



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**



**Aplicación de ultrasonido como método alternativo a la pasteurización de una salsa
enriquecida con cáscara de tuna (*Opuntia streptacantha*)**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA DE INGENIERO EN ALIMENTOS**

**Sustentante:
Alonso Morales Augusto Rutilo**

**Asesoras:
M en C. Selene Pascual Bustamante
Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez**

Cuatitlán Izcalli, Estado de México, a mayo del 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPITT de la UNAM “Caracterización de propiedades químicas, bioquímicas y tecno-funcionales de proteínas obtenidas por extracción asistida por ultrasonido a partir de fuentes vegetales no convencionales para su aplicación en el desarrollo de alimentos” con número de expediente IT202124 por el apoyo en el financiamiento de este trabajo



DEDICATORIAS



ÍNDICE

Índice de figuras	iii
Índice de tablas	v
Resumen	vi
Introducción	1
1. Antecedentes	3
1.1. Generalidades de la tuna	3
1.1.1. Morfología	3
1.1.2. Composición química	4
1.1.3. Características tecnológicas	5
1.1.4. Distribución, producción y comercialización	6
1.1.5. Industrialización y métodos tecnológicos de conservación de la tuna	7
1.2. Cáscara de tuna	8
1.2.1. Composición química	8
1.2.2. Antioxidantes	9
1.2.2.1. Mecanismos de acción	10
1.2.3. Fenoles	10
1.2.4. Betalaínas	11
1.2.4.1. Estabilidad de betalaínas	12
1.2.5. Fibra	12
1.3. Salsa	13
1.3.1. Consumo de salsa en México	14
1.3.2. Exportación	14
1.3.3. Legislación	15
1.3.4. Proceso de elaboración de salsas	17
1.3.4.1. Cuidados en el proceso	17
1.4. Métodos de conservación	18
1.4.1. Pasteurización	19
1.4.1.1. Tipos de pasteurización	19
1.4.2. Aplicación de tecnologías no térmicas	21
1.4.3. Ultrasonido	21
1.4.3.1. Mecanismos de acción	22
1.4.3.2. Ventajas y desventajas de la técnica de ultrasonido	23
1.4.3.3. Aplicación del ultrasonido en la inactivación de microorganismos	23
2. Objetivos	24
3. Materiales y métodos	25
3.1. Cuadro metodológico	26
3.2. Estudio de mercado	27
3.3. Material biológico	27
3.4. Tratamiento de las muestras	27
3.5. Formulación de la salsa a base de cáscara y pulpa de tuna	27
3.6. Evaluación sensorial	29



3.7.	Establecimiento de las condiciones para la pasteurización con ultrasonido	29
3.8.	Técnicas analíticas	31
3.8.1.	Determinación de cenizas	31
3.8.2.	Determinación de lípidos	31
3.8.3.	Determinación de proteínas	32
3.8.4.	Determinación de humedad	32
3.8.5.	Determinación de carbohidratos	32
3.8.6.	Determinación de fibra cruda	33
3.8.7.	Determinación de sólidos solubles	33
3.8.8.	Determinación de pH	33
3.8.9.	Determinación de capacidad antioxidante	34
3.8.10.	Determinación de fenoles totales	34
3.8.11.	Medición de color	34
3.8.12.	Parámetros microbiológicos	36
3.9	Estudio de vida de anaquel	37
4.	Resultados y discusión	38
4.1.	Estudio de mercado	38
4.2.	Caracterización de las cáscaras de tuna	42
4.2.1.	Composición química	42
4.2.2.	Contenido de Fenoles totales y capacidad antioxidante	43
4.3.	Análisis sensorial de la salsa de tuna	45
4.4.	Caracterización de la salsa (composición química y fisicoquímica)	46
4.5.	Determinación de las condiciones de pasteurización con ultrasonido	47
4.5.1.	Colorimetría	47
4.5.1.1.	Croma	47
4.5.1.2.	Tonalidad	48
4.5.2.	Contenido de fenoles	50
4.5.3.	Capacidad antioxidante	51
4.5.4.	Parámetros microbiológicos	52
4.6.	Estudio de vida de anaquel	53
4.6.1.	Contenido de fenoles totales	53
4.6.2.	Capacidad antioxidante	55
4.6.3.	Parámetros microbiológicos	58
4.6.4.	Colorimetría	59
4.6.4.1.	Variación de color	59
4.6.4.2.	Tonalidad	61
4.6.4.3.	Croma	63
4.6.5.	Cinética de reacción	65
5.	Conclusiones	67
6.	Bibliografía	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales variedades de tuna en México: 1. Tuna blanca, 2. Morada, 3. Xoconostle, 4. Pitaya, 5. Pitahaya, 6. Garambullo.	3
Figura 2. Principales Estados productores de tuna en México	6
Figura 3. Mapa tecnológico de la tuna	7
Figura 4. Estructura química principal del grupo fenol	10
Figura 5. Estructura química de las betalainas	11
Figura 6. Proceso general para la elaboración de salsas	18
Figura 7. Ventajas y desventajas de la aplicación del ultrasonido	23
Figura 8. Imagen representativa del estudio de mercado (introducción)	26
Figura 9. Diagrama de bloques del proceso I	28
Figura 10. Formato de la prueba sensorial hedónica utilizado	29
Figura 11. Tina de ultrasonido Cole-Parmer	30
Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la salsa de pulpa y cáscara de tuna II (General).	30
Figura 13. Horno de mufla de laboratorio	31
Figura 14. Representación gráfica del método Soxhlet	31
Figura 15. Representación gráfica del proceso de determinación de proteína cruda, digestión, destilación y titulación	32
Figura 16. Refractómetro digital Atago	33
Figura 17. Potenciómetro HINOTEK	34
Figura 18. Colorímetro Konica Minolta	34
Figura 19. Espacio de coordenadas rectangulares L, a, b	35
Figura 20. Respuestas sobre la frecuencia de consumo de tuna (A) y la variedad de consumo preferente (B)	38
Figura 21. Respuestas sobre el consumo de la tuna (A) y las propiedades y beneficios que aporta (B)	39
Figura 22. Respuestas sobre la frecuencia del consumo de salsas (A) y la idea de una salsa de pulpa y harina de cascara de tuna (B)	41
Figura 23. Respuestas sobre la variedad de tuna preferente en salsa (A) y el tipo envase del producto (B)	41
Figura 24. Respuestas sobre el costo de una salsa de tuna enriquecida con harina de cáscara	41
Figura 25. Contenido de fenoles totales en harinas de cáscara de tuna Cardona fresca y congelada	43
Figura 26. Evaluación de la capacidad antioxidante obtenida en harinas de cáscara de tuna Cardona fresca y congelada	44
Figura 27. Atributos sensoriales de salsa de tuna adicionada de diferentes porcentajes de harina de cáscara de tuna	45
Figura 28. Valores obtenidos del croma (*C) en las muestras de salsa pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones	47
Figura 29. Comparativo de los valores del croma (C*) con el tratamiento térmico y ultrasonido	48



Figura 30. Valores obtenidos de la tonalidad (H^*) en las muestras de salsas pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones	49
Figura 31. Comparativo de los valores de la tonalidad (H^*) entre el tratamiento térmico y ultrasonido	49
Figura 32. Valores obtenidos de fenoles totales, en las muestras de salsa pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones	50
Figura 33. Comparativo de fenoles totales, entre los tratamientos térmico y ultrasonido	51
Figura 34. Valores obtenidos de capacidad antioxidantes en las muestras de salsa pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones	51
Figura 35. Comparativo de la capacidad antioxidante, entre los tratamientos térmico y ultrasonido	52
Figura 36. Efecto del almacenamiento a las temperaturas 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C), sobre los fenoles totales en las muestras de salsa de pulpa y cascara de tuna, donde P: pasteurización térmica y U: ultrasonido	55
Figura 37. Efecto del almacenamiento a las temperaturas 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C) sobre la Capacidad Antioxidante en las muestras de salsa de pulpa y cascara de tuna. Dónde: P (pasteurización térmica) y U (ultrasonido)	57
Figura 38. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C) sobre la variación del color (ΔE) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P)	61
Figura 39. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C) sobre la tonalidad (H^o) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P)	62
Figura 40. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C), sobre el croma (C^*) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P)	64
Figura 41. Cinética de Arrhenius de la salsa de cáscara y pulpa de tuna con enfoque a los fenoles totales y tratamiento térmico	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la parte comestible de variedades de tuna (g /100 g)	4
Tabla 2. Características tecnológicas de pulpa de variedades de tuna (g /100 g)	5
Tabla 3. Composición química de la cáscara de tuna (Cardona) (g/100g)	8
Tabla 4. Contenido de betalaina en distintas partes del fruto de diversas especies de Opuntia (mg/100 g peso fresco)	11
Tabla 5. Factores que influyen en la estabilidad de betalaínas	12
Tabla 6. Preparaciones para salsas y salsas preparadas; condimentos y sazónadores.	15
Tabla 7. Especificaciones físicas y químicas de la salsa	16
Tabla 8. Tipos de pasteurización	20
Tabla 9. Principales mecanismos de acción del ultrasonido	22
Tabla 10. Formulación inicial de la salsa de pulpa y cascara de tuna Cardona	27
Tabla 11. Formulaciones establecidas de salsa con variación de la cantidad de harina de cáscara	28
Tabla 12. Composición de fibra cruda, cenizas y humedad, de la cáscara de tuna Cardona y verde	42
Tabla 13. Caracterización química y fisicoquímica de la salsa de pulpa y cáscara de tuna morada	46
Tabla 14. Análisis Microbiológico de las muestras de salsa pasteurizadas con el tratamiento térmico y con ultrasonido a diferentes condiciones	53
Tabla 15. Análisis Microbiológico de vida de anaquel, muestras pasteurizadas con tratamiento de ultrasonido	58
Tabla 16. Análisis Microbiológico de las muestras pasteurizadas con el tratamiento térmico	59



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo se enfoca en un aprovechamiento integral de todos los residuos que puede generar la tuna en la industria alimentaria, por medio de la elaboración de una salsa artesanal de pulpa y cáscara de tuna, evaluando su composición química, aspectos sensoriales y utilizando el ultrasonido como método alternativo a la pasteurización. El proyecto inicio con un estudio de mercado con el objetivo de determinar la aceptabilidad y características comerciales de una salsa artesanal adicionada de cáscara y pulpa de tuna por medio de una encuesta en línea a consumidores potenciales. Se continuó con la caracterización de 2 variedades de tuna, para determinar su potencial tecnológico y nutritivo y se comenzó evaluando el efecto de la congelación de las tunas por medio de un análisis químico: fibra cruda, cenizas y humedad, con las cáscaras de ambas variedades de tuna, seguido de un análisis: fenoles totales y capacidad antioxidante. Una vez seleccionada el tipo de tuna a utilizar en el proyecto se deshidrataron las cascaras de tuna y se aplicó un análisis sensorial en cual se variaron las concentraciones de harina de cáscara de tuna para su uso en la formulación de la salsa y se continuo con la caracterización de la misma con el objetivo de evaluar su aporte nutrimental, para después continuar con la selección de las condiciones de tiempo y temperatura de la técnica de ultrasonido por medio del análisis de: colorimetría, fenoles totales, capacidad antioxidante y microbiológico e implementando un diseño experimental (análisis de varianzas), haciendo una comparativa con la salsa pasteurizada. Los resultados del estudio indicaron que el 50 % de los encuestados encontraron la idea del producto muy atractiva, eligiendo la tuna roja y tuna verde como variedades preferentes. Los análisis desarrollados para la caracterización de ambas variedades de tuna indicaron valores sobresalientes de la tuna roja sobre la tuna verde en cuanto a: capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y fibra cruda, concluyendo trabajar con la tuna roja. Las condiciones ideales para el tratamiento con ultrasonido fueron: 30 minutos a 25°C. Finalmente se implementó un estudio de vida de anaquel, el cual se evaluó con el análisis microbiológico, colorimétrico, fenoles totales y capacidad antioxidante de las muestras de salsa pasteurizadas con el tratamiento de ultrasonido y térmico, posteriormente fueron almacenadas a las temperaturas de: 15, 25 y 35°C por un tiempo de 48 días. Los resultados señalan un tiempo de vida útil de 74 días con el tratamiento con ultrasonido y 56 días con el tratamiento térmico.



