – 18 °C, presentando un periodo bajo de heladas de diciembre a enero, lo cual minimiza el riesgo de heladas para el cultivo; por otro lado presenta dos tipos de clima que va de sub-húmedo, con una precipitación promedio anual (pp) de 656 mm por año y temperatura media de 15.5°C; a un clima semiárido, templado con lluvias en verano con una precipitación pluvial de 413.20 mm al año y una temperatura de 18°C (Gallegos & Mondragón, 2011).

#### **4.2.3. Requerimientos agroclimáticos**

Es una planta que no es exigente en cuanto a la calidad de la tierra, ya que es adaptable a crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad, requiere de cuidados mínimos, sin embargo, una desventaja es su sensibilidad a temperaturas demasiado bajas (Villabona, Paz, & Martínez, 2013).

#### 4.2.4. Sistemas de producción

La época de cosecha inicia en el mes de abril y finaliza en el mes de octubre; cosechando en su mayoría variedades de tuna Criolla (*O. albicarpa*), Reyna (*O. albicarpa*), Cristalina (*O. ficus indica*) y Roja san Martín (*O. megacantha*).

Es un cultivo de temporal, intensivo con una densidad de 450 a 3,300 plantas por hectárea. Cuenta con un manejo intensivo, de alta inversión, pero un bajo uso de maquinaria.

#### 4.2.5. Descripción

Dentro del género opuntia, se encuentra la especie *Opuntia ficus-indica*, la cual se destaca por producir frutos ovalados con un peso promedio de 100 a 200 g; la pulpa es carnososa, jugosa y dulce, con coloraciones que van desde blanco-verdosa, hasta roja-anaranjada; estos frutos presentan un vasto porcentaje de pulpa 60-70% del peso total del fruto, además contiene gran cantidad de semillas que varían entre 2-10% por fruto y la presencia de cáscara o pericarpio es de 30-40% (Nazareno, 2018).

De las especies conocidas del género *Opuntia*, son pocas las utilizadas para la producción de nopalitos, tuna, forraje o para la cría de cochinilla usada para la obtención de colorante. Entre las especies cultivadas para la producción de fruta se encuentran: *Opuntia ficus-indica*, *O. hyptiacantha*, *O. amyclaea*, *O. xoconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Estas especies se diferencian por la variabilidad en sus características, observando las distintas formas de los cladodios, la presencia o ausencia de espinas, el tamaño, color y dulzor de los frutos, además de su porcentaje de pulpa, semillas, cáscara y piel. Debido a la coloración de las diferentes variedades, se constituye como un atractivo adicional para los consumidores.

#### **4.2.6. Tuna Cristalina (*O. ficus indica*)**

Aunque originaria del estado de Zacatecas, actualmente se cultiva en San Sebastian Villanueva, Puebla. El nopal tuna variedad "Cristalina" pertenece a la familia *Cactaceae* del género *Opuntia*, es importante destacar que su taxonomía y propiedades fisicoquímicas varían de acuerdo a las condiciones ambientales en las que se desarrolle, es decir, factores como la temperatura, disponibilidad de agua y disponibilidad de nutrientes condicionan el desarrollo de sus características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas.

Villabona, Paz, & Martínez, (2013), destacan que son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de matorrales. Poseen un tronco leñoso definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa y ramas articuladas. Pueden llegar a medir hasta 5 metros de alto, las pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor y presenta una coloración verde opaco. Algunas tienen espinas cortas, débiles, blancas o amarillas. Poseen flores y frutos, ovalados de color rojo, naranja o amarillo (Rivas, 1998). Gallegos & Mondragón, (2011), describen a esta variedad como una planta de vigor alto y porte abierto, con cladodios largos y anchos con forma obovada estrecha y escasas espinas cortas. La flor presenta un perianto de color anaranjado. Esta variedad se caracteriza por desplegar frutos de gran tamaño (9.85 cm de largo y 6.65 cm de ancho en promedio), estos son de forma elíptica y con pocas glóquidas, la cicatriz receptacular es amplia y ligeramente hundida

La tuna cristalina es de tamaño grande, pesando en promedio 200 g; el periodo de cosecha es de agosto a noviembre, presentando una vida de anaquel de hasta 30 días. Se caracteriza por presentar un dulzor menor a la tuna Villanueva, además tiene semillas más grandes y cáscara más gruesa (Escobar, 2010).

#### **4.2.7. Labores culturales**

Ochoa & Guerrero (2017), hace énfasis en descartar la idea de que el nopal tunero requiere de pocos insumos para la obtención de alta producción, ya que esta idea ha conducido a los productores a un mal manejo de las plantaciones y la obtención de fruta de baja calidad; Además expone que el manejo racional de los huertos se asocia con alta calidad y mayores ganancias que el manejo limitado. Lo anterior requiere generar más conciencia de la influencia que tienen el ambiente y el manejo de las huertas sobre el crecimiento de la fruta y la maduración (Ochoa & Guerrero, 2017; Ochoa, 2003).

La presencia de heladas es un factor que determina el inicio de la cosecha, la tuna es considerada como fruto no-climatérico, por lo que deben ser cosechadas en su estado óptimo de maduración, presenta una baja tasa de respiración 15-20mL CO<sub>2</sub>/kgh a 0°C (68°F), y baja producción de etileno (Kader, 2014). De este modo la concentración de nutrientes permanece en el fruto sin cambios apreciables durante el almacenamiento, pero puede llegar a variar la firmeza y el peso del fruto (Nazareno, 2018).

Es importante tener en cuenta la madurez del fruto en el momento de recolección para su procesamiento. Se han propuesto diferentes parámetros para definir el momento ideal para la cosecha del fruto como: el tamaño y llenado del fruto; cambios en el color de la cáscara; firmeza del fruto; profundidad de la cavidad floral o receptáculo; contenido de sólidos solubles totales (SST) y caída de los gloquidios (Sáenz, *et al.*, 2006). Pero debido a que no hay un método establecido, varios autores recomiendan determinarlo para cada tipo de fruto en cada área de cultivo.

#### **4.2.8. Plagas y enfermedades**

Existen gran cantidad de afectaciones pero su presencia está condicionada por las condiciones agroclimáticas a las que están expuestos los cultivos; sin embargo,

con la expansión del cultivo del nopal, las plantaciones más densas y el cambio climático pueden contribuir a que la incidencia sea mayor así como la severidad de las enfermedades, y la posible emergencia de nuevas o inusuales (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017).

El nopal-tuna (*Opuntia ficus-indica*) presenta varias enfermedades, ya sean por presencia de hongos, bacterias, virus o por desórdenes abióticos. Existen gran cantidad de ellas, pero su presencia está condicionada por las condiciones agroclimáticas a las que están expuestos los cultivos; sin embargo, con la expansión del cultivo del nopal, las plantaciones más densas y el cambio climático pueden contribuir a que la incidencia sea mayor, así como la severidad de las enfermedades, y la posible emergencia de nuevas o inusuales (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017). Estas enfermedades toman importancia de acuerdo al destino que se le vaya a dar al fruto, ya sea para consumo en fresco o para procesamiento como es el caso de éste estudio. A continuación, se presentan las principales enfermedades que se han detectado en el fruto del nopal-tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la región de San Sebastian Villanueva.

Las principales afectaciones que sufre el fruto son ocasionadas por intervención de diversos hongos que provocan heridas y ablandamiento de tejidos que propician su deterioro. Además, se han detectado otras enfermedades debido a fitoplasmas, que generan frutos con enanismo severo, amarillamiento y deformaciones en la tuna. De acuerdo con Granata, Faedda, & Ochoa, (2017), también ocurren daños abióticos, como los ocasionados por heladas debido a temperaturas menores a 5°C, generando efectos drásticos sobre la planta completa, reduciendo el rendimiento y la calidad del producto; los frutos en maduración son los más sensibles a heladas, estos daños se caracterizan por la aparición de manchas necróticas sobre la superficie de la cáscara. Otros daños son generados por granizo el cual resulta en heridas en el punto de impacto; se presenta también el daño por agrietamiento de frutas, el cual ocurre cuando las plantas absorben agua después de un periodo prolongado de sequía, causando la expansión rápida del fruto, rompiendo así la cáscara cerca de la base del fruto. Además, animales y malos manejos del cultivar pueden dañar el fruto.

Con lo anterior, queda claro que su perecibilidad no radica en el metabolismo del fruto, sino en daños fisiológicos, mecánicos y daños patológicos.

#### **4.2.8.1. Enfermedades fúngicas**

Entre las enfermedades fungosas se presentan la pudrición seca por *Alternaria*, moho gris y pudrición de fruta por *Penicillium*. En la Tabla III los principales microorganismos fitopatógenos causantes de daño en el fruto.

Los microorganismos que dañan al fruto, son principalmente microorganismos de tipo Necrotrófico: hongos que matan las células del hospedante desde las etapas tempranas en el curso del parasitismo, por lo que viven y se alimentan como saprobios (a partir de tejidos muertos). Las enfermedades son comúnmente pudriciones suaves de frutos y tubérculos aun adheridos a la planta o durante el manejo y almacenamiento posteriores a la cosecha (Herrera & Ulloa, 1990). La temperatura y la humedad ejercen una marcada influencia sobre la vida del hongo. Los conidios forman y desarrollan micelio cuando la humedad relativa es de 95% y la temperatura fluctúa entre los 4 y 32°C (óptima de 19 a 21°C). En el caso de *Ascochyta spp*, puede sobrevivir en estados de extrema sequía.

Un método de control es en primer lugar la siembra de semilla sana, la selección de terreno con buen drenaje y en caso extremo la rotación de cultivos por cuatro años o más. La destrucción de plantas enfermas y sus residuos ayudan a bajar la incidencia de la enfermedad (León, 2010; Romero, 1993).