INTRODUCCIÓN

México es uno de los principales productores de tuna a nivel mundial, actualmente se cosechan en el país unas 352 mil toneladas anuales, lo que la vuelve una de las frutas más populares y representativas de México. Su composición química se basa principalmente de agua, fibra, carbohidratos, vitaminas y minerales, por lo general se utiliza como alimento para ser consumida en fresco y se industrializa comúnmente en jugos, mermeladas, frutas en almíbar, licores. También se utiliza para la extracción de: colorantes, mucilagos, pectinas, biomoléculas. Actualmente en México se generan unas 39,600 toneladas de residuos alimentarios al día, la mayoría proveniente del sector industrial (SEMARNAT, 2016). En ese sentido el uso y consumo de la tuna estaría generando una cantidad considerable de tales residuos, principalmente de semillas y cáscara, ya que su morfología promedio puede contemplar un entre un 40 y 50% de cáscara, que por lo regular es desechada, por lo que se estaría generando un desperdicio representativo de compuestos de importancia nutrimental, como pueden ser: fibra, vitaminas, minerales y antioxidantes (incluso siendo superior la composición de los mismos compuestos que en la pulpa), por ello, la idea de un aprovechamiento integral contra resta ese detalle. En el caso particular de la tuna púrpura (*Opuntia streptacantha*) es un fruto que se compone principalmente de fibra, polifenoles, ácidos grasos (polinsaturados), vitaminas, minerales, esteroides, aminoácidos y pigmentos. En este caso hablamos de las betacianinas y betaxantinas, correspondientes al grupo de las betalainas y que son consideradas como los compuestos que más contribuyen a la actividad antioxidante y responsables del color principal y característico del fruto (Ertekina *et al.*, 2006). En las últimas décadas se han estudiado las propiedades saludables de estos compuestos denominados bioactivos, entre las que se pueden destacar su actividad y prevención en problemas de tipo: cardiovascular, antimicrobiana, antidiabética, antiinflamatoria, y anticancerígena, por ello es reconocido su manejo y potencial en el sector farmacéutico (Abou-Elella *et al.*, 2014). Algunos de los compuestos mencionados, pueden ser denominados “termo sensibles”, que se definen como aquellos componentes que pueden cambiar su estructuración por efecto del calor, hasta un punto de dejar de ser funcionales. Por ello, la importancia del uso de técnicas o métodos alternativos a los procesos térmicos (como método de conservación), con el propósito de la reducción de la carga microbiana, como puede ser la pasteurización, resultaría oportuno. Como antes se mencionó la



industrialización de la tuna actualmente se basa en la elaboración de productos de consumo como: mermeladas, jugos, licores, conservas y salsas, dicha industrialización puede contemplar procesos térmicos, como la pasteurización para su conservación, sin embargo en ese sentido también se puede considerar el uso de las tecnologías no térmicas, que se han aplicado exitosamente, a varios niveles, de las cuales se pueden contemplar: altas presiones hidrostáticas, campos eléctricos pulsados y plasma frío, aunque también se están explorando otros métodos como la luz ultravioleta, los campos magnéticos oscilantes, ultrasonido y las microondas, como pretratamientos o en combinación con los métodos no térmicos principales, todo ello con objetivo de conservar la calidad nutricional y sensorial de los alimentos.

El ultrasonido, es una tecnología emergente y contemporánea, con diversos propósitos en el sector industrial. Es considerada una técnica no invasiva, cuya finalidad es el tema de control microbiológico y el de calidad, relacionado a todas aquellas propiedades sensoriales, organolépticas y retención de los compuestos bioactivos en los alimentos. Su implementación puede destacar como un método cuya función está relacionada con la inactivación microbiana, lo cual representaría un método alternativo al tratamiento de pasteurización térmica.

Actualmente en México se tiene preferencia hacia algunos condimentos, como las salsas, cuyo consumo es de lo más habitual, teniendo un reconocimiento internacional en el sector gastronómico. La salsa es aquel producto, cuyo proceso de elaboración incluye una etapa de reducción de carga microbiológica (Pasteurización) cuando se industrializa. Sin embargo como antes se mencionó, los propósitos térmicos pueden tener algunas desventajas, que se pueden contrarrestar con el uso de métodos alternativos, por lo que el objetivo del presente trabajo se relaciona con evaluar el efecto de la aplicación del ultrasonido como proceso alternativo a la pasteurización térmica, en el proceso de elaboración de una salsa a base de pulpa y cáscara de tuna 'Cardona' (con la idea de un aprovechamiento integral para potencializar su calidad nutritiva) sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales que permita obtener un producto inocuo de importancia nutricional



1. ANTECEDENTES

1.1. Generalidades de la tuna:

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) pertenece a la familia de las Cactáceas, se puede encontrar en diferentes formas, tamaños). También se encuentran frutos de diversos colores los cuales se deben a la combinación de pigmentos provenientes de las betalainas por ejemplo tunas color rojo-púrpura son betaninas y frutos de color amarillo-naranja esta dado por las indicaxantinas. La tuna se caracteriza por poseer una pulpa carnosa y jugosa, con una gran cantidad de semillas las cuales están entremezcladas con la pulpa y rodeada por una cáscara gruesa con pequeñas espinas (Feugang *et al.*, 2006). En México, existen más de 30 especies catalogadas de cactus y cada una da productos diferentes según las características de la planta y el suelo (SADER, 2021). Las especies de cactáceas de mayor producción o de más reconocimiento en el país son las presentadas en la figura 1.



Figura 1. Principales variedades de tuna en México: 1. Tuna blanca, 2. Morada, 3. Xoconostle, 4. Pitaya, 5. Pitahaya, 6. Garambullo.

1.1.1. Morfología

El fruto usualmente es turbinado, esférico, cilíndrico o elíptico, brillante, de amarillo pálido a rojo púrpura, menos frecuentemente en combinación de amarillo verde o amarillo-rojo, con un largo de 7 a 9 cm y de 5 a 6 cm de anchura y un peso aproximado de 86 a 146 g. La pulpa



se presenta del mismo color que la cáscara, siendo jugosa y de ligeramente a muy dulce (12.4-15.5 °Brix); y con semillas lenticuladas o elipsoidales, presentando de 188 a 335 por fruto (Manzur, 2017) Debido a su resistencia a las adversidades climáticas, es ampliamente producida en regiones áridas y semiáridas de México y el mundo (Castro *et al.*, 2009).

1.1.2. Composición química

La tuna, se compone principalmente por agua, seguido de componentes como: azúcares, vitaminas, minerales, antioxidantes, pigmentos (betalaínas, antocianinas, clorofilas, carotenoides) fibras insolubles como la celulosas-hemicelulosas y solubles, como las pectinas (tabla 1).

Tabla 1. Composición química de la parte comestible de variedades de tuna (g /100 g)

Parámetros	Tuna verde	Tuna púrpura	Xoconostle
Humedad	83.8	85.98	85.1
Proteína	0.82	0.38	0.82
Grasa	0.09	0.02	-
Fibra	0.23	0.05	-
Cenizas	0.44	0.32	0.26
Azúcares totales	14.06	13.25	14.8
Vitamina C (mg/100g)	20.33	20.0	24.1
B- caroteno (mg /100g)	0.53	-	2.28
Betanina (mg/100g)	-	100	-

Fuente: Sáenz y Sepúlveda et al. (1990)

El contenido de humedad puede variar debido a la temporada, temperatura y humedad de la región, lo cual afecta el crecimiento de la raíz y repercute directamente en la absorción de nutrientes de la planta (Badwal *et al.*, 1998); de la misma manera la variación en el contenido de cenizas es ocasionada por la edad del fruto. La cantidad de proteínas presenta valores bajos, así como y el porcentaje de lípidos y de fibra, en cuanto al valor calórico se reportan cifras promedio de 3.77 kcal/g; en el contenido de azúcares totales (glucosa, sacarosa



fructosa) hay grandes variaciones al respecto, lo cual depende de la temporada (Sáenz y Sepúlveda *et al.*, 1990).

1.1.3. Características tecnológicas

Además de la composición química y el valor nutritivo de la tuna, existen otras características que tienen una importante función durante el procesamiento; en este sentido la tuna presenta un desafío interesante. El alto valor de pH (5.3 – 7.1) de la mayoría de los nopales, salvo *Opuntia xocconostle* que presenta un pH menor a 3,5 (Mayorga *et al.*, 1990), clasifica al fruto dentro del grupo de baja acidez; el alto valor de pH y el alto contenido de sólidos solubles hacen que la pulpa de tuna sea un medio propicio para el desarrollo de microorganismos (Sepúlveda y Sáenz, 1990; Sáenz, 1999). Esto requiere un tratamiento térmico a por lo menos de 115.5 °C, para lograr un buen control de microorganismos.

Dentro de la pulpa de la tuna se pueden encontrar bajas concentraciones de pectina, sin embargo, a esta pectina se le atribuye parte de la viscosidad del fruto, por lo que se considera un elemento de valor para la producción de jugos y jaleas, sumando la gran diversidad de colores que hace de la tuna una opción atractiva para la industrialización (Sepúlveda y Sáenz, 1990). En la tabla 2, se pueden comparar las características tecnológicas de tres eco-tipos de tuna de diversos colores más comunes cultivados en México

Tabla 2. Características tecnológicas de pulpa de variedades de tuna (g /100 g)

Parámetro	Tuna verde	Tuna púrpura	Xocconostle
Pulpa y semillas	49.6	37.9	59.3
Cáscara	50.4	62.1	40.7
pH	6.37	5.85	6.1
Acidez (%)	0.06	0.04	0.043
•Brix	14.06	14.5	14.8
Sólidos totales	16.20	14.12	14.9
Pectina	0.17	---	0.04
Viscosidad	73.9	119.2	45.0

Fuente: Sáenz y Sepúlveda *et al.* (1990).



1.1.4. Distribución, producción y comercialización de la tuna:

México es uno de los principales productores de tuna a nivel mundial, actualmente cuenta con 20 mil productores, quienes cosechan 48 mil hectáreas y obtienen alrededor de 352 mil toneladas anuales. El 90 % de la producción nacional se consume dentro de nuestro país, el 10 % restante se exporta principalmente a Estados Unidos, Canadá y en menor proporción a Chile, Holanda, Alemania Bélgica y Francia. Durante el 2019 la exportación de tuna fue principalmente a Estados Unidos, Chile, Canadá, Emiratos Árabes Unidos, Francia, Japón y Reino Unido con más de 17 mil toneladas de tuna y xoconostle. En 2020 la exportación supero las 22 mil toneladas con un ingreso de 13 millones 094 mil 900 dólares. El mayor volumen de producción se concentra en los estados de México, Zacatecas, Puebla e Hidalgo, seguidos de: Morelos, ciudad de México y Jalisco (figura 2). La cosecha de la fruta se realiza en los meses que van de julio a septiembre, principalmente (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017).

La tuna se caracteriza por ser un cultivo de modalidad de temporal en un 97 % de su producción nacional. Durante 2020 la producción de tuna alcanzo 471 4277 toneladas aumentando 0.7 % de lo que reporte la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el 2019, destacando la producción en el Estado de México, Puebla, y Zacatecas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).



Figura 2. Principales Estados productores de tuna en México.

Fuente: Manzur (2017)

El Estado de México es el productor de tuna de mayor importancia en el país con un volumen promedio de 144,997 toneladas que representa el 39.4% de la producción nacional. Para el



año 2020, en el país se produjeron 471,427 toneladas; particularmente en la entidad federativa en donde se realiza el estudio que es el Estado de México, ésta aportó el 37.3% de la producción nacional. En lo que respecta a la superficie sembrada, el principal productor de tuna es el municipio de San Martín de las Pirámides que posee alrededor de 4,562 hectáreas en promedio cuya participación es de 28.3 % a nivel regional. Seguidos de los municipios: Otumba, Axapusco, Nopaltepec, Teotihuacán, Temascalapa, Acolman, Tezoyuca y Tlalnepantla de Baz (Representación Agricultura Estado de México, 2021)

1.1.5. Industrialización y métodos tecnológicos de conservación de la tuna

La tuna se consume principalmente en fresco, sin embargo, se llega a industrializar en jugos, mermeladas, frutas en almíbar y licores. Otros usos que se le pueden dar es la extracción de colorantes, mucílago, pectinas o algunos compuestos de interés, los cuales se han empleado en la medicina tradicional y en la industria farmacéutica ya que se ha encontrado diversas propiedades benéficas a la salud, así como el aporte nutricional del fruto. Los residuos obtenidos de la industrialización de la tuna se pueden llegar a emplear también como fertilizantes en el campo (Ertekina *et al.*, 2006). De acuerdo con la figura 3, se detalla el aprovechamiento industrial y tecnológico aplicado a las diferentes secciones de la tuna en la actualidad.

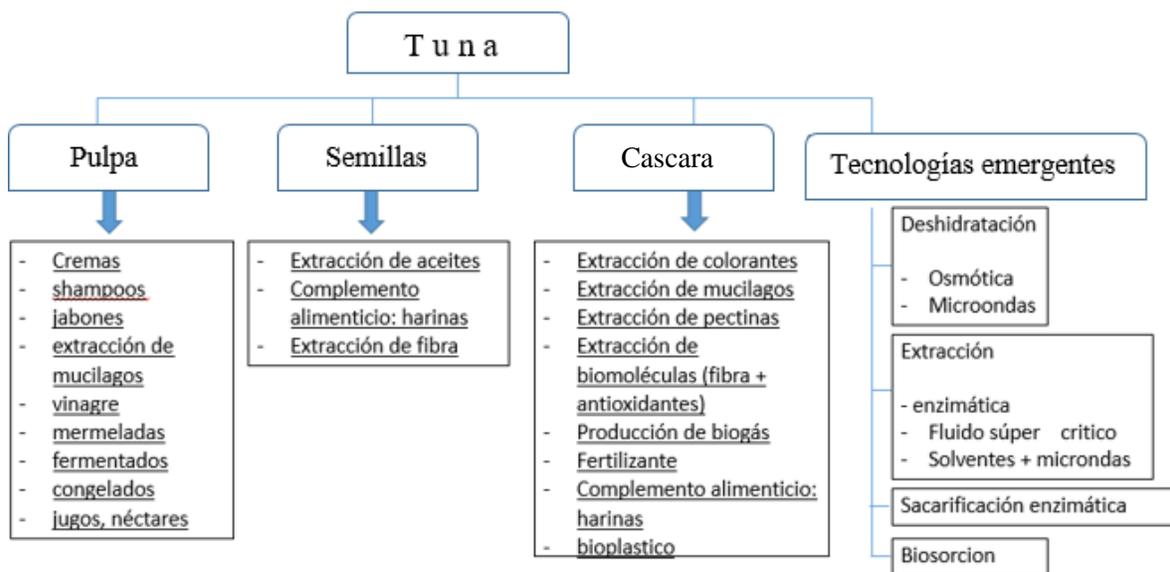


Figura 3. Mapa tecnológico de la tuna (Sáenz., 2004).