**Tabla III. Principales microorganismos fitopatógenos causantes de daño en la tuna.**

<b>Patógeno</b>	<b>Características morfológicas</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Enfermedad</b>
<i>Fusarium spp.</i>	Esporas dispersas en el micelio aéreo o esporodoquios. Forman caezuelas mucosas; constan de una célula conidiogena y otros están ramificados o a veces en verticilos.	Crecimiento en plantas superiores, granos, semillas y frutos.	Pudrición de la cicatriz del pedúnculo
<i>Alternaria spp.</i>	Esporas de color rojo oscuro con pico, obiclaviformes, los conidióforos son simples o ramificados, individuales o agrupados.	Deterioran frutos cítricos principalmente.	Pudrición de la cicatriz del pedúnculo
<i>Cladosporium spp.</i>	Conidios oscuros, ramificados cerca del ápice o parte media; de forma y tamaño variable, ovales o cilíndricos e irregulares.	Plantas superiores, ocasiona manchas amarilla y pudriciones.	Pudrición del cuerpo
<i>Ascochyta spp.</i>	Pecnidios oscuros, globosos y separado; tiene conidios hialinos bicelulares; forma ovoide.	Causa pudriciones y manchas cafés.	Pudrición del cuerpo

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Frazier, 1976; Ulloa y Herrera, 1990; Aragón, 1998; Ramírez, 2006.

#### 4.2.8.2. Agentes causales de las enfermedades

La pudrición seca por *Alternaria* se caracteriza por presentar como primeros síntomas áreas cloróticas circulares alrededor de las espinas o heridas sobre los cladodios y frutos, los cuales posteriormente se tornan oscuros y necróticos; *Alternaria alternata* también causa deterioro postcosecha del fruto, mostrando pudrición superficial seca de la cáscara de color negro (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017). Generalmente las lesiones presentan márgenes irregulares en la parte central del fruto y la cáscara dañada puede ser removida (Granata *et al.* 2017; Faedda *et al.* 2015). El mismo autor describe que el Moho gris es causado por *Botrytis cinérea Pers*; el cual penetra a través de heridas causadas durante la separación del fruto de los cladodios. El área dañada es de forma circular la cual se torna gris oscuro, produciendo además el ablandamiento de los tejidos internos y su deterioro. Por otro lado, la pudrición de fruta por *Penicillium*, producida por *Penicillium spp*, es generada por daños físicos a la cáscara durante la cosecha y el empaque, así como durante el almacenamiento en frío. Los tejidos infectados se tornan de color café, suaves y acuosos; las lesiones aumentan de tamaño y un micelio blanco emerge de las grietas de la cáscara deteriorada presentando esporas azul-verdosas sobre las lesiones de la superficie de la cáscara (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017).

El cultivo de nopal-tunero también presenta enfermedades debido a fitoplasmas, una de las enfermedades más comunes es el engrosamiento de cladodios, la cual produce cladodios, flores y frutos con enanismo severo; además de acuerdo a estudios elaborados por (Suaste, Rojas, Zavaleta, & Pérez, 2012), puede llegar a producir deformación y engrosamiento de cladodios, mosaico, amarillamiento, proliferación y deformación de frutos en plantas de nopal, atribuyendo como agente causal al viroide mexicano 16SrXIII fitoplasma (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017).

#### 4.2.8.3. Otros agentes

Ocasionalmente también ocurren daños abióticos, como el daño por heladas debido a temperaturas menores a 5°C, generando efectos drásticos sobre la planta completa, reduciendo el rendimiento o la calidad del producto; esta susceptibilidad depende de la edad y estado fisiológico de la planta y el cultivar (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017). Los frutos en maduración son los más sensibles a heladas, estos daños se caracterizan por la aparición de manchas necróticas sobre la superficie de la cáscara. El daño por granizo resulta en heridas en el punto de impacto; y el daño por agrietamiento de frutas, el cual ocurre cuando las plantas absorben agua después de un periodo prolongado de sequía, causando la expansión rápida del fruto, rompiendo así la cascara cerca de la base del fruto (Figura I) (Granata, Faedda, & Ochoa, 2017).



**Figura I. Daños ocasionados por agentes abióticos en la tuna.** A) Daño por heladas, B) Daño por impacto de granizo y C) Daño por exceso de agua después de un periodo prolongado de sequía.

#### 4.3. Caracterización de la tuna

La composición del fruto puede variar de acuerdo a diversos factores, entre los que destacan: 1) el origen de las plantas o el lugar donde es cultivada; 2) factores agronómicos como el cultivo, la fertilización y riego; y 3) las diferencias genéticas (Sáenz C. , 2017).

La composición de los frutos va en función de su grado de madurez (Sáenz, *et al.*, 2006). Por ello, es necesario tener en cuenta que la tuna es un fruto no climatérico, es decir que no maduran una vez cosechados, por lo que es importante cosecharlos en el punto de madurez óptimo para su consumo o procesamiento.

#### 4.3.1. Parámetros físicos

Sobre la firmeza de los frutos hay pocos datos publicados, fluctúa entre 1,8 y 3,3 N (Sáenz, *et al.*, 2006). Por otro lado, el peso del fruto presenta grandes variaciones dependiendo del cultivar, de la carga del cladodio y de las condiciones ambientales, estos pueden llegar a pesar hasta 250 g y es importante considerar que un fruto comercial no debe pesar menos de 120 g (Sáenz, *et al.*, 2006; Inglese, 1999; Sudzuki *et al.*, 1993; Barbera e Inglese, 1992).

#### 4.3.2. Parámetros químicos

**Tabla IV. Composición mineral de pulpas de tuna.**

Mineral	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna anaranjada
Ca	12,8	13,2	35,8
Mg	16,1	11,5	11,8
Fe	0,4	0,1	0,2
Na	0,6	0,5	0,9
K	217,0	19,6	117,7
P	32,8	4,9	8,5

Fuente: Sáenz & Sepúlveda, 2001; Sáenz *et al.*, 1995; Sepúlveda y Sáenz, 1990.

En lo que respecta a los minerales, se observan variaciones en la composición mineral de la pulpa de tuna (Sáenz, y otros, 2006). Cabe destacar que dichas variaciones pueden atribuirse a la procedencia del origen de cada estudio, a sus respectivos factores agronómicos o las diferencias genéticas que presentan las variedades. En la Tabla IV se presenta la composición mineral presente en las pulpas de tuna.

### **4.3.3. Parámetros fisicoquímicos**

#### **4.3.3.1. Sólidos solubles**

El aumento de la concentración de SST está en función al crecimiento de la pulpa (40-50 días después del cuajado de la flor); al cambiar el color de la cáscara, el contenido de los SST es de 12% a 15% del que alcanza un fruto maduro. Cuando el color de la cáscara llega a la mitad de lo que alcanzaría en la madurez completa, el contenido de los SST llega a valores de 85% a 90%, dependiendo del cultivar; es en esta etapa cuando se alcanza la mejor calidad de la fruta para consumo en fresco o para almacenamiento. Los SST aumentan ligeramente en frutos completamente maduros, pero en esta etapa ya no son adecuados para almacenamiento y están muy blandos para el manejo (Sáenz, *et al.*, 2006).

La mayoría de los azúcares presentes en el fruto son del tipo reductor, con cerca del 53 por ciento de glucosa y el resto de fructosa (Sáenz, *et al.*, 2006; Russel y Felker, 1987; Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Kuti y Galloway, 1994; Rodríguez *et al.*, 1996). La glucosa es el único metabolito energético de las células cerebrales y nerviosas y que en la tuna está presente como azúcar libre por lo que es directamente absorbido por el cuerpo (Sáenz, *et al.*, 2006).

#### **4.3.3.2. Acidez**

El pH es uno de los factores de mayor importancia para el control del crecimiento de microorganismos; estos niveles oscilan entre el 1 y el 14, considerando los valores mayores a 7 como alcalino, valores inferiores a 7 como ácido y 7 considerado como pH neutro. En alimentos con pH bajo (ácidos) la acción conservadora es mayor.

*O. ficus-indica* no manifiesta cambios en el pH al avanzar la madurez, permaneciendo prácticamente constantes en valores cercanos a 6,0 (Sáenz, *et al.*, 2006).

### **4.4. Agroindustrialización**

#### **4.4.1. Distribución y Comercialización**

A pesar de que México se posiciona como el productor número uno a nivel mundial, compitiendo con países como Italia, Israel, Sudáfrica y Chile, no se ha podido acceder de manera consistente al mercado internacional por medio de la comercialización del producto en fresco, por lo que la industrialización del fruto ofrece la oportunidad de lograr posicionarlo en diversos sectores industriales.

Países de Europa Occidental como Alemania, Inglaterra, Italia, Grecia, España y Francia, y países árabes y asiáticos como Japón, Taiwán y Corea; han mostrado una creciente tendencia en el consumo de frutos considerados como exóticos, lo cual ofrece al cultivo mercados potenciales para su exportación. Pero debido a los altos costos de transporte, el limitado conocimiento tecnológico de técnicas postcosecha y conservación, las posibilidades de comercializar al extranjero se ha visto limitada. Es por lo anterior que las posibilidades de comercializar el fruto con un procesado mínimo, representa una gran oportunidad para acceder a dichos mercados (Méndez & García, 2006).

#### 4.4.2. Industrialización

Durante las etapas de cosecha, empaque y almacenamiento, el fruto es susceptible a daños externos que logran limitar su comercialización, convirtiéndolos en frutos no aptos para su venta en fresco por las características de calidad que exige el consumidor, pero que, con el adecuado procesamiento, estos pueden ser reintroducidos al mercado mediante su industrialización.

En México, no existe una industria dedicada al procesamiento de tuna. Los factores que han inhibido su desarrollo radican en buena medida en los problemas tecnológicos para la eliminación de la semilla y la obtención de un producto homogéneo y estable y en el escaso desarrollo del mercado para estos productos procesados (Díaz, 2001; León, 2010).

En la actualidad, se han desarrollado pequeñas plantas piloto, dedicadas al aprovechamiento integral del fruto.

En la Tabla V se clasifican los productos obtenidos del nopal y de la tuna de acuerdo a su línea de producción (Corrales & Flores, 1998).