La tuna es una fuente importante de compuestos funcionales como los son fibra, mucílago, pigmentos, minerales y vitamina C, estos compuestos se encuentran distribuidos dentro del frutos, así como los cladodios. Por la presencia de dichos compuestos se ha reportado que la tuna presenta propiedades antioxidantes, lo que aumenta el potencial de aprovechamiento del fruto en el desarrollo de nuevos productos (Sáenz, 2004). Los métodos de conservación aplicados a la tuna se enfocan más en la maduración, el contenido de agua y de azúcares presentes en el fruto (estos últimos por facilitar la proliferación microbiana), por lo que los métodos de deshidratación, refrigeración, congelación y atmósferas controladas serían los de uso más convencional (Jiménez *et al.*, 2020).

1.2 Cáscara de tuna

Las porciones no comestibles de la tuna (semillas y cáscaras) han sido estudiadas para emplearlas como ingrediente adicional de productos elaborados a partir de la pulpa, siendo la cáscara la fracción que aporta mejor textura y sabor que las semillas (Cerezal *et al.*, 2005). En los últimos años la producción y consumo de tuna ha ido en aumento, por lo que las cáscaras deben ser evaluadas para estudiar y conocer su potencial uso en la industria alimentaria, aportando propiedades nutricionales importantes.

1.2.1 Composición de la cáscara de tuna.

La composición de la cáscara de tuna (Tabla 3) presenta una mayor cantidad, lípidos (monoinsaturados) y el doble de fibra dietética que lo reportado en la pulpa, con mayores concentraciones de minerales como calcio, magnesio, potasio, zinc y manganeso, y menores cantidades de sodio que la pulpa (Salim *et al.*, 2009).

Tabla 3. Composición química de la cáscara de tuna (Cardona) (g/100g)

Parámetro	Composición (%)
<i>Humedad</i>	90.33
<i>Cenizas</i>	3.05
<i>Proteínas</i>	1.45
<i>Lípidos</i>	1.06
<i>Carbohidratos (base seca)</i>	27.6
<i>Fibra (Base seca)</i>	40.8

Fuente: Salim et al. (2009).



1.2.2. Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias químicas que impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, interactuando más rápido con los radicales libres y las especies reactivas del oxígeno, tanto en medios hidrofílicos e hidrofóbicos (Zamora *et al.*, 2007).

Estos compuestos se pueden clasificar en dos tipos que son: a). enzimáticos o endógenos y b). no enzimáticos o exógenos, los primeros son un complejo de defensa en donde se encuentran enzimas como catalasa, dismutasa, glutatión reductasa, entre otras, mientras que el segundo grupo son compuestos presentes en los alimentos, como vitaminas, flavonoides, carotenoides y minerales (Delgado, 2010).

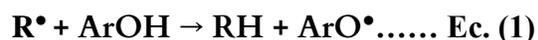
Como parte del proceso natural del organismo en el ser humano, se generan procesos oxidativos que pueden provocar alteraciones fisiológicas, los antioxidantes de naturaleza endógena ayudan reducir el estrés oxidativo, sin embargo, el efecto puede ir disminuyendo con el tiempo por lo que es necesario la reposición de estos antioxidantes mediante la ingesta de alimentos (Zamora *et al.*, 2007).

La tuna se destaca por tener una alta concentración de compuestos antioxidantes como son la betaninas y betaxantinas, ácido ascórbico y compuestos fenólicos), siendo una fuente importante de vitamina E y K, además de betacarotenos y esteroides lo que le da a la tuna potencial como suplemento dietético con efectos benéficos para la salud (Koubaa *et al.*, 2016; Allegra *et al.*, 2007).

La tuna es rica en vitamina C la cual se compone principalmente de ácido L-ascórbico, este compuesto tiene dentro de sus propiedades el ser un antioxidante, ya que puede destruir los radicales libres tóxicos (hidroxilo y perhidroxilo) que resultan de los productos metabólicos del oxígeno, y en sinergia con los compuestos fenólicos actúan como agentes reductores protegiendo a los tejidos contra el estrés oxidativo (Scalbert y Williamson, 2000).

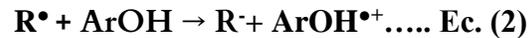
1.2.2.1 Mecanismo de acción

Los antioxidantes ejercen su función mediante dos mecanismos, el primero se conoce como transferencia de átomos de hidrógeno, donde el radical libre elimina un átomo de hidrógeno del antioxidante (ArOH) (Leopoldini *et al.*, 2004) que se convierte en un radical por la siguiente reacción:





En el segundo mecanismo se lleva a cabo la transferencia de un electrón, donde el antioxidante puede donar un electrón al radical libre, convirtiéndose así mismo en un catión radical (Leopoldini *et al.*, 2004):



1.2.3. Fenoles.

Los fenoles o compuestos fenólicos son compuestos orgánicos cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido al menos a un grupo funcional hidroxilo, Las clases principales de polifenoles se definen según la naturaleza de su esqueleto de carbono: a) ácidos fenólicos, b) flavonoides y los menos habituales c) estilbenos y d) lignanos (Scalbert y Williamson, 2000). Los ácidos fenólicos (Figura 4) son abundantes en los alimentos y existe gran interés debido a sus propiedades antioxidantes, su participación en procesos sensoriales y aplicaciones benéficas en la salud humana, este último como tratamiento y prevención de algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras patologías de carácter inflamatorio (Porrás-Loaiza y López-Malo, 2009).



Figura 4. Estructura química principal del grupo fenol.

1.2.4. Betalaínas.

Los pigmentos presentes en los frutos de los nopales, como las betalaínas, se destacan por su poder antioxidante (Figura 5). El poder antioxidante de los betacarotenos y flavonoides es bien conocido, pero el de las betalaínas ha comenzado a ser estudiado recientemente (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010) por lo que su consumo para evitar el envejecimiento de los tejidos podría competir con el que se busca en otros vegetales como la naranja o la uva roja. Las betalaínas (figura 5) están compuestas en un 75-95 % de betaninas las cuales son color rojo-purpura, el resto de los pigmentos son principalmente betaxantinas las cuales son de color amarillo. Estos compuestos están presentes en flores y frutos, como el betabel, la tuna



roja y algunos hongos (Koubaa *et al.*, 2016), dependiendo de cómo se entrelacen los componentes en la estructura principal pueden aparecer como betaninas o betaxantinas, la primera cuando el grupo es 3,4-dihidroxifenilalanina que puede o no ser glicosilada, y la segunda si los grupos asociados de conjugación son aminoácidos o las aminas derivadas (Allegra *et al.*, 2007). En las últimas décadas se han estudiado las propiedades saludables de estos compuestos, entre las que se pueden destacar su actividad antioxidante, antidiabética, antiinflamatoria y anticancerígena (Kanner *et al.*, 2001; Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013; Gandía-Herrero *et al.*, 2013; Kapadia y Subba, 2013; Mikołajczyk-Bator y Pawlak, 2016).

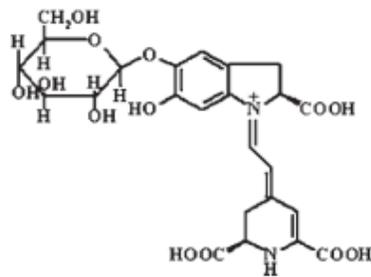


Figura 5. Estructura química de las betalaínas
Fuente: Allegra *et al.* (2007).

La betanina, también llamada «rojo-betarraga», es aceptada entre los pigmentos naturales y utilizada principalmente para colorear alimentos que no son tratados térmicamente, como yogur, helados y jarabes. Se encuentra presente tanto en la cáscara como en la pulpa de los frutos y su concentración varía de acuerdo con la especie (Tabla 4), Por lo que es de interés estudiar y seleccionar las especies que concentran la mayor cantidad del pigmento (Sáenz y Sepúlveda, 1990) para su uso funcional, tecnológico y/o aporte nutricional.

Tabla 4. Contenido de betalainas en distintas partes del fruto de diversas especies de *Opuntia*
(mg/100 g peso fresco)

<i>Especie</i>	<i>Color</i>	<i>Cáscara</i>	<i>Pulpa</i>
<i>Opuntia sp3</i>	Púrpura	72.0	49.3
<i>Opuntia robusto-robusto</i>	Púrpura	40.5	86.1
<i>Opuntia sp1</i>	Púrpura	118.3	126.8
<i>Opuntia sp2</i>	Púrpura	44.8	27.6
<i>Opuntia curvispina</i>	Roja	112.4	99
<i>Opuntia decumbers</i>	Roja	22.1	37.3

Fuente: Sáenz y Sepúlveda *et al.* (1990)



1.2.4.1 Estabilidad de betalaínas

Las betalaínas por naturaleza son inestables en presencia de luz, temperatura, pH, actividad enzimática, y presencia o ausencia de oxígeno y metales (Flores-Mancha *et al.*, 2019). Debido a la baja estabilidad, que conlleva la pérdida de sus propiedades saludables, se ha restringido su uso como ingredientes en la formulación de alimentos (Serris y Biliaderis, 2001; Herbach *et al.*, 2006). Por consiguiente, resalta la importancia de estudiar y comprender cómo los factores intrínsecos de un alimento, o bien las condiciones de empaque y/o almacenamiento benefician o afectan la estabilidad de las betalaínas (Tabla 5).

Tabla 5. Factores que influyen en la estabilidad de betalaínas.

Mayor estabilidad	Menor estabilidad
<i>Alto grado del pigmento</i>	Presencia de H ₂ O ₂
<i>Alto grado de glucosilación</i>	Cationes de metal
<i>Bajo aw</i>	Presencia de luz
<i>pH: 3 - 7</i>	Presencia de oxígeno
<i>Antioxidantes</i>	Enzimas degradantes
<i>Baja temperatura</i>	pH: <3 – 7>
<i>Ausencia de luz</i>	Alto aw
<i>Ausencia de oxígeno</i>	Bajo grado de glucosilación

Fuente: Adaptado de Herbach et al. (2006) y Esatbeyoglu et al. (2015).

1.2.5. Fibra

La fibra es un conjunto de polímeros de carbohidratos no digeribles, provenientes de las paredes de células vegetales, que pasan a través del intestino delgado sin cambios, pero que se fermentan en el intestino grueso (Grey *et al.*, 2006). El consumo de dietas ricas en FD (>20g/día) puede reducir el riesgo de enfermedad cardiovascular. Por cada 10 g/día de incremento en el consumo por fibra total habría una reducción del riesgo de episodios coronarios en un 14 %. El consumo regular de entre 20-30 g/día de fibra total reduciría del 12 al 20 % el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Quevedo *et al.*, 2006).

La fibra dietética se clasifica como fibra a) soluble y b) insoluble de acuerdo con la solubilidad de las sustancias que la componen y su facilidad en fermentación por la microbiota, teniendo que la fibra soluble es aquella que es fermentable como lo son las pectinas, mucílagos, inulina y almidón, mientras que la fibra insoluble es la no fermentable,



la cual es desechada prácticamente íntegra en las heces la cual es principalmente hemicelulosas, celulosas y lignina (García, 2003). Las fibras insolubles principalmente poseen gran capacidad para retener moléculas (propiedades funcionales o tecnológicas), favoreciendo la función intestinal (Laurenti *et al.*, 2003). Dentro de los productos vegetales la mayor concentración de fibra insoluble se encuentra en las cáscaras, algunos productos pueden llegar a presentar concentraciones de 43 a 45 %, de la cual del 35 al 33 % es fibra insoluble y del 9 al 10 % fibra soluble, siendo aproximadamente el 20.8 % hemicelulosa, el 71.4 celulosa, el 7.71 % pectina y el 0.06 % lignina, lo que representa aproximadamente el doble de lo que aporta la pulpa (Calizaya *et al.*, 2023).

Algunos antioxidantes como los polifenoles pueden estar asociados a la fracción insoluble de la fibra, y los polifenoles de menor peso molecular, así como los flavonoides, ácidos fenólicos o proantocianidinas, a la fibra soluble (Saura-Calixto *et al.*, 2007). La tuna por sí misma es una fuente importante de fibra, pues se ha reportado que en el fruto completo incluye la pulpa, semillas y cáscara se encuentra hasta un 1.32 % de fibra dietética (Chiteva *et al.*, 2005). Además, las investigaciones realizadas en las cáscaras de tuna recalcan su importancia como una fuente prometedora de antioxidantes y fibra, que, al estar presentes en los residuos, no son aprovechados por la industria alimentaria o farmacéutica (Koubaa *et al.*, 2016).