**Tabla V. Clasificación de productos obtenidos del nopal y tuna.**

<b>Clasificación</b>	<b>Productos</b>	<b>Empleo</b>
Productos de la industria extractiva y de la biotecnología.	Mucílagos, pectinas, celulosa, colorantes, aceite comestible de la semilla, azúcares (glucosa y fructosa)	Producción de proteína unicelular, alcohol, aguardiente y jarabes fructosados.
Productos de la industria alimentaria tradicional y tecnificada.	Extracción de jugos y pulpas.	Queso de tuna, melcocha, yogurt, mermelada, jarabe, licores.

Fuente: Corrales & Flores, 1998; León, 2010.

La demanda de los productos procesados de tuna es fundamentalmente local y regional y se manifiesta en los mercados tradicionales y folclóricos. No se trata de una demanda creciente ya que para algunos de estos productos es difícil establecer un mercado potencial por falta de conocimiento en la población (Flores, 1993; León, 2010).

La pulpa es un producto semi-preparado, que contiene frutas trituradas frescas con partes reconocibles, se procesa con materia prima lavada y seleccionada, no es apto para el consumo directo por lo que se utiliza como base para la producción de mermeladas, jugos y otros (Sinha, Sidhu, Barta, Wu, & Cano, 2012).

#### **4.4.3. Características tecnológicas**

La tuna presenta características tecnológicas importantes para su procesamiento, bajo este contexto, el contenido de sólidos solubles en la pulpa alcanza valores mayores al 17%, constituido principalmente por 53% de glucosa y fructosa. Otros componentes presentes en la pulpa de tuna, tales como proteínas van de 0.21 a 1.6%, grasas de 0.09 a 0.7%, fibra de 0.02 a 3.15% y cenizas de 0.4 a 1%. El fruto también contiene un alto nivel de ácido ascórbico 40 mg / 100 g, es rico en calcio 15.40 a 32.80 mg /100 g, fósforo 12.8 a 27.6 mg / 100 g, potasio 217 mg / 100 g y sodio de 0.60 a 1.19 mg / 100 g. El contenido total de aminoácidos libres es mayor que el promedio de otros frutos, alcanzando los 257.24 mg / 10 g.

Durante el procesamiento, es importante tener presentes las condiciones que el fruto requiere para su transformación. La tuna es considerada un fruto de baja acidez presentando un pH de entre 5.3 – 7.1 (Ochoa & Guerrero, 2010), por ello cuando los alimentos no-acídicos son pasteurizados o enlatados, a menos que se reduzca el pH mediante la adición de ácido cítrico, es necesaria una temperatura más alta para reducir los conteos microbianos a un nivel seguro comparados con el tratamiento de alimentos acídicos (Sáenz C. , 2017).

Al someter el fruto a temperaturas altas, generalmente mayores a 121°C, pueden llegar a modificar el sabor, color y aroma del producto. Por lo tanto, es importante tener un control de las temperaturas en los procesos de transformación.

A continuación, se exponen los parámetros tecnológicos de pulpas de tuna variedad *O. ficus-indica*, los cuales se pueden apreciar en el Tabla VI (Sáenz, *et al.*, 2006).

**Tabla VI. Características tecnológicas de la pulpa de tuna.**

<b>Parámetro</b>	<b>Tuna verde (g/100g)</b>
Pulpa y semillas	49.60
Cáscara	50.40
pH	6.37
Acidez (% ácido cítrico)	0.06
°Brix (SST)	14.06
Sólidos totales	16.20
Pectina	0.17
Viscosidad (mPa s)	73.90

Fuente: Sáenz, Sepúlveda, Albornoz, & Pak, 1999.

#### **4.4.4. Disposiciones relativas a la calidad**

Para la distribución y comercialización se exigen frutos de buena calidad, lo cual, en la región de estudio, no se logra de manera satisfactoria debido a la corta temporada de producción, así como a que el tiempo de vida útil de la tuna en condiciones de almacenamiento normales es reducido (Ochoa & Guerrero, 2010).

Las tunas se clasifican en tres categorías, en primer lugar, se encuentra la categoría “Extra”, estos frutos deberán presentar calidad superior, evitando aquellas tunas que tengan defectos, admitiendo solo defectos superficiales leves

sin que éstos afecten el aspecto general del producto. La siguiente categoría es “Categoría I”, dentro de ella se agrupan aquellos frutos de buena calidad, permitiendo defectos leves de forma y color, defectos leves en la piel debidos a magulladuras, manchas producidas por el sol, costras, y otros defectos superficiales, siempre que la superficie total afectada no supere el 4%, estos defectos no deben afectar a pulpa del fruto. La “Categoría II” comprende las tunas que conserven sus características esenciales en lo que respecta a calidad, estado de conservación y presentación; se admiten defectos de forma y color, siempre y cuando el producto tenga las características propias de la tuna; defectos de la piel debido a magulladuras, cicatrices, costras y manchas, siempre que la superficie afectada no supere el 8% y sin afectar la pulpa el fruto. Se considera que un fruto comercial no debería pesar menos de 120g (CODEX STAN 186-1993).

#### **4.4.5. Métodos de conservación**

En la industria alimenticia existen factores que pueden incidir en la alteración de las características de los alimentos, poniendo en riesgo la seguridad para su consumo; estas alteraciones se pueden dar por actividad de microorganismos (bacterias, mohos y levaduras), actividad enzimática, por factores bióticos, mal manejo en temperaturas de almacenamiento, y reacciones químicas propias del alimento (León, 2017; Potter & Hotchkiss, 1995).

La conservación provisional de la pulpa de fruta se puede realizar mediante preservante, calor, enfriamiento o congelación. En el caso de la conservación química, se agrega a la pulpa un conservante específico, los cuales pueden ser dióxido de azufre ( $SO_2$ ) al 0,03%, ácido benzoico al 0,15% y ácido sórbico al 0,1%. Estos conservantes son efectivos por debajo de un pH de 3.5 (Sinha, Sidhu, Barta, Wu, & Cano, 2012).

#### **4.4.5.1. Adición de conservantes químicos**

El benzoato de sodio es una sustancia que actúa como un inhibidor de la actividad de microorganismos tales como bacterias, mohos y levaduras. Se trata de una sal soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol; es antiséptica pero en grandes cantidades puede ser tóxica. Tiene su acción óptima entre un pH de 2,5 a 4 y disminuye en valores de pH arriba de 5 (Kirk, Sawyer, & Egan, 2004).

#### **4.4.5.2. Pasteurización**

El objetivo de la pasteurización consiste en la destrucción selectiva de la carga microbiana presente en un alimento manteniendo la estructura, composición y las características sensoriales del producto, mediante el uso de temperaturas no mayores a 100°C entre 65°C y 75°C por 20 a 30 minutos, y enfriando rápidamente. De esta manera, se logra inactivar algunas enzimas que puedan causar el deterioro o cambio en la pulpa y la reducción de bacterias como E. coli y levaduras (Gómez, 2019).

#### **4.4.5.3. Congelación**

La congelación ha sido utilizada para la preservación de alimentos, ya que permite preservar el sabor, la textura; además, las propiedades nutricionales y funcionales varían en menor medida con respecto a otros métodos de conservación. Por otro lado, una gran ventaja de este sistema es la preservación de las pulpas hasta por un año.

La congelación debe ser lo más rápida posible para que los cristales de hielo que se forman durante este proceso, sean más pequeños y por ende el producto congelado será de mejor calidad. La congelación combina los efectos de la baja

temperatura; los microorganismos no pueden crecer, las reacciones químicas se reducen y las reacciones metabólicas celulares se retrasan, como efecto de la reducción de la actividad del agua ( $a_w$ ) (Sáenz C. , 2017; Casp y Abril, 1999; Vieira, 1996; Delgado y Sun, 2000).

#### **4.4.6. Alcances**

La comercialización de pulpas actúa como reguladora del suministro de fruta, teniendo disponible el fruto en cualquier época. Tiene una tendencia de crecimiento, ya que ésta se considera la materia prima base para la elaboración de productos procesados que requieran fruta.

Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten dichas características (Mondragón, 2004). Lo cual es una ventaja futura en la generación de pulpa de tuna sin la utilización de equipo específico para la separación pulpa-semilla.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Desarrollar pulpa de tuna a partir de la variedad cristalina (*Opuntia ficus indica*) con la incorporación de diferentes concentraciones de cáscara, evaluando sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

### **5.2. Objetivos específicos**

1. Evaluar las características fisicoquímicas de la pulpa de tuna con adición de cáscara en tres diferentes concentraciones
2. Realizar una evaluación microbiológica verificando que el producto generado se encuentre dentro de los límites establecidos por la NOM-130-SSA1-1995.
3. Identificar la muestra que presenta mayor nivel de aceptación mediante una evaluación sensorial.
4. Determinar el % de fibra y el % de proteína de los dos mejores tratamientos resultantes de la evaluación comparada con el tratamiento testigo.
5. Proponer una presentación para la comercialización de una formulación seleccionada de pulpa de tuna con cáscara.