Tomando en cuenta lo anterior, en una tuna de 163 g (peso promedio de una tuna púrpura), se obtendrían aproximadamente 76.4 g de cáscara (46.9 % del peso del fruto), dando 32 g de fibra total (Jiménez – Aguilar *et al.*, 2015) , que permitirían cubrir más de la ingesta diaria recomendada (IDR) de fibra para una persona adulta, que es de 25 g/día), por lo que los desechos de la tuna son considerados una fuente de fibra de buena calidad, además de tener en su matriz gran cantidad de compuestos antioxidantes que se encuentran unidos a la estructura de la fibra (Bensadon *et al.*, 2010).

1.3. SALSA

En gastronomía se denomina salsa a una mezcla líquida de ingredientes fríos o calientes que tienen por objeto acompañar a un plato. La consistencia líquida o semilíquida de una salsa puede cubrir una muy amplia gama que puede ir desde el puré a la más líquida de un caldo, Algunos autores definen la salsa como un condimento líquido para los alimentos (Montagne,



1938). Las salsas pueden clasificarse por muchas categorías: por temperatura (frías o calientes), por sabor (dulces, picantes, agrias, etc.), por contenido (emulsionantes, ligazón, etc.), por estabilidad, etc. A pesar de todo ello, en la actualidad las salsas se venden en conserva y se encuentran disponibles en cualquier supermercado (McGee, 2004).

1.3.1. Consumo de salsas en México

La palabra salsa es empleada en diversos idiomas para identificar los productos con condimentación picante y que son de origen mexicano, las cuales se caracterizan por el uso de hierbas y especias lo que la diferencia de los productos categorizados como aderezos (Ochoa, 2019). En México se ha registrado durante 2018 un consumo per cápita en el país de 1.5 kilos promedio. Las salsas consumidas se prepararon principalmente en casa con un promedio de 2 veces por semana, mientras que alrededor del 39 % del consumo se realizó a través de salsas envasadas tipo caseras.

Durante 2017 el valor del mercado de las salsas y condimentos fue de alrededor de 3 mil 21 millones de dólares de acuerdo con lo reportado por Euro Monitor Internacional, proyectando que esta cifra puede incrementar en los próximos años. Las principales empresas productoras de salsa en México son La Costeña, McCormick, Herdez y Unilever, comercializando alrededor de 20 tipos de salsas distintas, las más solicitadas por los compradores mexicanos son la de chipotle, mexicana, chile fresco, verde y casera. Dentro de las estadísticas de venta se ha observado que el punto más alto de venta son los fines de semana, principalmente el domingo, siendo las tiendas de autoservicios, bodegas y tiendas de la esquina los principales puntos de venta (Ochoa, 2019).

1.3.2. Exportación

De acuerdo con la Tabla 6, en el mundo el país que más exporta en cuestión de preparaciones para salsa y salsas preparadas, se encuentra Estados Unidos, seguido de países como China, Italia, Países Bajos y Alemania, como los 5 primeros. México, uno de los principales países caracterizado por su consumo e industrialización, ocupa el puesto número 13, en ese rubro (International Trade center, ITC.).



Tabla 6. Preparaciones para salsas y salsas preparadas; condimentos y sazoadores.

(Unidad: dólar americano miles)

Exportadores	Valor exportado en 2017	Valor exportado en 2018	Valor exportado en 2019	Valor exportado en 2020	Valor exportado en 2021
<i>Mundo</i>	12276015	13304701	13746844	14908998	16807245
<i>Estados Unidos de América</i>	1732357	1728477	1776179	1696507	1930733
<i>China</i>	1073164	1213065	1300278	1578307	1857634
<i>Italia</i>	807452	924547	1007665	1273313	1445678
<i>Países Bajos</i>	797889	948500	938022	1065509	1261697
<i>Alemania</i>	899233	976833	955641	968130	1048494
<i>Tailandia</i>	652216	735196	784591	841110	933049
<i>Bélgica</i>	422838	465468	480157	502131	705920
<i>Japón</i>	358027	397528	415108	449570	521670
<i>Polonia</i>	323345	392717	401480	432607	504020
<i>Canadá</i>	296856	321745	325920	380941	465393
<i>Reino Unido</i>	427712	474532	466476	460561	465218
<i>España</i>	327622	357053	349201	395077	455905
<i>México</i>	337139	412676	393906	424070	443379

Fuente: International Trade center, ITC.

1.3.3 Legislación

La **NMX-F-377-1986**. Alimentos. Regionales. Salsa Picante Envasada. Sería la normatividad aplicada a las características del producto. Especificaciones:

Sensoriales

Color: Característico de la variedad de chile o mezcla de chiles empleados.

Olor: Característico de la variedad de chiles o mezcla de chiles empleados.

Sabor: Picante característico de la variedad de chiles o mezcla de chiles empleados.

Consistencia: Fluida, semifluida o viscosa.

**Físicas y químicas:***Tabla 7. Especificaciones físicas y químicas de la salsa*

Especificaciones	Mínimo	Máximo
pH	2.8	4
Sólidos solubles (°Brix)	4.0	30.0
Sólidos totales	4.0	-
% de acidez	1.0	4.5
% de cloruros (NaCl)	-	4.5

Microbiológicas

La norma **NMX-F-377-1986** establece que el producto objeto de esta norma no debe contener microorganismos patógenos, toxinas microbianas, que puedan afectar la salud del consumidor o provocar deterioro del producto, según las disposiciones que establezca la Secretaría de salud, en cuanto a características microbiológicas en el alimento.

Sin embargo, se puede contrastar con la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. Bienes y servicios. Preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Especificaciones sanitarias, Para establecer los límites permisibles específicos en el alimento.

Límites microbiológicos básicos máximos permisibles en salsas:

- Cuenta total de mesofílicos aerobios 1,000 UFC/g
- Coliformes fecales <3 NMP/g
- Ningún alimento preparado contendrá *Salmonella*

1.3.4. Proceso de elaboración de salsas

La preparación de salsas, de cualquier naturaleza no reviste mayor problema, pues la formulación se consigna en una receta, de manera que, si se sigue el diagrama de flujos, se puede llegar fácilmente a los resultados esperados. La formulación de la salsa depende de varios factores, principalmente el gusto del consumidor, se considera que para su elaboración se emplean diversidad de ingredientes principalmente los chiles, tomate y especias, sin embargo, se pueden adicionar algunos complementos como son granos y semillas, inclusive algunos frutos, lo cual dependerá del gusto y sello de cada consumidor.

Es importante que al introducir una nueva salsa al mercado se consideren los gustos de los consumidores, tomando en cuenta los productos ya en el mercado y que no presentes sabores



muy pronunciados, como son los dulces o los salados, ya que estos pueden alterar la percepción del consumidor. Cuando se diseña un nuevo producto se deben tomar en cuenta el promedio de los consumidores ya que es un factor que influye sobre manera en la percepción del producto. Uno de los factores que se deben tener principalmente en cuenta en este tipo de producto es el rendimiento industrial de los diversos ingredientes o materias primas involucrados (Figuerola, 1997).

1.3.4.1. Cuidados del proceso

El precio de las salsas depende directamente de la calidad de los ingredientes, lo cual se deriva de los cuidados que se le dan a la materia prima durante la postcosecha y preproceso. Al existir una gran variedad de salsas en el mercado la calidad de los productos está comprometida con la materia prima que se emplea. Otro aspecto de relevancia durante el proceso de elaboración de las salsas es en la precisión en el manejo de los pesos. Ya que, si existe diferencias en los pesos medidos de los principales ingredientes, se obtendrán diferentes formulaciones lo que se ve reflejado en las características organolépticas del producto, así como los aportes nutricionales reportados en la etiqueta. Esto es muy común ya que hay errores como medir los pesos con diferentes instrumentos, con precisiones diferentes durante todo el proceso. La diferencia de precisión de los instrumentos de medición puede significar un gran problema por apreciaciones erróneas derivadas de comparaciones imposibles de realizar (Figuerola, 1997).

Como todos los procesos se deben cuantificar y registrar, es de gran importancia tener uniformidad de criterio en las evaluaciones; en caso contrario, las evaluaciones y sus resultados conducirán a errores mayores (Figuerola, 1997).

De igual manera las especificaciones que se pueden establecer para su elaboración industrial sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto se utilicen materias primas e ingredientes de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de colaboración, se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas que aseguren que el producto es apto para el consumo humano (NMX-F-377-1986).

Como ya se ha mencionado a nivel comercial podemos encontrar una gran diversidad de salsas, por lo que el proceso de elaboración puede variar entre cada producto, sin embargo,



se puede establecer un proceso general, el cual se detalla a continuación en la Figura 6 (Brito, 2019):



Figura 6. Proceso general para la elaboración de salsas
Fuente: Elaboración a partir de Brito (2019)

1.4. Métodos de conservación

Conservar los alimentos consiste en bloquear la acción de los agentes (microorganismos o enzimas) que pueden alterar sus características originarias (aspecto, olor y sabor). Estos agentes pueden ser ajenos a los alimentos (microorganismos del entorno como bacterias, mohos y levaduras) o estar en su interior, como las enzimas naturales presentes en ellos. Desde hace más de diez mil años existen métodos de conservación que se han ido perfeccionando: salazón, curado, ahumado, escabechado, refrigeración y la aplicación del calor mediante el cocinado de los alimentos (Berastegui, 2010).

El gran desarrollo de la industria conservera, la posibilidad de pasteurizar, liofilizar o ultracongelar ha supuesto un notable avance en lo que se refiere a la conservación. Por otra parte, los métodos de conservación hoy cumplen doble función, mantener el alimento en buenas condiciones y aportar características organolépticas y sensoriales muy apreciables. (Berastegui, 2010).



1.4.1. Pasteurización

Uno de los procesos de conservación de alimentos más empleados es la pasteurización, la cual consiste en someter al alimento a un calentamiento a altas temperaturas por tiempos determinados, seguido de un enfriamiento rápido. Una vez aplicado el tratamiento los alimentos se envasan y sellan herméticamente para prevenir cualquier posible contaminación. La pasteurización tiene como objetivo el reducir la presencia de agentes patógenos que pueden llegar a estar presentes en los alimentos. Ya que el alimento es sometido a altas temperaturas (entre 60 – 80 °C) se puede reducir de manera efectiva la presencia de microorganismos ya que la mayoría de estos son susceptibles a estas temperaturas. Cabe mencionar que el objetivo de la pasteurización es la reducción de la carga microbiana, no su completa eliminación (Figueiras, 2021).

Las condiciones de pasteurización, así como la prolongación de la vida útil están relacionadas con el pH del alimento. En productos con pH superior a 4.5 la pasteurización destruye bacterias patógenas. En alimentos con pH menor a 4.5 la pasteurización busca eliminar los microorganismos causantes de la alteración del producto, así como la inactivación de enzimas.

La capacidad calorífica puede afectar también el rendimiento de la pasteurización. Aquellos alimentos que necesitan más energía para aumentar su temperatura necesitan un proceso más severo que aquellos que aumentan de forma rápida la temperatura. La forma del alimento también puede llegar a afectar el proceso de pasteurización, por ejemplo, alimentos con forma esférica requieren de mayor tiempo o temperatura de proceso (Laborde, 1998).

1.4.1.1. Tipos de pasteurización

Existen tres métodos de pasteurización que se aplican actualmente y se diferencian tanto por la temperatura utilizada, como también por el tiempo y forma de proceso industrial en que se usa (Hernández-Sánchez, 2015; Laborde, 1998). En la tabla 8 se mencionan los diferentes tipos de pasteurización.

*Tabla 8. Tipos de pasteurización*

Método	Características
VAT	Consiste en calentar los líquidos hasta una temperatura de aproximadamente 63 °C y luego dejarla enfriar durante 30 minutos dentro del mismo recipiente. Al terminar, se envasa de inmediato para prevenir contaminación.
HTST	Los líquidos se calientan rápidamente a entre 71 °C y 89 °C, dependiendo de su tipo, por sólo 15 segundos. Es el más utilizado por la industria, ya que es rápido y se puede trabajar con grandes volúmenes.
UHT	También conocido como la ultra pasteurización, consiste en someter a los líquidos a una temperatura de 137 °C por sólo 2 segundos, para luego enfriar rápidamente. La UHT tiene una variante conocida como aséptica, donde las temperaturas pueden llegar a los 150 °C por 4 segundos, para luego esperar que se enfríe a temperatura ambiente.

Fuente: Hernández – Sánchez (2015); Laborde (1998)

También pueden existir otras denominaciones, tales como:

- Pasteurización alta: T: (71.1 °C) en cortos periodos de tiempo (15min)
- Pasteurización baja: T: (62 °C) y largos periodos de tiempo (30 min.)

Los procesos térmicos tienen la ventaja de generar productos microbiológicamente seguros, sin embargo, también se llevan a cabo cambios en las características sensoriales (reacciones de Maillard, caramelización, sabor, etc.) y pérdida de nutrientes (lisina, vitaminas B1 y B12 etc.) entre otros (Lewis & Deeth, 2009).