## **6. HIPÓTESIS**

El uso de frutos con valor comercial objetable no influye en las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas de la pulpa de tuna con adición de cáscara.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

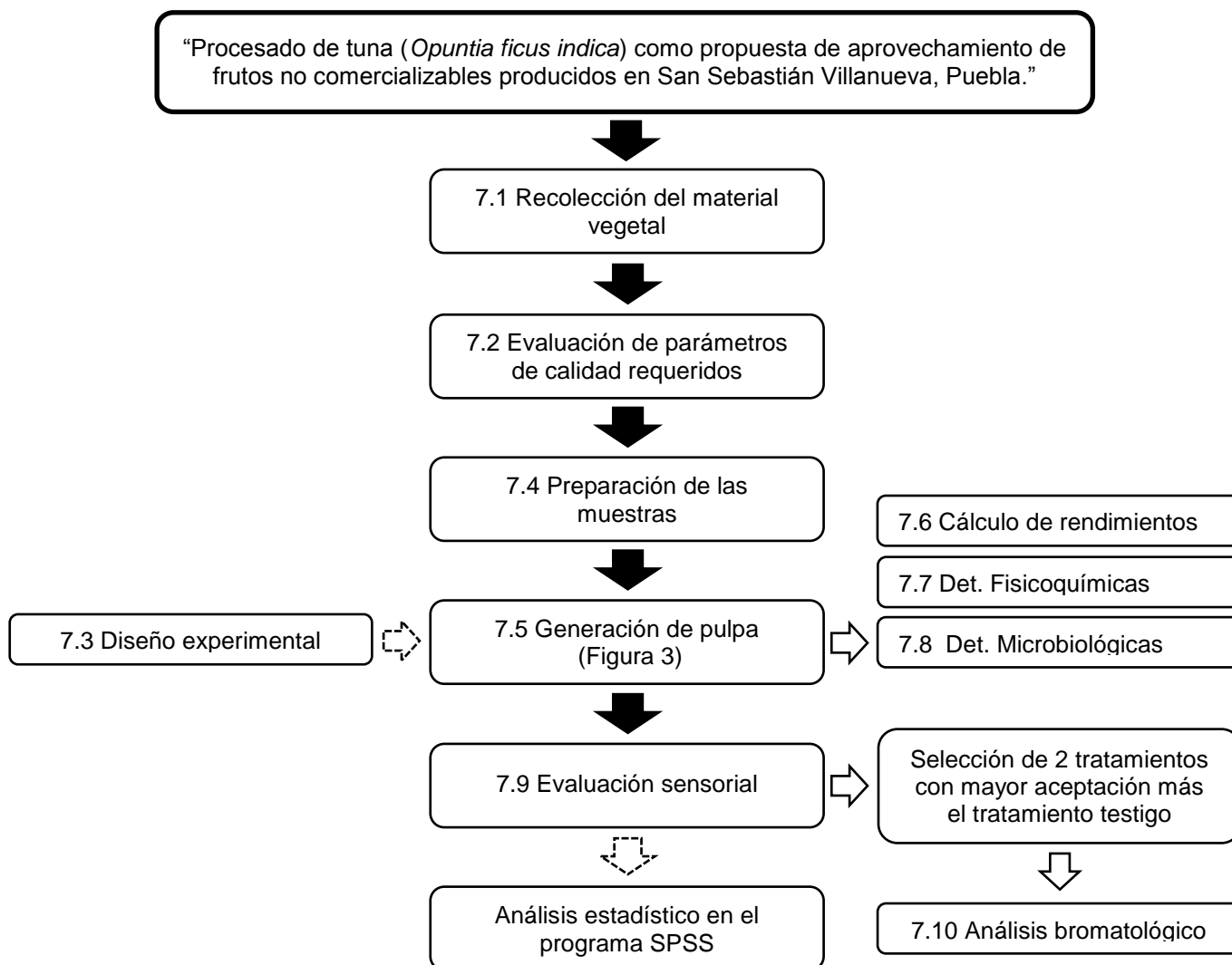


Figura 2. Diagrama metodológico

### **7.1. Recolección del material vegetal**

El fruto fue recolectado en el Estado de Puebla, en el Municipio de San Sebastián Villanueva, con productores de tuna.

La variedad de tuna utilizada fue Cristalina (*O.ficus indica*) debido a la disponibilidad por temporada, seleccionadas de manera aleatoria, procurando frutos considerados como no comercializables para consumo en fresco. Se realizó la recolección del fruto directamente del campo, procurando elegir al azar los frutos para lograr una muestra representativa con las características deseadas (apariencia externa objetable, estado de madurez óptimo). Se dispusieron dentro de cajas de plástico, cuidadosamente para no dañar más el material vegetal.

### **7.2. Evaluación de parámetros de calidad requeridos**

Los parámetros evaluados previos al procesamiento fueron:

1. Ausencia de espinas.
2. Frutos con apariencia externa objetable (daños fisiológicos, mecánicos y patológicos).
3. Correcta desinfección del material vegetal.

### **7.3. Diseño experimental**

Inicialmente se establecieron propuestas de procesamiento de pulpa con diferentes proporciones de sólidos solubles y cáscara, a las cuales se les determinó el porcentaje de proteínas y de fibra cruda.

El diseño constó de 7 tratamientos presentados en la Tabla VII, en los cuales intervienen 4 factores, utilizando un modelo sin replicación: factor A, variedad de tuna Cristalina; factor B, porcentaje de sólidos solubles al 15% y 20%; factor C,

porcentaje de cáscara añadida al 5%, 10% y 15%; y factor D, porcentaje de pulpa al 70%, 75% y 80%.

**Tabla VII. Diseño experimental para la obtención de pulpa de tuna cristalina (*O. ficus indica*).**

<b>Tratamiento</b>	<b>% de sólidos solubles</b>	<b>% cáscara añadida</b>	<b>% de pulpa</b>
T1	15%	5%	80%
T2	15%	10%	75%
T3	15%	15%	70%
T4	20%	5%	80%
T5	20%	10%	75%
T6	20%	15%	70%
T7 (testigo)	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

#### **7.4. Preparación de las muestras**

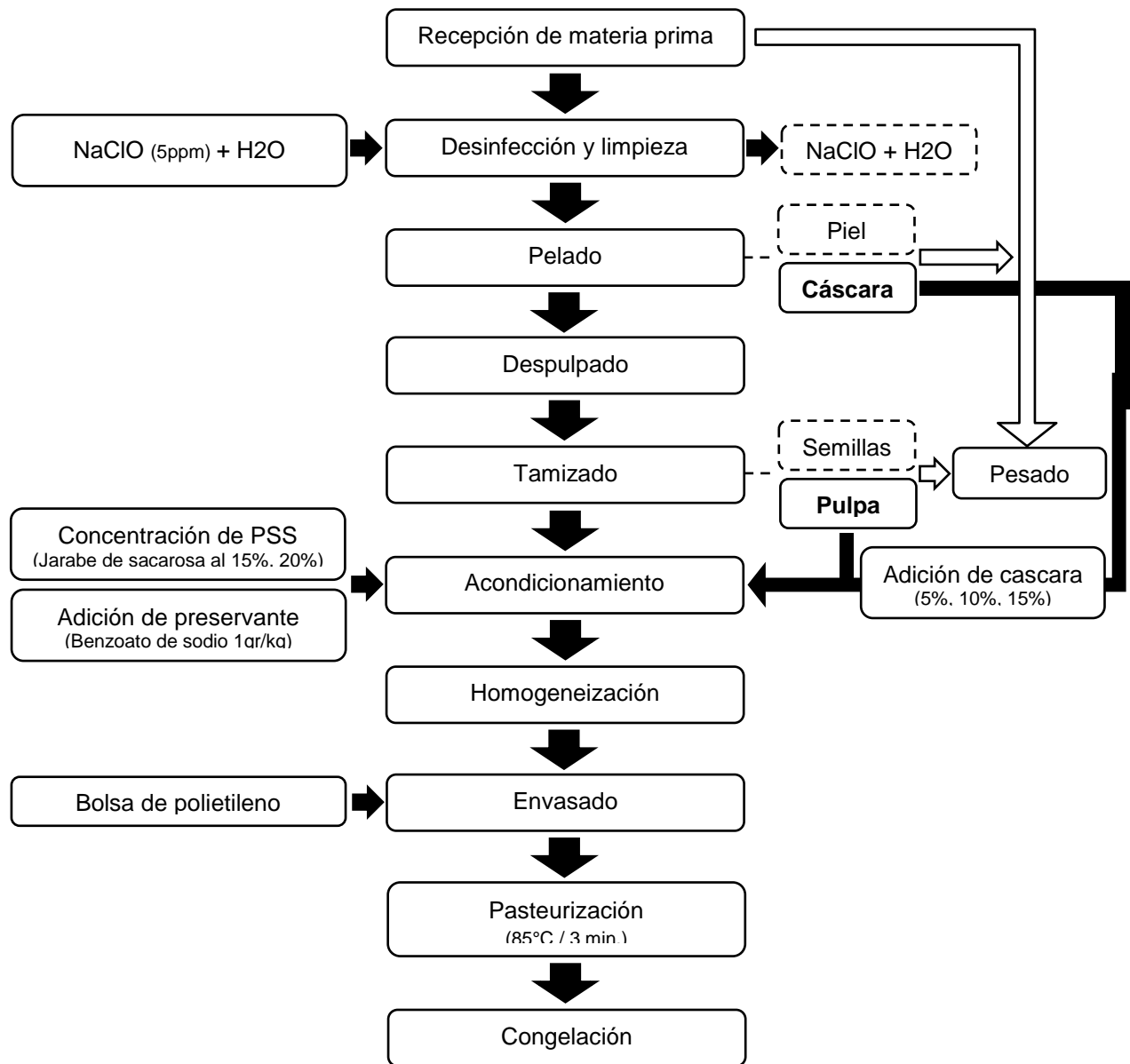
La tuna se obtuvo en la Junta Auxiliar de San Sebastián Villanueva. Se realizó la recolección del fruto directamente del campo, procurando elegir al azar los frutos para lograr una muestra representativa con las características deseadas. Como previa preparación al procesado, se barrieron las tunas con el fin de eliminar las espinas.

## 7.5. Descripción del proceso

El proceso de obtención de pulpa de tuna se realizó bajo los lineamientos establecidos por la NOM-251-SSA1-2009 (Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios).

El fruto se sometió a un proceso como se indica en la Figura 3; se comenzó con un proceso de limpieza y desinfección con hipoclorito de sodio a 5ppm, se pesó y se peló el fruto, separando la piel de la cáscara, esta última utilizada dentro del mismo proceso. Una vez pelado el fruto se pasó por una despulpadora y un tamiz, en donde se separó semilla de la pulpa del fruto. Posteriormente se ajustaron los porcentajes de pulpa, cáscara y se acondicionó el PSS requeridos para cada tratamiento, se adicionó benzoato de sodio (1gr/kg) como conservante, se homogeneizó y se envasó en bolsas de polietileno resellable; finalmente se pasteurizó el producto a 85°C por 3 minutos, y se conservó en congelación.

Cada producto del proceso (piel, cáscara, semillas y pulpa) se pesó para la obtención de los rendimientos finales. Los tratamientos elaborados de acuerdo a la Tabla VII, se sometieron a las determinaciones presentadas en la Tabla VIII.



**Figura 3. Generación de pulpa de tuna con adición de cáscara**

### 7.6. Cálculo de rendimientos

El rendimiento en pulpa es uno de los factores más importantes para la industrialización; por lo que se debe tomar en cuenta la variación del porcentaje de cada parte del fruto por zona de cultivo.

Para obtener el rendimiento durante la obtención de las pulpas de tuna cristalina (*O. ficus indica*) se determinó por diferencia de peso de la masa de los siguientes componentes:

1. Tuna con cáscara.
2. Tuna sin cáscara.
3. Cáscara.
4. Piel.
5. Pulpa de tuna.
6. Semilla de tuna.

#### 7.7. Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas

A las muestras seleccionadas se les realizaron las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas propuestas por (Cerezal & Duarte, 2005), descritas en la Tabla VIII.

**Tabla VIII. Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas.**

<b>Determinaciones fisicoquímicas</b>		<b>Principio</b>
Potencial de hidrógeno	AOAC 981.12 (2000)	Potenciometría con un potenciómetro HANNA.
Sólidos solubles totales	AOAC 932.12 (2000)	Refractometría con escala de 0 a 32 °Brix.
<b>Determinaciones Microbiológicas</b>		
Coliformes totales	NOM-113-SSA1-1994	
Bacterias mesofilícas aerobias	NOM-092-SSA1-1994	
Mohos y levaduras	NOM-111-SSA1-1994	

## **7.8. Pruebas microbiológicas**

La evaluación microbiológica se realizó a cada uno de los tratamientos transcurridos dos meses de almacenamiento, de acuerdo a las normas: NOM-109-SSA1-1994 (Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico), NOM-110-SSA1-1994 (Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico), NOM-092-SSA1-1994 (Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa), NOM-113-SSA1-1994 (Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa), NOM-111-SSA1-1994 (Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos); se cuantificaron por triplicado en los medios Agar Rojo Violeta Bilis (RVBA), Agar para Métodos Estándar (ME) y Agar Papa-Dextrosa (PDA), con diluciones hasta  $10^3$ .

El conteo de las UFC (Unidades formadoras de colonias) se realizó mediante el Método de recuento en placa normal (SPC), el cual consiste en la homogeneización de la porción de muestra, su dilución, siembra en el medio e incubación a temperatura de 37°C durante 24 a 48 horas. Posteriormente se contaron las colonias visibles mediante uso de un contador electrónico.

## **7.9. Evaluación sensorial**

Se define el análisis sensorial como la identificación, medida científica, análisis e interpretación de las respuestas a los productos, percibidas a través de los sentidos (Stone y Sidel, 1993). Las pruebas hedónicas son una herramienta efectiva en el diseño de productos, su realización previa al trabajo de marketing es de gran utilidad para el posicionamiento en el mercado de nuevos productos.

Los tratamientos realizados se sometieron a evaluaciones sensoriales con escala hedónica de nueve puntos (categorizada de 1 a 9), la cual consta de cuatro

categorías positivas, cuatro categorías negativas y un centro neutral; esta escala permite evaluar de manera sencilla los atributos tales como el aspecto, textura, olor y sabor; los cuales determinaron cuál tratamiento presentó mayor aceptabilidad por el consumidor.

La evaluación se llevó a cabo en las aulas del colegio de ingeniería agroindustrial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Con un panel de catadores no entrenados en análisis sensorial, con edades comprendidas entre 10 a 70 años, con el fin de evaluar el grado de aceptación que tienen las muestras de acuerdo a los PSS, cáscara y pulpa.

Se utilizó una escala hedónica de nueve puntos descritas en la Tabla IX, con el fin de aumentar la capacidad de discriminación de los productos de estudio.

**Tabla IX. Aspecto de la escala hedónica de nueve puntos.**

<b>Puntuación</b>	<b>Descripción sensorial</b>
9	Gusta extremadamente
8	Gusta mucho
7	Gusta moderadamente
6	Gusta poco
5	Ni gusta ni disgusta
4	Disgusta poco
3	Disgusta moderadamente
2	Disgusta mucho
1	Disgusta extremadamente

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Peryam Girardot.

Se asignó un código de identificación a cada muestra, como se observa en la Tabla X, con el fin de mantener la confidencialidad de cada una de las muestras para su análisis.

**Tabla X. Distribución de los tratamientos para el análisis sensorial de la tuna variedad cristalina.**

<b>Código aleatorio</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción del tratamiento</b>
392	T1	15% s.s, 5% cáscara
683	T2	15% s.s, 10% cáscara
462	T3	15% s.s, 15% cáscara
105	T4	20% s.s, 5% cáscara
279	T5	20% s.s, 10% cáscara
513	T6	20% s.s, 15% cáscara
726	T7 (Testigo)	100% pulpa

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos se procesaron para seleccionar las dos muestras que presentaron mayor grado de aceptación por el consumidor; las cuales se sometieron a las determinaciones fisicoquímicas mostradas en la Tabla VIII.

### **7.10. Análisis bromatológico**

Se realizaron las pruebas pertinentes para la determinación de proteína y fibra cruda presente en las muestras seleccionadas que obtuvieron mayor puntaje de aceptación en las pruebas sensoriales.

**Tabla XI. Determinaciones para análisis bromatológico.**

<b>Determinaciones</b>	<b>Principio</b>
Proteínas	NMX-F-608-NORMEX-2011 Método Kjeldahl
Fibra cruda	NMX-F613-NORMEX-2017

Fuente: Elaboración propia con información tomada de NMX-F-608-NORMEX-2011 y NMX-F613-NORMEX-2017.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología antes mencionada y con el seguimiento de cada uno de los objetivos, se obtuvieron los siguientes resultados.

### 8.1. Caracterización del material vegetal colectado

El fruto con apariencia externa objetable, es decir, que presenta deformaciones, variaciones en tamaño, daños mecánicos, manchas, o pudriciones externas, no son agentes causales para el no aprovechamiento integral del fruto para su procesamiento como pulpa. Se determinó que la parte interna del fruto (pulpa) y la cáscara, presentan las condiciones adecuadas para su procesamiento sin poner en riesgo la calidad e inocuidad del producto final.

### 8.2. Obtención de rendimiento de la tuna cristalina (*O. ficus indica*)

Los resultados del análisis de rendimiento se muestran en la Tabla XII.

**Tabla XII. Rendimientos de procesamiento de la pulpa de tuna cristalina.**

Porción	Porcentaje
Fruto completo	100%
Piel	25.19%
Cáscara	15.49%
Semilla	12.29%
Pulpa	47.02%

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos en el rendimiento, se muestra que la pulpa de tuna corresponde al 47% del total del fruto, el cual fue utilizado en su totalidad, con la adición correspondiente del contenido de cáscara de acuerdo a los tratamientos propuestos.

Con respecto a las semillas se propone como destino su procesamiento para obtención de aceite y para la piel y cáscara se propone como destino final la formulación de una torta para alimentación animal.

Lo anterior permite el aprovechamiento más completo del fruto, favoreciendo la disminución de residuos y el incremento de los rendimientos finales.

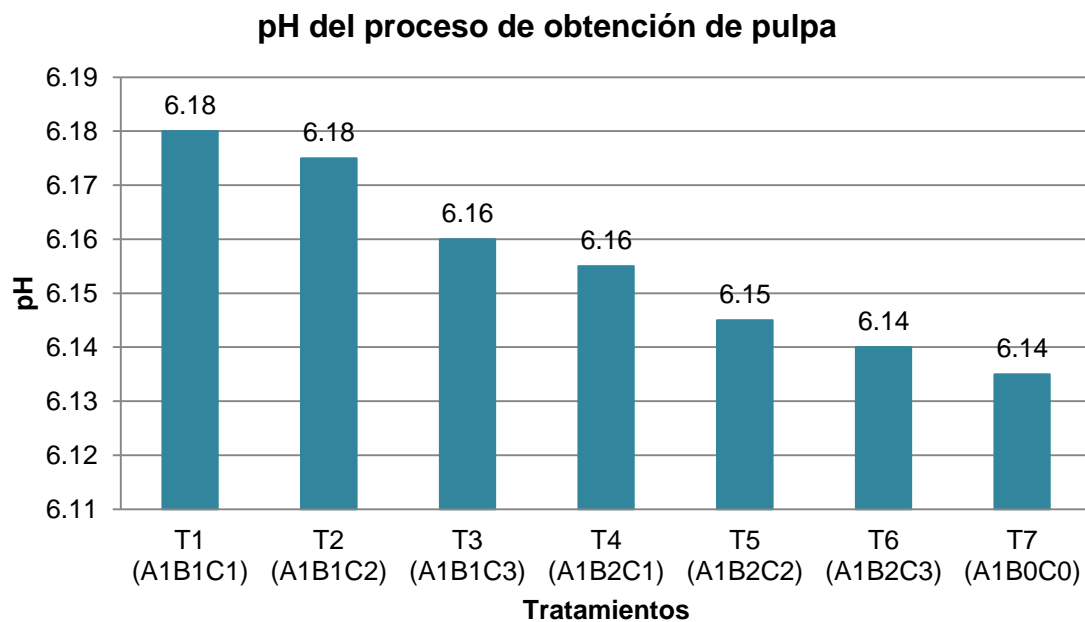
### 8.3. Análisis fisicoquímico: pH

**Tabla XIII. pH obtenido de la pulpa de tuna de acuerdo a su respectivo tratamiento.**

Tratamiento	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
T1	6.17	6.17	6.17	18.51	6.17
T2	6.16	6.18	6.17	18.51	6.17
T3	6.17	6.16	6.17	18.50	6.16
T4	6.17	6.17	6.16	18.50	6.16
T5	6.15	6.16	6.15	18.46	6.15
T6	6.14	6.15	6.15	18.44	6.14
T7	6.14	6.15	6.14	18.43	6.14
Suma	43.10	43.12	43.11	129.33	6.15

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico I. Valor de las medias del pH de la obtención de pulpa de tuna de acuerdo a su respectivo tratamiento.**



En la gráfica anterior se observa que el factor C (% de cáscara) influye en la disminución del pH, siendo el tratamiento testigo el de mayor acidez.