1.4.2. Aplicación de tecnologías no térmicas

En la actualidad se vislumbra un futuro muy prometedor para las llamadas tecnologías no térmicas, las cuales pueden también mejorar las propiedades organolépticas y de calidad, pero, además, tienen en general una mayor eficiencia, ventajas desde el punto de vista sensorial en el producto final. La aplicación de tecnologías no térmicas puede ayudar a mejorar la retención de compuestos bioactivos, a regular la actividad enzimática y son una alternativa para el desarrollo de nuevos productos (Stoica *et al.*, 2013), también se han



aplicado algunas de estas tecnologías para reducir la alergenicidad de leche y algunos derivados. Algunos ejemplos de estas tecnologías son altas presiones hidrostáticas, campos eléctricos pulsados y plasma frío, aunque también se están explorando otros métodos como la luz ultravioleta, los campos magnéticos oscilantes, ultrasonido y microondas, estas últimas pueden emplearse también como pretratamiento para aumentar efectividad en el proceso (Hernández – Sánchez, 2015).

1.4.3 Ultrasonido

Ultrasonido es el nombre que reciben las ondas de sonido con frecuencias mayores a aquellas que pueden ser detectadas por el oído humano. El ultrasonido maneja ondas con frecuencias entre 16KHz y 20MHz, las cuales al ser aplicadas pueden llegar hasta 5MHz en gases o hasta 500MHz en líquidos y sólidos (Bermúdez-Aguirre *et al.*, 2008). El ultrasonido es una tecnología emergente que, recientemente, ha sido estudiada para propósitos de inactivación microbiana y enzimática, pero que durante años ha sido objeto de investigación en la industria de alimentos, especialmente, en el tema de control de calidad. Se ha demostrado que puede ser utilizado para la evaluación de textura, composición y viscosidad de alimentos, para el desarrollo de técnicas de análisis no invasivas, entre otras aplicaciones (Bosiljkov, 2009).

Adicionalmente, el ultrasonido, por su capacidad para destruir paredes y membranas biológicas, se considera una tecnología promisoría tanto para la destrucción de microorganismos a temperaturas de procesamiento inferiores a las utilizadas durante la esterilización, como para acompañar otras tecnologías de proceso como lo son la extracción, las altas presiones, la pasteurización, entre otras (Demirdôven, 2009).

Dependiendo de los rangos de frecuencias utilizados, el ultrasonido se puede dividir en dos tipos: ultrasonido de baja intensidad y ultrasonido de alta intensidad.

- **Alta intensidad** (18-100 kHz): Procesamiento o estabilización de alimentos; rompimiento celular, cambios estructurales y físico químicos, homogeneización de emulsiones (Delgado, 2011).



- **Baja intensidad** (>100 kHz): Detección de materia extraña, determinación de la composición de un alimento, determinación de tamaños de partícula. (Parzanese, 2012)

1.4.3.1. Mecanismos de acción del ultrasonido

El mecanismo de acción del ultrasonido de alta intensidad ayuda a inactivar los microorganismos, ya que tiene la capacidad de causar la muerte celular, esta actividad se le atribuye al fenómeno de cavitación, el calentamiento localizado y a la formación de radicales libres, así como el aumento de la temperatura y la presión. El ultrasonido tiene dos mecanismos de acción el térmico (generación de energía calórica o mecánica) y el no térmico (cavitación, rarefacción, formación de radicales libres, choques micro-mecánicos y fuerza de radiación) (Earnshaw, 1995., Ashokkumar *et al.*, 2008) como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Principales mecanismos de acción del ultrasonido.

TEORIA	MECANISMO	APLICACIÓN
<i>Cavitación</i>	Remoción mecánica por irrupción o atrapamiento de bacterias.	Procesos de desinfección, lisis celular e inactivación enzimática.
<i>Formación de radicales libres</i>	Sonólisis del agua puede producir iones (OH-) y (H+) y peróxido de hidrógeno	Inactivación microbiana y enzimática
<i>Choques micro-mecánicos</i>	Disrupción de las células y disminución del grosor de las paredes celulares	Lisis celular, inactivación enzimática y efecto antimicrobiano
<i>Generación de energía calórica y mecánica</i>	Propagación de la onda; decrece con la distancia al ser aplicado en material atenuante. Esta porción que es absorbida se traduce en calor	Inactivación microbiana

Fuente: Delgado (2011)

Existen diferentes ventajas y desventajas del ultrasonido y se presentan en la figura 7.

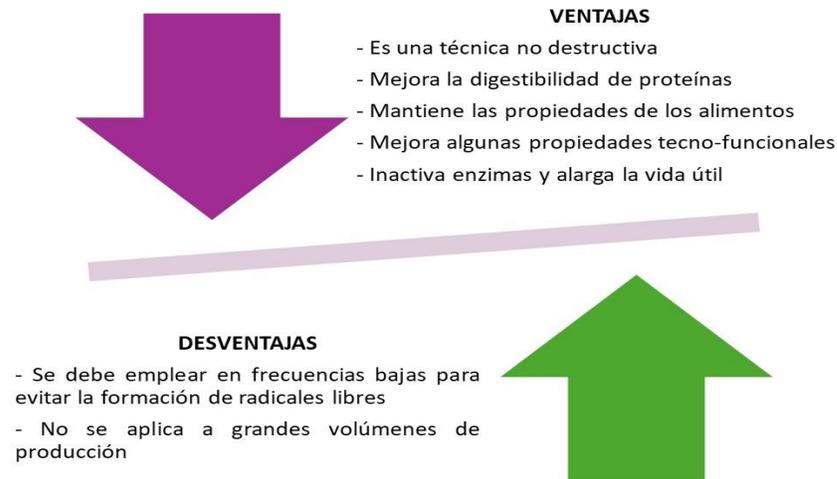


Figura 7. Ventajas y desventajas de la aplicación del ultrasonido

Fuente: delgado (2011)

1.4.3.2 Aplicación del ultrasonido en la inactivación de microorganismos

El mecanismo de acción del ultrasonido para la inactivación de microorganismos está relacionado con el proceso de cavitación, el cual afecta la membrana celular y procesos homeostáticos, lo que altera la integridad de la célula. El ultrasonido en un proceso estandarizado puede llegar a presentar hasta 100 % de efectividad para la inactivación de microorganismos, la cavitación intracelular provoca daños estructurales y funcionales en la célula hasta generar lisis celular (Feng *et al.*, 2008).

Los tratamientos de ultrasonido durante 300 segundos a potencias de 24,6 W y 42,0 W reducen la concentración de *E. coli* en 1.0 y 2.0 ciclos logarítmicos, respectivamente (Hunter *et al.*, 2008).



2. OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluar el efecto de la aplicación de ultrasonido como proceso alternativo a la pasteurización en el proceso de elaboración de una salsa a base de pulpa y cáscara de tuna 'Cardona' sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales que permita obtener un producto inocuo y con alto valor nutrimental.

Objetivo particular 1: Elaborar un estudio de mercado de salsa adicionada con cáscara de tuna 'Cardona' por medio de una encuesta en línea a consumidores potenciales, para la determinación de la aceptabilidad y características comerciales del producto.

Objetivo particular 2: Caracterizar los principales componentes de las pieles de tuna roja y verde, por medio del análisis químico (fibra, humedad, minerales, fenoles y capacidad antioxidante) para la evaluación de su potencial tecnológico para su adición en una salsa.

Objetivo particular 3: Establecer la formulación de una salsa, variando la proporción de cáscara y pulpa de tuna, evaluando la aceptabilidad a partir de una prueba sensorial hedónica que permita seleccionar la formulación con mayor aceptación.

Objetivo particular 4: Determinar la composición química de la salsa a base de cáscara y pulpa de tuna, evaluando los parámetros químicos (carbohidratos, fibra cruda, proteínas, minerales, lípidos, humedad) y fisicoquímico (pH, % de acidez, color, sólidos solubles), para establecer el aporte nutrimental del producto.

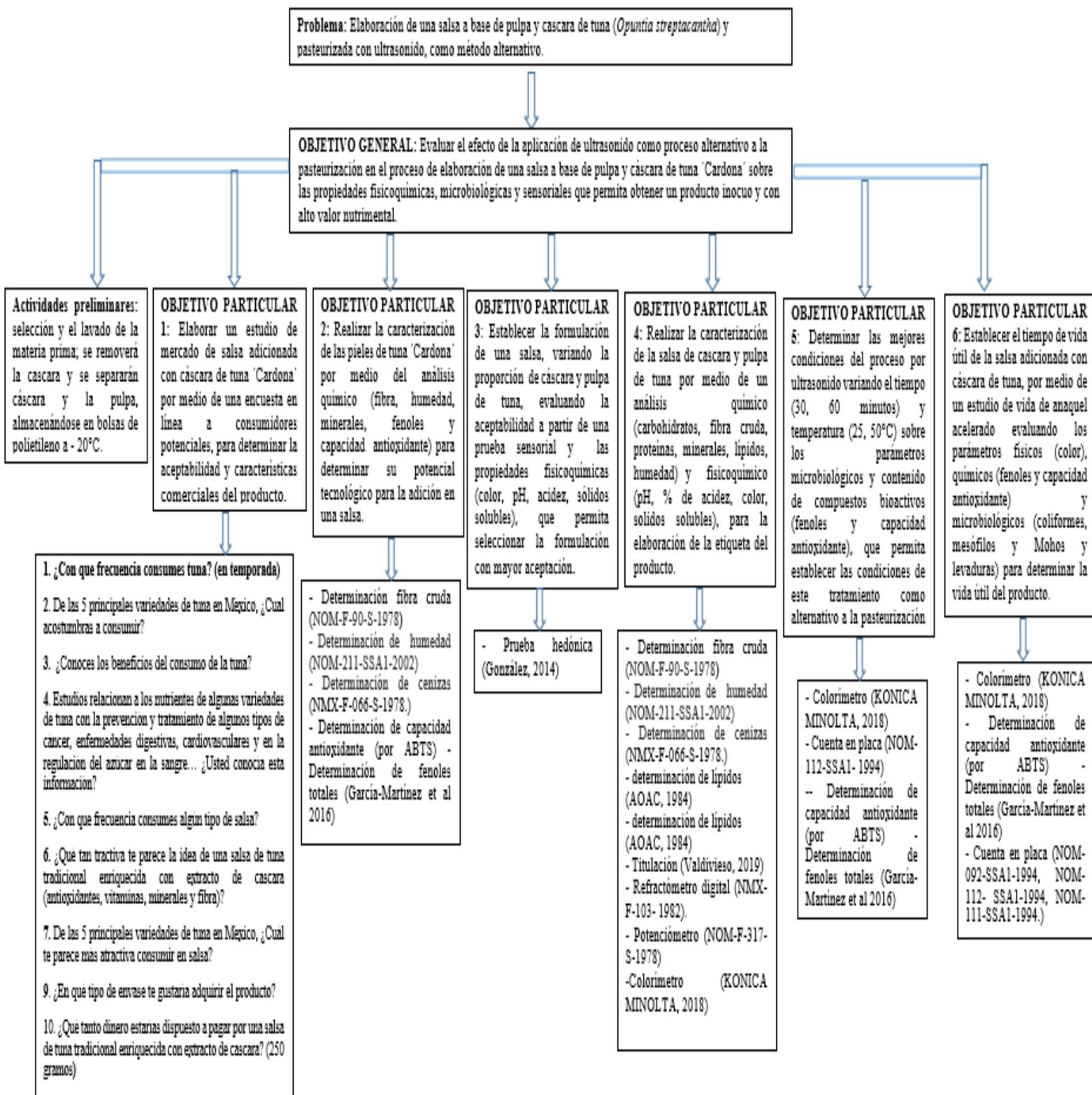
Objetivo particular 5: Determinar las mejores condiciones del proceso con ultrasonido variando el tiempo (30, 60 minutos) y temperatura (25, 50°C) sobre los parámetros microbiológicos y contenido de compuestos bioactivos (fenoles y capacidad antioxidante), que permita el establecimiento de las condiciones de este tratamiento como alternativo a la pasteurización térmica.

Objetivo particular 6: Establecer el tiempo de vida útil de la salsa adicionada con cáscara de tuna, por medio de un estudio de vida de anaquel acelerado evaluando los parámetros físicos (color), químicos (fenoles y capacidad antioxidante) y microbiológicos (coliformes, mesófilos y Mohos y levadura).



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Cuadro metodológico





3.2 Estudio de mercado

Como parte del proyecto, se propuso realizar un estudio de mercado por medio de una encuesta en línea, con el objetivo de conocer la aceptabilidad de la salsa a base de cáscara y pulpa de tuna. Dicha encuesta fue dirigida a consumidores potenciales del estado de Guerrero el cual cuenta con una población cercana a los 3, 600,000 habitantes. Para el tamaño de la muestra se tomó en cuenta la población perteneciente de dicho estado, que cumplieran con la edad en un intervalo de 20 a 45 años, todo esto con el fin de poder estimar un número de encuestas que fueran representativas y que cumplan con una certeza del 91%.

Para el desarrollo de la encuesta se propusieron 10 preguntas, las cuales se aplicaron con ayuda de la plataforma Google Forms y respondida por un total de 103 personas (Figura 8).