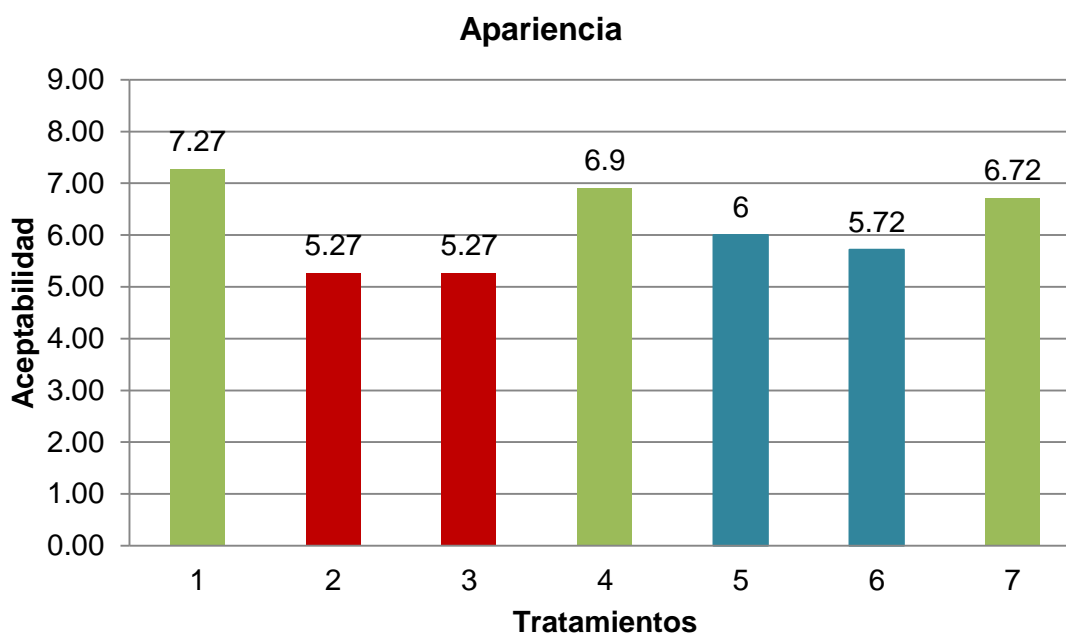
## 8.4. Análisis sensorial

Del análisis sensorial realizado, los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación:

### 8.4.1. Apariencia

La apariencia se encontró libre de materias extrañas, sin separación de fases y sin trozos del fruto.

**Gráfico II. Caracterización de la apariencia de la pulpa de tuna.**

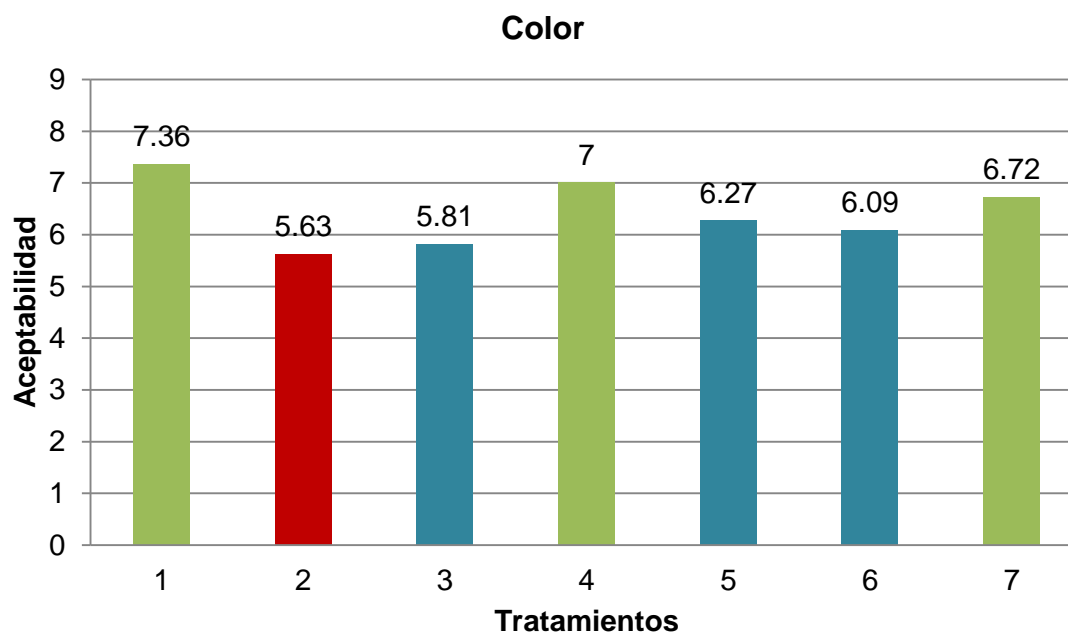


En el Gráfico II se observa que la media de cada uno de los tratamientos se encontraron por arriba del grado de aceptabilidad “6”, siendo los tratamientos 2 (15% s.s, 10% cáscara) y 3 (15% s.s, 15% cáscara) los de menor preferencia; mientras que los tratamientos 1 (15% s.s, 5% cáscara), 4 (20% s.s, 5% cáscara) y 7 (testigo) los que presentaron mayor grado de aceptación.

### 8.4.2. Color

Se mantuvo una coloración verde clara característica de la tuna variedad cristalina (*O. ficus indica*) aún después de la pasteurización.

**Gráfico III. Caracterización del color de la pulpa de tuna**

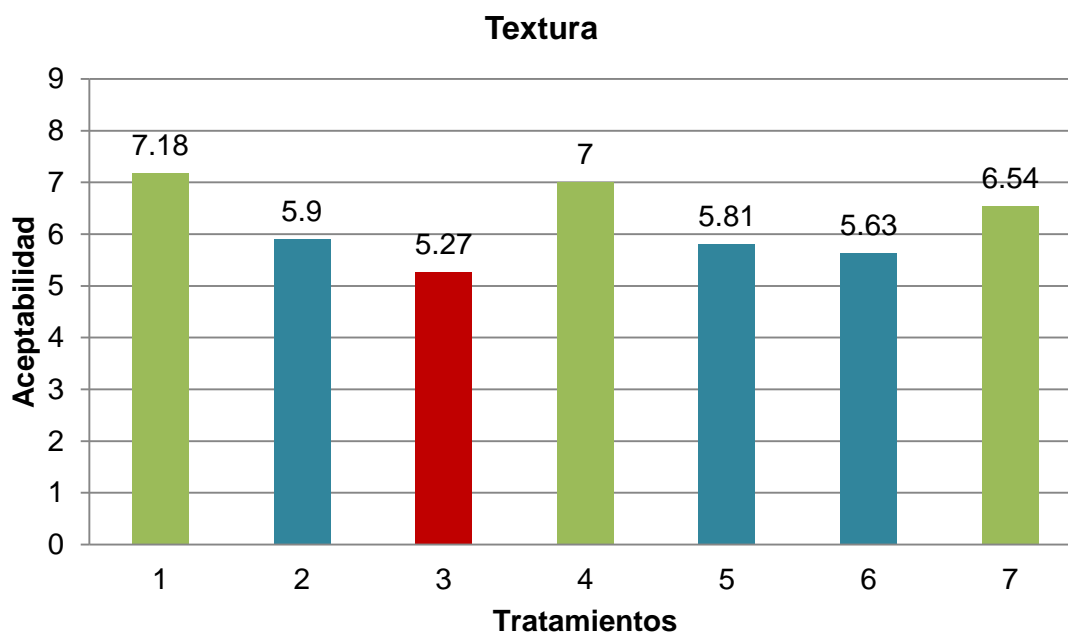


En el Gráfico III se presenta la caracterización del color de la pulpa de tuna, se obtuvo que los tratamientos 1 (15% s.s, 5% cáscara), 4 (20% s.s, 5% cáscara) y 7 (testigo) presentaron una mejor estabilidad en la coloración de la pulpa, siendo que a menor % de cáscara añadida, menor será el cambio en el color de la pulpa. Por otro lado, el tratamiento 2 (15% s.s, 10% cáscara) fue el tratamiento de menor aceptación en cuanto a la coloración por parte de los degustadores.

### 8.4.3. Textura

La pulpa presentó una textura ligera, no viscosa.