The image shows a Google Form titled "ESTUDIO DE MERCADO". The form contains the following text and questions:

ESTUDIO DE MERCADO

México es el principal productor de tuna a nivel mundial. La tuna es un fruto de la familia de las cactáceas rico en vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra. Se acostumbra a consumir su pulpa y desechar la cáscara. Sin embargo, en dicha cáscara se pueden hallar una cantidad superior de fibras, minerales y antioxidantes que no se aprovechan y resultan benéficos para nuestro organismo.

En este proyecto se busca aprovechar la cáscara de tuna y someterla a una tecnología UV (ultravioleta). Esto con el fin de generar una cantidad todavía superior de compuestos antioxidantes que en la cáscara común. Los cuales... además de los minerales, vitaminas y fibra presentes, se pueden extraer de la cáscara y ser adheridos a una SALSA DE TUNA TRADICIONAL y poder elevar su calidad nutritiva al máximo.

augustoalonso623@gmail.com (no se comparten)
Cambiar cuenta

*Obligatorio

genero *

mujer

hombre

Edad

Tu respuesta

¿Con que frecuencia consumes tuna? (en temporada) *

nunca

una vez por semana

2 o mas veces por semana

Figura 8. Imagen representativa del estudio de mercado (introducción)

Una vez obtenido los resultados de la encuesta, se realizó un análisis de los resultados obtenidos, lo cual ayudó a conocer la aceptabilidad del producto y las preferencias de los encuestados con las características que se propusieron en cada una de las 10 preguntas.



3.3. Material biológico

Las tunas de la especie *Opuntia streptacantha* (Cardona) utilizadas en este proyecto se obtuvieron del estado de Puebla, las cuales se transportaron en cajas de madera (abiertas) a condiciones de temperatura ambiente, hasta el laboratorio de postcosecha, donde fueron sometidas a un pretratamiento para su almacenamiento.

3.4. Tratamiento de las muestras

Una vez obtenidas las tunas, se llevó a cabo una selección y lavado, para después separar la cáscara y la pulpa y ser almacenadas por separado en bolsas de polietileno a una temperatura de -20°C, hasta su utilización. Las cáscaras fueron caracterizadas en fresco, deshidratadas y pulverizadas para la obtención de las harinas, también se evaluó el efecto de la congelación, debido a que el fruto sólo se llega a obtener en determinada temporada en el año, por lo que se debió congelar hasta su uso.

3.5. Formulación de la salsa a base de pulpa y cáscara de tuna

Una vez caracterizadas las cáscaras de tuna, se continuó con la propuesta de formulación de la salsa, la cual se representa en la tabla 10.

Tabla 10. Formulación inicial de la salsa de pulpa y cáscara de tuna Cardona

<i>Ingrediente</i>	<i>Cantidad (%)</i>
<i>Pulpa</i>	41
<i>Cebolla</i>	15
<i>Extracto líquido de tuna</i>	14
<i>Jitomate</i>	12
<i>Chile Chipotle en adobo</i>	7
<i>Ajo</i>	6
<i>Cilantro</i>	2
<i>Sal</i>	2
<i>Chile morita</i>	1
<i>Ac. Cítrico</i>	0.15



Posteriormente se establecieron formulaciones en la cuales se varió porcentualmente la cantidad de harina de cáscara de tuna, con efecto en la reducción de la cantidad de pulpa de tuna, las cuales se representan en la tabla 11.

Tabla 11. Formulaciones establecidas de salsa con variación de la cantidad de harina de cáscara.

<i>Formulación</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Ingrediente</i>	Cantidad (%)	Cantidad (%)	Cantidad (%)
<i>Ajo</i>	6	6	6
<i>Cebolla</i>	15	15	15
<i>Chile morita</i>	1	1	1
<i>Chile chipotle en adobo</i>	7	7	7
<i>Cilantro</i>	2	2	2
<i>Sal</i>	2	2	2
<i>Jitomate</i>	12	12	12
<i>Pulpa</i>	39	37	35
<i>Harina de cáscara</i>	2	4	6
<i>Agua (extracto líquido)</i>	14	14	14
<i>Ác. Cítrico</i>	0.15	0.15	0.15

Una vez determinadas las formulaciones a contemplar, se continuó con el desarrollo del producto de acuerdo con diagrama de flujo del proceso de elaboración de salsa de cáscara y pulpa de tuna inicial, como se muestra en la figura 9:

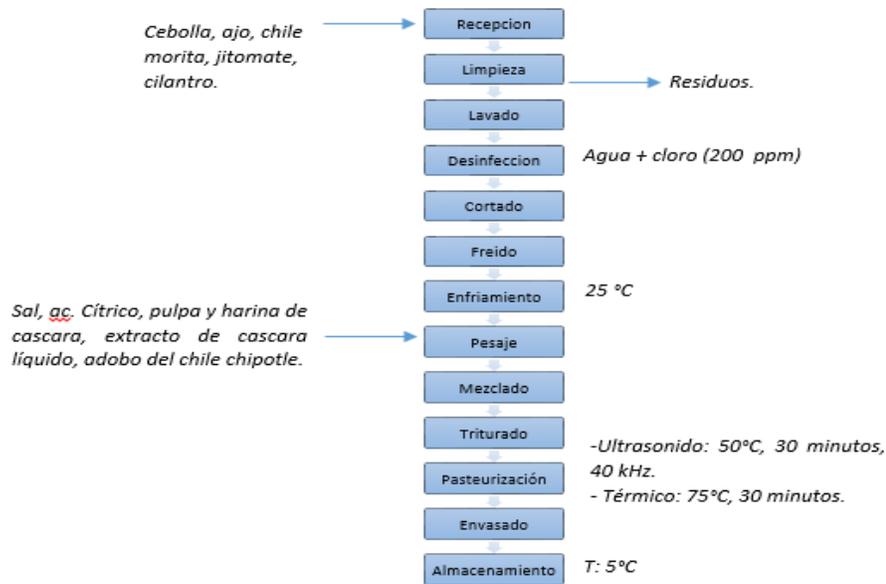


Figura 9. Diagrama de bloques del proceso I



3.6. Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial de las salsas adicionadas con harina de cáscara tuna en diferentes concentraciones (2, 4 y 6 %) y pulpa de tuna, se realizaron 2 evaluaciones sensoriales mediante pruebas hedónicas a panelistas no entrenados pertenecientes a la FESC-1 y laboratorio de postcosecha CAT. Se plantearon pruebas con escala de 5 puntos, las cuales se aplicaron a 30 panelistas. En cada evaluación sensorial las muestras fueron previamente identificadas con códigos diferentes. Debido a que se trataba de una salsa picante, se optó por agregar un acompañamiento (frijoles refritos) para que los parámetros y escalas de la prueba hedónica se identificarán de manera correcta. Se utilizó el siguiente formato para cada evaluación sensorial (Figura 10).

EDAD: SEXO:

Prueba las muestras identificadas con diferentes códigos que se presentan a continuación e indica tu nivel de agrado para cada una de las características, marcando con el número la escala que mejor describa al producto:

5	Me gusta muchísimo
4	Me gusta moderadamente
3	No me gusta, ni me disgusta
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta muchísimo

MUESTRA	OLOR	COLOR	SABOR	ACEPTABILIDAD

COMENTARIOS:

Figura 10. Formato de la prueba sensorial hedónica utilizado

3.7. Establecimiento de las condiciones para la pasteurización con ultrasonido

Una vez realizada la salsa se procedió a evaluar el efecto del ultrasonido como método alternativo a la pasteurización térmica. Las condiciones a las cuales fueron sometidas las muestras de salsa de tuna son: tiempo (30 y 60 minutos) y de la temperatura (25 y 50 °C). Todo esto se llevó a cabo en una tina de ultrasonido marca COLE-PARMER 8891 (Figura 11) el cual opera una frecuencia de 40 kHz (intensidad alta).



Figura 11. Tina de ultrasonido Cole-Parmer

Posterior a eso se evaluaron los parámetros que fueron: carga microbiológica (enfocado exclusivamente a coliformes totales), color, fenoles y capacidad antioxidante; empleando las técnicas analíticas descritas en el apartado: 4.8.9, 4.8.10 y 4.8.11. Una vez determinado la formulación ideal por medio de la prueba sensorial hedónica aplicada y determinado las condiciones para el tratamiento con ultrasonido, se estableció el proceso de elaboración general de salsa adicionada de cáscara y pulpa de tuna, donde se involucran los métodos seleccionados y condiciones de pasteurización, como se muestra en la figura 12.

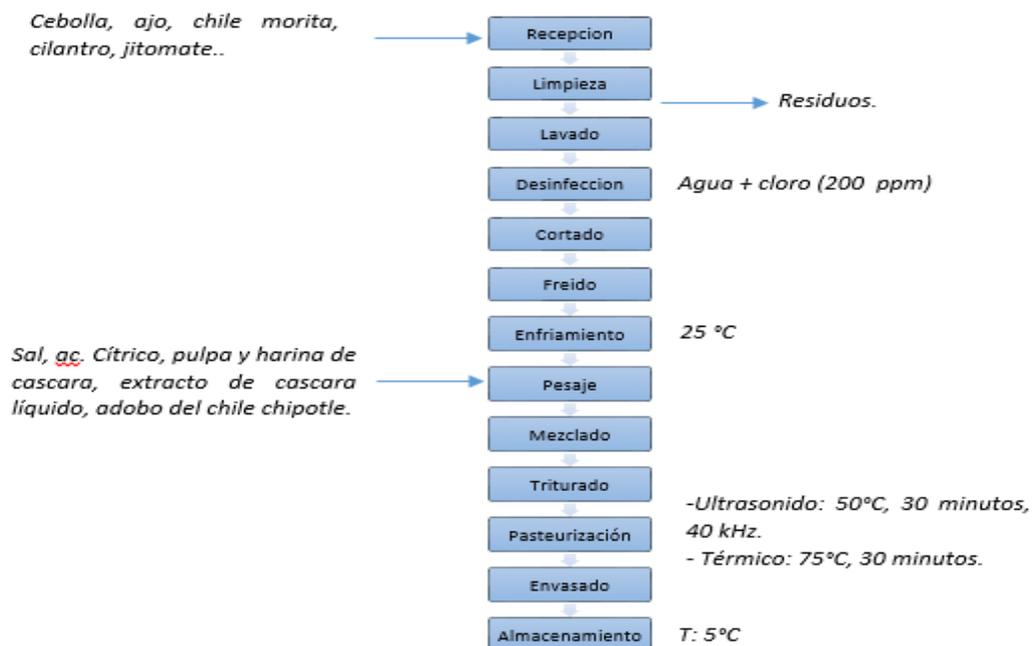


Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la salsa de pulpa y cáscara de tuna II (General)



3.8 TÉCNICAS ANALÍTICAS

3.8.1. Determinación de cenizas (Método de Cenizas totales- AOAC, 1984)

Para la cuantificación de cenizas totales, se aplicó la determinación de incineración directa, se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, es eficiente ya que determina tantas cenizas solubles en agua, insolubles y solubles en medio ácido (Nollet, 1996). Los resultados obtenidos se expresaron en % promedio de contenido de ceniza (Figura 13).



Figura 13. Horno de mufla de laboratorio fuente: Google imágenes

3.8.2. Determinación de lípidos (Soxhlet- AOAC, 1984)

El método de Soxhlet consiste en una extracción de los lípidos contenidos en la muestra de manera semicontinua colocándola en contacto directo con el disolvente orgánico ayudado de un equipo de Soxhlet (Figura 14). El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso (Nielsen, 2003). Los resultados obtenidos se expresaron como % promedio de lípidos crudos.

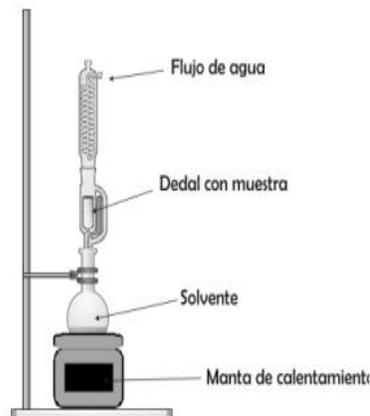


Figura 14. Representación gráfica del método Soxhlet. Fuente: Google imágenes.



3.8.3. Determinación de proteínas (Método Kjeldahl-AOAC, 1984)

Para la determinación de proteínas se ocupó el método microKjeldahl, el cual es el procedimiento que determina la materia nitrogenada total, que incluye tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas (Aurand *et al.*, 1987). El método se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en productos alimentarios. Los resultados obtenidos se expresaron como % promedio de nitrógeno total en la muestra y % de proteína cruda (Figura 15).

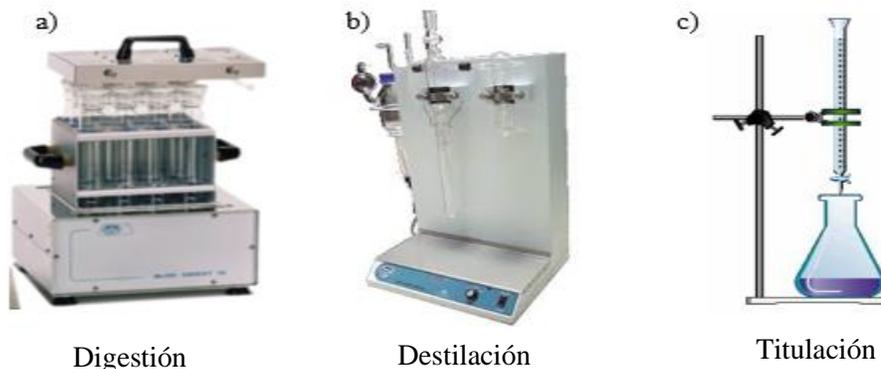


Figura 15. Representación gráfica del proceso de determinación de proteína cruda, digestión, destilación y titulación, fuente: Google imágenes

3.8.4 Determinación de humedad (Secado en Estufa)

En cuanto a la determinación de la humedad se implementó el método de secado en estufa, el cual se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable, y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra (NOM-211-SSA1-2002). Los resultados se expresaron como % de contenido de humedad.

3.8.5 Determinación de Carbohidratos (Lane-Eynon)

Para la determinación azúcares reductores, se utilizó el método Lane-Eynon, este método es una determinación volumétrica de los azúcares reductores totales, la cual consiste en usar disoluciones alcalinas de cobre que reducen a óxido cuproso. Los resultados se reportaron en % (AOAC, 1984).



3.8.6 Determinación de Fibra Cruda

Para la determinación de fibra cruda, se utilizó el método de hidrólisis alcalina-ácida, con el cual la muestra fue sometida en ácido sulfúrico que, por medio de calor, se hidrolizan las proteínas presentes en el alimento. A continuación, se llevó a cabo la hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio, proceso mediante el cual se hidroliza las grasas, posteriormente la muestra es sometida a un proceso de calcinación a 600 °C, con el objetivo eliminar el material orgánico, obteniendo solamente un residuo de minerales, cuya composición se puede remover por medio de un cálculo, quedando únicamente los carbohidratos como celulosa, hemicelulosa y ligninas contemplados (AOAC, 1984; NOM-F-90-S-1978). El resultado es expresado en % de fibra en 100 g de muestra.

3.8.7. Determinación de los sólidos solubles (°Brix) por refractómetro

El método se basa en el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación (NMX-F-103-1982). Para la determinación se empleó un refractómetro digital Atago, colocando una gota de la muestra en el cristal del refractómetro y haciéndolo por triplicado, los resultados fueron expresados como °Brix y se leen directamente del refractómetro (Figura 16).



Figura 16. Refractómetro digital Atago, fuente: Google imágenes.

3.8.8 Determinación del pH (potenciómetro)

El método, se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH; potenciómetro HINOTEK (Figura 17), (NOM-F-317-S-1978). Para la evaluación del pH de las muestras se empleó un potenciómetro digital, el cual previamente fue calibrado con soluciones buffer de 4 y 7 en la escala del pH. Las muestras fueron colocadas en vasos de precipitados y fue introducido el electrodo de manera que cubriera para que pudiera realizarse la correcta determinación, el valor del pH.



Figura 17. Potenciómetro HNOTEK

3.8.9. Determinación de capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante se determina como capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC por sus siglas en inglés), siguiendo el método descrito por Re *et al.* (1999), que se basa en la decoloración del radical catiónico ABTS⁺ como resultado de la transferencia de un átomo de hidrógeno de un compuesto antioxidante (TROLOX o antioxidantes en una muestra problema). Los resultados se reportan en $\mu\text{MET/g}$.

3.8.10. Determinación de Fenoles totales

La cantidad de compuestos fenólicos totales dentro de los extractos se determinó utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu. El contenido total de compuestos fenólicos de los extractos se calculó a partir de la curva patrón de ácido gálico con concentraciones entre 1 y 1 mg/mL y se leyeron a 765 nm en un espectrofotómetro UV/VIS (marca VELAB). Los fenoles totales se expresaron en miligramos de ácido gálico por mililitro (mg GAE/ml) (García-Martínez *et al.*, 2016)

3.8.11. Medición del color (KONICA MINOLTA, 2018)

La medición del color que se realizó a las muestras de salsa se hizo por medio de un colorímetro KONICA MINOLTA modelo CR600 (Figura 18).



Figura 18. Colorímetro Konica Minolta, fuente: Google imágenes.



Para la aplicación del método, con el instrumento descrito, se utilizó una caja de vidrio Petri por muestra, envuelta de una capa de plástico para evitar el contacto del equipo con la muestra, pero sin perjudicar o alterar la lectura. El equipo se calibró previamente antes de iniciar las lecturas, las cuales se repitieron 5 veces, obteniendo los valores L, a y b.

Posterior a eso, se realizó un promedio con las 5 lecturas obtenidas y se continuó con la aplicación de los cálculos para la obtención de los parámetros: cambio de color (ΔE), croma (C^*) y tono (H^*).

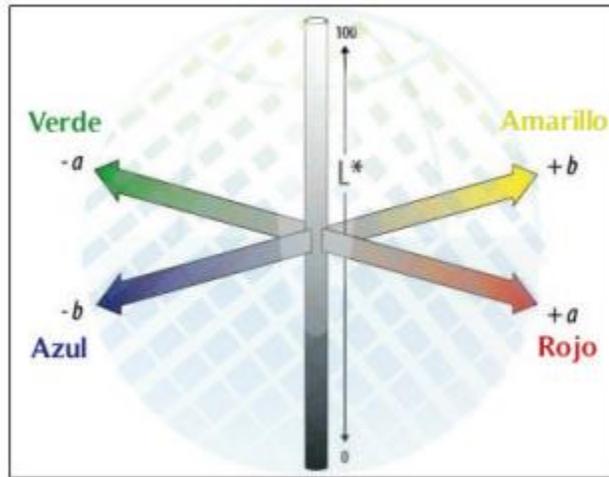


Figura 19. Espacio de coordenadas rectangulares L, a, b. Fuente: Google imágenes.

Lo anterior, corresponde al término de cromaticidad que no indica explícitamente ni el tono ni la saturación. Este inconveniente se soluciona definiendo C^* y H^* (Francis y Clydesdale, 1975)

En donde:

El croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5}$$

Ec.3

El tono, H^* , varía entre 0 y 360° y para los estímulos acromáticos ($a^* = b^* = 0$) es una magnitud indefinida.

$$H^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Ec.4



También se define el cálculo para el cambio de color (ΔE):

$$\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{0.5}$$

Ec. 5

3.8.12 Parámetros microbiológicos

Coliformes totales: La determinación de coliformes totales se llevó a cabo por medio de métodos de la norma oficial NOM-113-SSA1-1994 y se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 a 48 h, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares (rojo bilis). Los resultados se representaron como UFC/g.

Mesófilos aerobios: La determinación se realizó por el método de cuenta total en placa de acuerdo con lo marcado en la NOM-092-SSA1-1994, sembrando las muestras en Agar nutritivo incubándolas a $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Los resultados se representaron como UFC/g

Hongos y levaduras: La determinación de hongos y levaduras se llevó a cabo por cuenta total en placa, en Agar Papa Dextrosa, incubando a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ por 4 - 5 días, de acuerdo con lo indicado en la NOM-111-SSA1-1994. Los resultados se representaron en UFC/g.

3.9 Estudio de vida de anaquel

Una vez selecciona la formulación general de la salsa de tuna por medio de la evaluación sensorial aplicada y establecida las condiciones del tratamiento por ultrasonido, se continuó con el estudio de vida de anaquel en cual muestras de salsa se almacenaron por un tiempo de 48 días a las temperaturas de: 15, 25 y 35°C , haciendo los análisis correspondientes cada 8 días a muestras de salsa diferentes para evitar una contaminación cruzada entre análisis.

Para ello se elaboró 1 kg de salsa de tuna con la formulación establecida, la cual fue dividida en 2 porciones de 500 g, cada porción fue sometida a un diferente tratamiento: ultrasonido y pasteurización (térmico). Dichas porciones fueron vaciadas en pequeños recipientes (estériles), etiquetados por el tipo de tratamiento al cual fue sometido y almacenadas por separado a las temperaturas ya antes mencionadas. En dicho estudio se evaluó: la capacidad



antioxidante, el contenido de fenoles, el color y se realizó un conteo de microorganismos (coliformes totales, mesófilos aerobios, hongos y levaduras). Los 4 parámetros fueron evaluados por medio de las técnicas descritas en el apartado 3.8.

Debido a que la variable que más afecta la velocidad de las reacciones de deterioro es la temperatura; los métodos que aceleran el deterioro por efecto de esta se basan en la ley de Arrhenius; la ecuación que se tiene para calcular el efecto de la temperatura sobre la vida de anaquel es:

$$t_s = t_0 * e^{\frac{-Ea}{R}[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_s}]} \quad \text{Ec.6}$$

Dónde: t_s es el tiempo de vida de anaquel a la temperatura T_s , t_0 es el tiempo a la temperatura T_0 , R es la constante de los gases ideales y Ea es la energía de activación para la reacción de deterioro.

Para la obtención de la Ea es necesario graficar el logaritmo natural de los parámetros: Color, capacidad antioxidante y Fenoles a evaluar contra la temperatura o su inverso, así se conoce el efecto que tiene la temperatura sobre la calidad del alimento



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio de Mercado

Con el objetivo de determinar la aceptabilidad y características comerciales que pueda tener una salsa a base de cáscara y pulpa de tuna, se implementó un estudio de mercado el cual fue dirigido a una población entre los 20 y 45 años, residentes del estado de Guerrero. Con un nivel de confianza del 91 % La encuesta se aplicó a un total de 101 personas, de las cuales 72 % fueron mujeres y el 28 % fueron hombres, con un promedio de edad de 34 años.

La encuesta consistió en hacer 9 preguntas dirigidas hacia el público objetivo, en las cuales se hicieron interrogantes sobre las características con las que debe contar el producto para hacerlo más aceptable o del agrado del público. Para saber que tan seguido era el consumo de la tuna, como materia prima principal, Se comenzó con la interrogante acerca de la frecuencia con la que se acostumbra a consumir tuna por temporada, que puede ser de julio a septiembre, según la figura 20 (A), los encuestados respondieron: pocas veces en toda la temporada con un 48 %, seguido de “2 o más veces por semana” con un 23%. Lo cual hace pensar que el consumo de tuna en su dieta no es tan regular. Posteriormente para saber la variedad de tuna preferente o que se acostumbre a consumir con más frecuencia de los encuestados, se hizo la interrogante en el mismo contexto, lo cual según la figura 20 (B), la mayoría de los encuestados acostumbra a consumir más la tuna verde o “blanca” con un 77% seguido del xoconostle con un 10%.

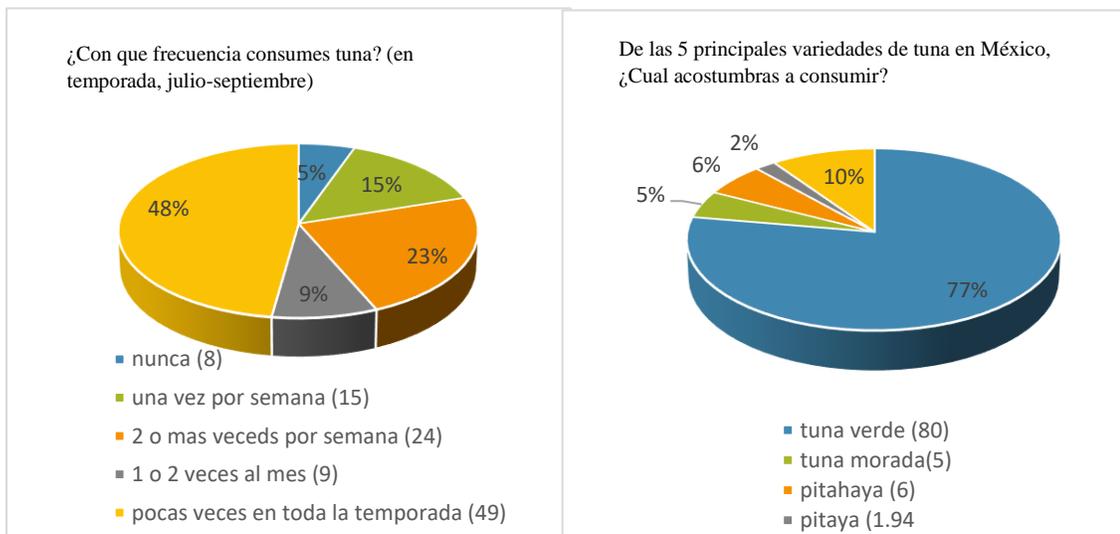


Figura 20. Respuestas sobre la frecuencia de consumo de tuna (A) y la variedad de consumo preferente (B)



Para dar a conocer al público acerca de las propiedades nutricionales que puede aportar la tuna y que muchas veces ignoramos, se hicieron 2 preguntas en relación, las cuales hablan acerca del conocimiento de las propiedades y/o beneficios del consumo de la tuna, lo cual según la figura 21 (A) el 72 % de los encuestados desconocen esos beneficios y los cuales son explicados con la siguiente pregunta, que habla acerca de las propiedades y de lo que puede aportarnos el consumo de cualquier variedad de tuna con respecto a nuestra salud, lo cual según la figura 21 (B), el 61 % de los encuestados desconoció dicha información. Ambas preguntas se hicieron con el objetivo de dar a conocer el potencial nutricional que puede tener el consumo de tuna y por la tanto los beneficios que de igual manera se pueden hallar en la salsa, dándole un atractivo extra para su aceptación.