**Gráfico IV. Caracterización de la textura de la pulpa de tuna.**

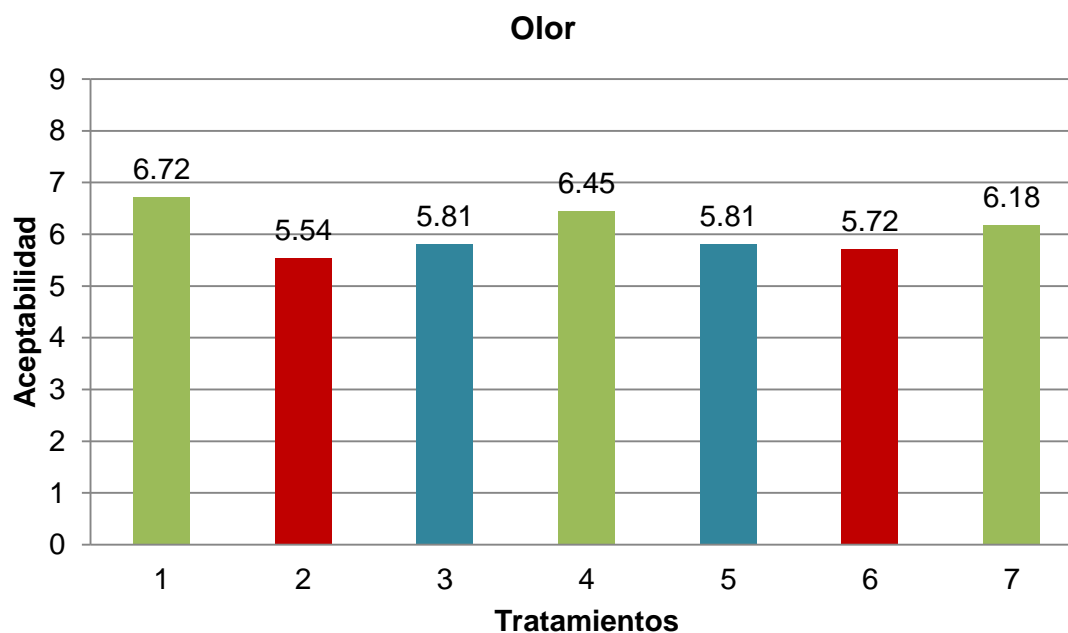


Para este atributo sensorial los tratamientos 1 (15% s.s, 5% cáscara), 4 (20% s.s, 5% cáscara) y 7 (testigo) presentaron mayor aceptación; siendo el tratamiento 3 (15% s.s, 15% cáscara) el de aceptación más baja por parte de los catadores.

#### 8.4.4. Olor

La pulpa mantuvo el olor característico del fruto en fresco: dulce y ligeramente ácido.

**Gráfico V. Caracterización del olor de la pulpa.**

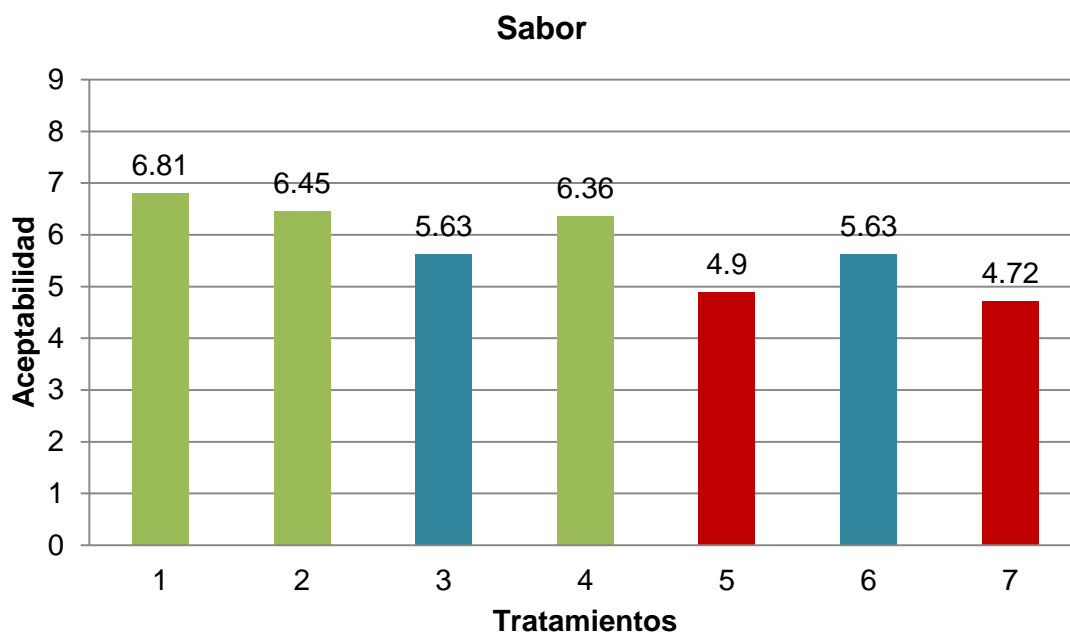


En el gráfico IV se observa que los tratamientos 2 (15% s.s, 10% cáscara) y 6 (20% s.s, 15% cáscara) son los que presentaron menor grado de aceptación por parte de los panelistas; mientras que los tratamientos 1 (15% s.s, 5% cáscara), 4 (20% s.s, 5% cáscara), y 7 (testigo) presentaron mayor aceptabilidad.

### 8.4.5. Sabor

La pulpa mantuvo el sabor característico del fruto en fresco, aun con la adición de los diferentes porcentajes de jarabe de sacarosa; sin sabores relacionados a la fermentación.

**Gráfico VI. Caracterización del sabor de la pulpa de tuna.**



Los tratamientos con mayor aceptación en sabor fueron los tratamientos 1 (15% s.s, 5% cáscara), 4 (20% s.s, 5% cáscara) y 2 (15% s.s, 10% cáscara); por otro lado los tratamientos 5 (20% s.s, 10% cáscara) y 7 (testigo) fueron los de menor preferencia.

**Tabla XIV. Puntuaciones finales de los análisis sensoriales para la pulpa.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción del tratamiento</b>	<b>Puntuación final</b>
T1	15% s.s, 5% cáscara	7.07
T2	15% s.s, 10% cáscara	5.75
T3	15% s.s, 15% cáscara	5.55
T4	20% s.s, 5% cáscara	6.74
T5	20% s.s, 10% cáscara	5.75
T6	20% s.s, 15% cáscara	5.75
T7 (testigo)	100% pulpa	6.17

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla XIV se muestran los resultados (resaltados en amarillo) obtenidos en la evaluación sensorial, siendo estos tratamientos los que presentaron mejores puntuaciones en los atributos evaluados (apariencia, color, olor, sabor y textura), siendo el tratamiento 1, el tratamiento 4 y el tratamiento testigo los seleccionados para las pruebas de % de proteína y el % de fibra.

#### **8.4.6. Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos durante la evaluación sensorial se procedió en primer lugar a realizar la prueba de normalidad para asegurar que los datos no cumplan con la normalidad, los resultados se presentan en la Tabla XV.

Como se presenta en la tabla anterior, en la prueba de Shapiro-Wilk se analizó su significancia, mostrando que en los 5 atributos (apariencia, color, olor, textura y sabor) no se cumple la distribución normal ya que sus valores son mayores a .05; lo anterior permite realizar un análisis de las medidas repetidas mediante el ANOVA de Friedman.

**Tabla XV. Prueba de normalidad para las variables de la evaluación sensorial.**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Apariencia	0.183	7	0.200*	0.908	7	.384
Color	0.159	7	0.200*	0.957	7	.796
Olor	0.269	7	0.134	0.918	7	.456
Textura	0.227	7	0.200*	0.927	7	.528
Sabor	0.194	7	0.200*	0.928	7	.533

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

**Tabla XVI. Resumen de prueba de hipótesis para las variables de la evaluación sensorial.**

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	Las distribuciones de Apariencia, Color, Olor, Textura y Sabor son las mismas.	Análisis de dos vías de Friedman de varianza por rangos de muestras relacionadas	0.041	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es .05.

Se rechazó la hipótesis nula, lo cual indicó que hay diferencias significativas entre los atributos, estas diferencias se describen en la Tabla XVII

**Tabla XVII. ANOVA de Friedman. Comparación por parejas para las variables de la evaluación sensorial.**

<b>Muestra1- Muestra2</b>	<b>Prueba estadística</b>	<b>Error típico</b>	<b>Desv. Prueba estadística</b>	<b>Sig.</b>	<b>Sig. adj.</b>
Sabor-Olor	0.429	0.845	0.507	0.612	1.000
Sabor-Textura	0.786	0.845	0.930	0.353	1.000
Sabor- Apariencia	1.000	0.845	1.183	0.237	1.000
Sabor-Color	2.429	0.845	2.874	0.004	0.041
Olor-Textura	-0.357	0.845	-0.423	0.673	1.000
Olor-Apariencia	0.571	0.845	0.676	0.499	1.000
Olor-Color	2.000	0.845	2.366	0.018	0.180
Textura- Apariencia	0.214	0.845	0.254	0.800	1.000
Textura-Color	1.643	0.845	1.944	0.052	0.519
Apariencia- Color	-1.429	0.845	-1.690	0.091	0.910

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas.

Se muestran las significancias asintóticas (prueba de 2 caras). El nivel de significancia es .05.

En la prueba de comparaciones múltiples presentada en la tabla XVII en donde se muestra la significancia ajustada, en los atributos Sabor – Color hay diferencia estadísticamente significativa, lo cual indica que las apreciaciones por parte de los catadores son diferentes. Para el resto de los atributos no presentó diferencia estadísticamente significativa.

## 8.5. Análisis Bromatológico

De acuerdo a los datos obtenidos en el análisis sensorial, se seleccionaron las dos muestras que presentaron mayor aceptabilidad comparadas con el tratamiento testigo, siendo el T1 (5% S.S.T, 5% de cáscara), el T4 (20% S.S.T, 5% de cáscara); las muestras a las que se les realizó la determinación de % de proteína y el % de fibra cruda mediante los protocolos mencionados en la Tabla VIII.

En la tabla XVIII se presentan los porcentajes de fibra y proteína obtenidos del análisis bromatológico.

**Tabla XVIII. Resultados del análisis bromatológico para las muestras seleccionadas de pulpa de tuna.**

Tratamiento	Descripción	% Proteína	% Fibra
1	15% s.s, 5% cáscara	0.51%	2.27%
4	20% s.s, 5% cáscara	0.48%	2.33%
Testigo	100% pulpa	0.03%	1.82%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados demuestran que al añadir porcentaje de cáscara a la pulpa, aumenta el porcentaje de fibra cruda y de proteína. Siendo los tratamientos 1 y 4 (resaltados en amarillo) los que además de presentar mayor aceptación en los atributos sensoriales, también presentan mayores beneficios en cuanto a los porcentajes de proteína y de fibra que aportan al organismo.

## 8.6. Evaluación microbiológica.

Como se puede observar en la Tabla XVIII, se comprobó que los resultados se encuentran dentro de los límites establecidos en la NOM-130-SSA1-1995 (Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico), la cual establece que para jugos y néctares pasteurizados, el límite de coliformes totales es <10 UFC/ml, para mesofílicos aerobios el límite es de 100 UFC/ml, y para Mohos y levaduras el límite es de 25 UFC/ml. Concluyendo que las muestras analizadas resultan aptas para consumo desde el punto de vista sanitario.

**Tabla XIX. Análisis microbiológico de pulpa de tuna variedad cristalina.**

<b>Tratamientos</b>	<b>CT UFC/ml</b>	<b>BMA UFC/ml</b>	<b>HYL UFC/ml</b>
<b>T1</b>	Menor a 10	Menor a 100	Menor a 100
<b>T2</b>	Menor a 10	Menor a 100	2
<b>T3</b>	Menor a 10	Menor a 100	6
<b>T4</b>	Menor a 10	Menor a 100	Menor a 100
<b>T5</b>	Menor a 10	Menor a 100	Menor a 100
<b>T6</b>	Menor a 10	Menor a 100	Menor a 100
<b>T7</b>	Menor a 10	Menor a 100	3

\*UFC/ml= Unidades formadoras de colonias por mililitro, CT= Coliformes Totales, BMA= Bacterias Mesofílicas Aerobias, HYL= Hongos y Levaduras. Contemplando para CT dilución  $10^{-1}$ , para BMA dilución  $10^{-2}$ , y para HYL dilución  $10^{-2}$ .

Con lo anterior, se deduce que la implementación de procedimientos estandarizados, el seguimiento de normas e indicadores de calidad e inocuidad, favorecen la disminución de las poblaciones de microorganismos presentes en la pulpa de tuna, siendo un factor de gran importancia para reducir pérdidas durante

el almacenamiento y comercialización, y asegurando el cuidado de la salud del consumidor

#### **8.7. Propuesta de presentación para la comercialización de la pulpa.**

Se propone el uso de polietileno de baja densidad (LDPE) con capacidad de 500gr para el empaque de la pulpa de tuna, debido a que se adapta con mayor seguridad a las características deseables tanto del producto como de la presentación para su comercialización.

Debido a su alta resistencia a condiciones de temperatura bajas, es el material idóneo para la conservación de la tuna en congelación; por otro lado, proporciona estabilidad y resistencia durante el transporte, lo cual favorece tanto el traslado como el aseguramiento de la pulpa en condiciones de congelación durante un periodo mayor a un año.

## 9. CONCLUSIONES

Las condiciones de salud actuales demandan el desarrollo de alimentos enriquecidos nutrimentalmente, se prevé que en los próximos años se fortalezcan algunas áreas tales como los estudios de mercado específicamente para los alimentos funcionales. Por otro lado, se espera el surgimiento de nuevas tecnologías que permitan el desarrollo de estos productos y su preservación de manera más efectiva, cuidando las exigencias de calidad por parte del consumidor.

De los tratamientos evaluados se concluye que la adición de cáscara aumenta no solo el rendimiento final, sino los porcentajes de fibra cruda y de proteína. Se identificaron dos tratamientos como los de mayor aceptación sensorial, siendo el tratamiento 1 (15% s.s, 5% cáscara) y el tratamiento 4 (20% s.s, 5% cáscara) los recomendados para su desarrollo a mayor escala. Por otro lado, los resultados de las pruebas microbiológicas demostraron que el utilizar un fruto con apariencia externa objetable, no influye en las condiciones de la pulpa, conservando sus características organolépticas y ausencia de fermentación, lo cual hace de la pulpa un producto seguro para consumo.

Con esta propuesta, se logra aumentar el porcentaje de fruto aprovechado para procesamiento, reduciendo la cantidad de fruto desechado en la comunidad y favoreciendo el uso del fruto con su aprovechamiento al 100%, minimizando su desperdicio y la disminución del impacto negativo al medio ambiente; además de enriquecer no solo la economía de los productores y la generación de trabajo sino también la generación de investigaciones y proyectos que promuevan el crecimiento de la industria en la región.

## **10. RECOMENDACIONES**

Para lograr aprovechar el fruto en su totalidad, se proponen realizar investigaciones cuyo fin sea la producción y evaluación de la elaboración de tortas para alimentación animal utilizando la cáscara y la piel de la tuna, y el uso de las semillas para la obtención de aceite.

Por otro lado, se propone realizar una investigación de mercado para identificar clientes potenciales para el producto y estudios de cinética microbiana para verificar su vida útil.

De lo antes mencionado se sugiere continuar la investigación con diferentes variedades de tuna, para así generar una comparativa de sus propiedades. Se recomienda la investigación de tuna roja San Martín, cuyo potencial es alto para su procesamiento y comercialización.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Arias, M. M. (2008). Mejoras en el procesamiento de mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas. 36-39. Universidad de Guanajuato.
- Cerezal, P., & Duarte, G. (2005). Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). Chile.
- CODEX STAN 186-1993. (s.f.). NORMA DEL CODEX PARA LA TUNA.
- Doumenz, P. (2017). Aprovechamiento de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*) en la elaboración de yogurt griego con fibra soluble. *Tesis de licenciatura*. Tacna, Perú: Universidad privada de Tacna.
- Escobar, N. H. (2010). *Programa de documentación de Casos de éxito*. Obtenido de Fruta con sabor a México: Agroproductores la FLor de Villanueva S.P.R. de R.I.: <https://www.redinnovagro.in/casosexito/40pueblatunas.pdf>
- FAO. (s.f.). *Norma del codex para la tuna*. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.
- Gallegos, C., & Mondragón, C. (2011). *Cultivares selectos de tuna de México al mundo* (Primera ed.). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Gómez, D. I. (2019). Avances en la tecnología de producción y conservación de pulpas de frutas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Granata, G., Faedda, R., & Ochoa, M. (2017). Diseases of cactus pear. En F. a. Areas, *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear* (págs. 115-123). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Herrera, T., & Ulloa, M. (1990). *El reino de los hongos: micología básica y aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kader, A. A. (2014). *Postharvest Center*. Obtenido de Department of Plant Sciences, University of California, Davis: [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Fruit\\_Spanish/?uid=55&ds=802](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_Spanish/?uid=55&ds=802)
- Kiesling, R., & Metzging, D. (2018). Origen y taxonomía de *Opuntia ficus-indica*. *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*, 13-19.
- Kirk, R., Sawyer, R., & Egan, H. (2004). Composición y análisis de alimentos de Pearson. Compañía Editorial Continental.

- León, E. (2017). Evaluación de eficiencia de dos marcas diferentes de benzoato de sodio en zumo de naranja sobre pruebas microbiológicas. *Universidad Ricardo Palma*.
- Méndez, S., & García, J. (2006). La tuna, producción y diversidad. *CONABIO*.
- Nazareno, M. A. (2018). Propiedades nutricionales y medicinales de frutos y cladodios de nopal. En O. d. Agricultura, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (págs. 155-162). Roma.
- NOM-092-SSA1-1994. (1994). Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Secretaría de salud*.
- NOM-111-SSA1-1994. (1994). Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. *Secretaría de salud*.
- NOM-113-SSA1-1995. (1995). Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. *Secretaría de salud*.
- NOM-130-SSA1-1995. (1995). Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. *Secretaría de salud*.
- NOM-251-SSA1-2009. (2009). Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. *Secretaría de salud*.
- Ochoa, C., & Guerrero, J. (2010). La tuna: una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 49-63.
- Ochoa, C., & Guerrero, J. (2013). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características de calidad de tuna blanca villanueva (*Opuntia albicarpa*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 149-161.
- Ochoa, C., & Guerrero, J. (2017). La tuna: una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. *TSIA UDLAP*.
- Ochoa, E. C. (2012). Efecto del Almacenamiento a Diferentes Temperaturas sobre la Calidad de Tuna Roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). *Información Tecnológica*, 23(1), 117-128.
- Orozco, M. M., Mercado, J., Martínez, G., & Magaña, J. (2011). Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*, 21(2), 31-36.

- Ramadam, S. S., & Morsel, J. T. (2003). Recovered lipids from prickly pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. En *Food Chemistry* (págs. 447-456).
- Rivas, M. (1998). Cactáceas de Costa Rica. *EUNED*, 33.
- Sáenz, C. (2017). Processing and utilization of fruit cladodes and sedes. En F. a. Areas, *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear* (págs. 135-149). Rome.
- Sáenz, C., & Sepúlveda, E. (2001). Cactus pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, G., Galletti, L., García, V., Higuera, I., . . . & Varnero, M. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal* (Vol. 162). Roma: Boletín de servicios agrícolas de la FAO.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., Albornoz, N., & Pak, N. (1999). Vegetal soup cladodes (*Opuntia ficus indica*) with cactus dietary fiber addition. *10th World Congress on Food Science and technology*.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2018). *18 de septiembre, día nacional del nopal*. Obtenido de Delegación SADER Puebla.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021).
- SIAP. (2020). *Resumen por cultivo*. Puebla: gob.mx.
- Sinha, N., Sidhu, J., Barta, J., Wu, J., & Cano, M. (2012). *Handbook of fruits and fruit processing* (Segunda ed.). Iowa, USA: John Wiley & Sons. Obtenido de [https://books.google.com.mx/books?id=1qwuBXeczzgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=1qwuBXeczzgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Suaste, A., Rojas, R., Zavaleta, E., & Pérez, D. (2012). Detección molecular de fitoplasmas en nopal tunero (*Opuntia ficus-indica*) con síntomas de engrosamiento del cladodio. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 30(1), 72-80.
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E., & D'Aubetenz, R. (2015). Análisis de las características fisicoquímicas del fruto de *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, cosechadas en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de tecnología postcosecha*, 15(1), 69-74.

Villabona, A., Paz, I., & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*.

## 12. ANEXO

### Anexo 1. Obtención de pulpa de tuna