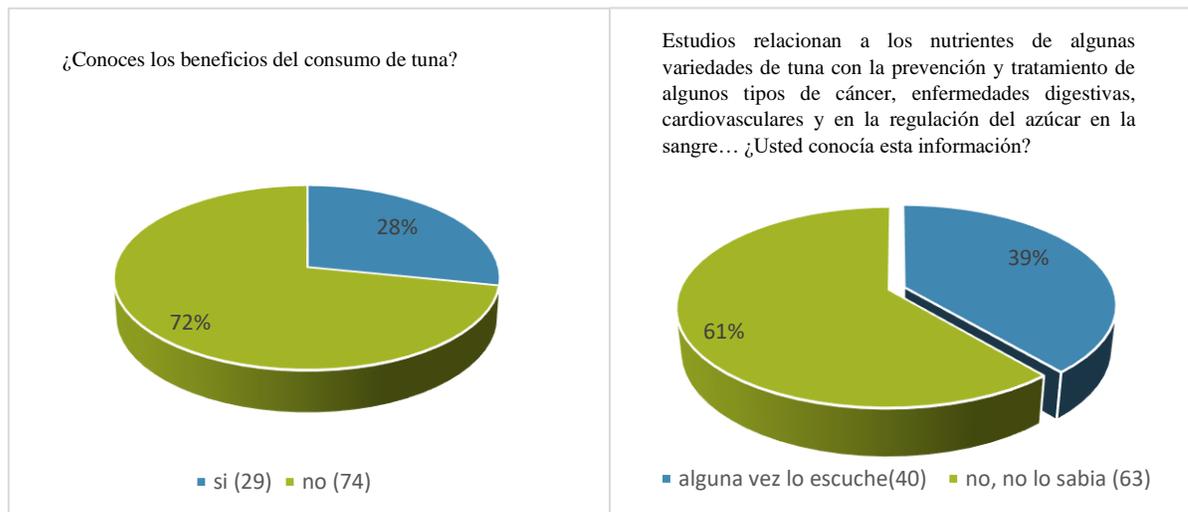


Figura 21. Respuestas sobre el consumo de la tuna (A) y las propiedades y beneficios que aporta (B)

En lo referente al producto a desarrollar; lo cual es una salsa a base de tuna, se hizo la interrogante acerca de qué tan regular era el consumo de ese condimento de los encuestados, debido a las costumbres y estereotipos de lo que es el consumo de salsas en México, se esperaba que el consumo fuera de lo más habitual, lo cual se explica en la figura 22 (A), que con el 49 % la mayoría de los encuestados respondió que el consumo es de todos los días, seguido de 2 o 3 veces por semana, con un 24%. Eso representa un punto positivo en cuanto al carácter comercial que puede tener la salsa, y que se refuerza con la pregunta acerca de lo



atractivo de la idea de una salsa de tuna, enriquecida con harina de cáscara, lo cual según la figura 22 (B), la mayoría de los encuestados respondió con un 49 %, "muy atractivo", seguido de la respuesta: "atractivo", con un 36 %, indicando una buena aceptabilidad del producto propuesto.

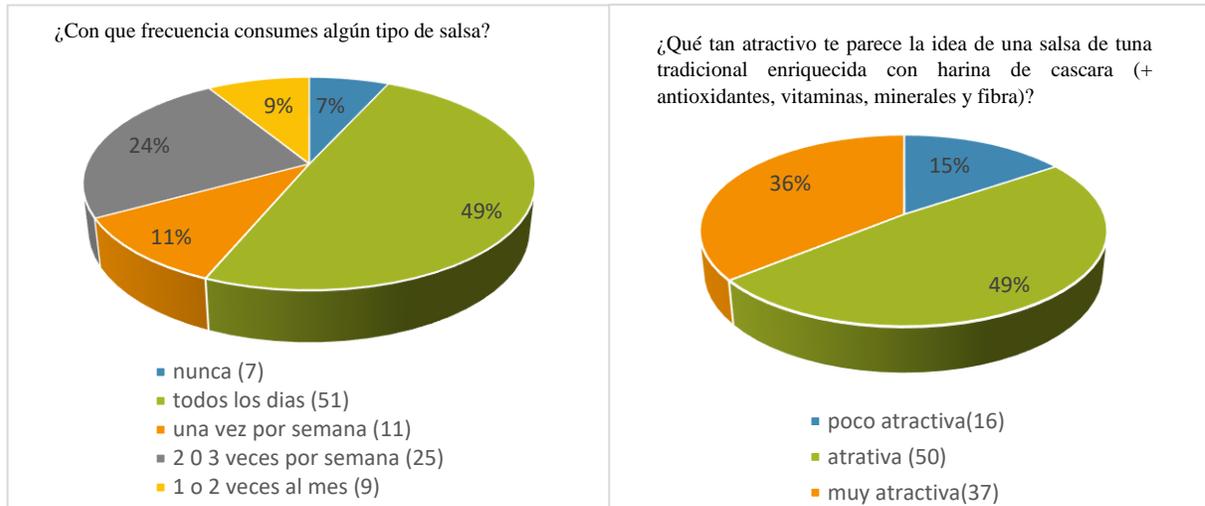


Figura 22. Respuestas sobre la frecuencia del consumo de salsas (A) y la idea de una salsa de enriquecida con harina de cáscara (B)

Uno de los puntos más importantes de la encuesta fue elegir el tipo de materia prima o variedad de tuna a utilizar para todo el proyecto. De acuerdo con la figura 21 (A), los encuestados eligieron a la tuna verde y a la tuna roja como variedades de tuna preferentes, con un 26 % en ambos casos, para su consumo en salsa. Debido a que se tenía que elegir una de ambas variedades y ya que el 77 % de los encuestados acostumbran a consumir más la tuna verde por temporada, según la figura 23 (B), se optó por trabajar con la tuna roja o Cardona, esto debido a que cuenta con propiedades nutricionales ligeramente superiores a las propiedades de la tuna verde y el color podría ser más atractivo para el consumidor.

Posteriormente, se hizo la pregunta acerca de la presentación del envase con el que debería contar el producto, según la figura 23 (B), con un 47 % de los encuestados, les gustaría más conseguir la salsa adicionada con cáscara y pulpa de tuna en un tarro de vidrio en forma hexagonal.

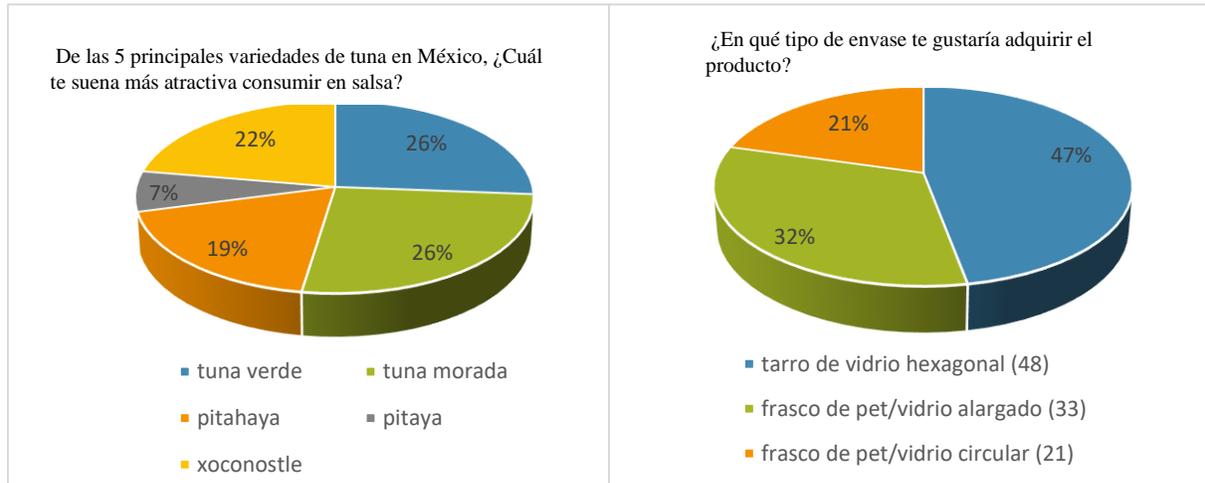


Figura 23. Respuestas sobre la variedad de tuna preferente en salsa (A) y el tipo envase del producto (B)

Finalmente y como uno de los puntos importantes de la encuesta, se preguntó: ¿Cuál sería precio que estarían dispuestos a pagar? los consumidores por el producto, según la figura 24, se encontró que el 41 % de los encuestados estarían dispuestos a pagar 30 pesos o más por adquirir el producto, lo cual refleja el valor del producto e idea dirigida hacia los encuestados con respecto a las características y los beneficios que puede tener el consumo de la tuna y su presentación como una salsa enriquecida con harina de cáscara.

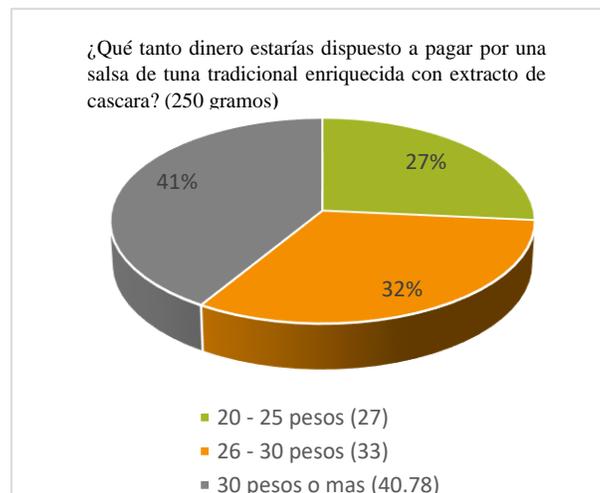


Figura 24. Respuestas sobre el costo de una salsa de tuna enriquecida con harina de cáscara.



4.2. Caracterización de la cáscara de tuna roja (*Opuntia streptacantha*)

En esta etapa del proyecto se inició con la caracterización de la cáscara de tuna, con el objetivo de determinar el potencial tecnológico en la adición en una salsa. Un estudio preliminar de la materia prima dio a conocer que la cáscara tuna está compuesta de biomoléculas y/o compuestos bioactivos de interés nutricional, que pueden aportar beneficios medicinales a nuestro organismo y que por lo regular no se estarían aprovechando (Ertekina *et al.*, 2006). En ese sentido se decidió hacer un análisis en cuanto la composición de fibra, cenizas, capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales, como principales parámetros a evaluar, y que, según el estudio preliminar realizado, son aquellos que representan el mayor aporte nutricional en la cáscara de tuna.

4.2.1. Composición química de la cáscara de tuna

De acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto a la composición de la cáscara de tuna morada y verde (Tabla 12), en ambas se presentó un alto contenido en agua, característico de este tipo de productos. Las cenizas, que cumplen con la función de determinar la calidad de ciertos alimentos (Kirk, *et al.*, 1996), en el caso de la tuna verde el valor es 4.5 veces mayor, en comparación con el valor de la tuna morada, finalmente, como uno de los componentes de mayor relevancia en cuestiones nutrimentales de alimentos, la fibra cruda de la cáscara tuna morada presentó un valor 2 veces mayor en comparación de la cáscara de tuna verde. Tanto la fibra como las cenizas presentes en la cáscara de tuna morada y verde reportan una composición considerable y significativa en cuestión de calidad nutricional, sin embargo, es de considerarse que la composición de la tuna morada pueda destacarse más en cuestiones nutrimentales.

Tabla 12. Composición de fibra cruda, cenizas y humedad, de la cáscara de tuna Cardona y verde.

	Componente	Composición (%)
<i>Tuna Cardona</i>	Fibra Cruda	2.9 ± 0.2
	Cenizas	0.4 ± 0.09
	Humedad	89.0 ± 1.04
<i>Tuna verde</i>	Fibra cruda	1.4 ± 0.15
	Cenizas	1.8 ± 0.15
	Humedad	87.0 ± 2.08



4.2.2. Contenido de Fenoles totales y capacidad antioxidante

De acuerdo con los resultados obtenidos y expresados en la figura 25, se observó el efecto que tuvo la congelación (como método de conservación) sobre el contenido de compuestos fenólicos en la harina de cáscara de ambas variedades de tuna. De inicio se puede detallar que la harina de cáscara de tuna roja presentó 1.8 veces más contenido de compuestos fenólicos que la cáscara procedente de tunas verdes, dando a entender que la composición fenólica de la tuna roja sobresale sobre la composición fenólica en la tuna verde.

Por otra parte, se observó el efecto de las bajas temperaturas de almacenamiento que tuvo sobre las cáscaras de tuna roja, en las cuales los compuestos fenólicos disminuyeron 1.6 veces en comparación de los compuestos fenólicos presentes en las cáscaras de tuna fresca. En cambio, con las cáscaras de tuna verde no se observó una pérdida significativa de estos compuestos ($p>0.05$), Lo que indica que la congelación afecta el contenido de compuestos fenólicos de variedades de cactáceas de forma diferente. Pérez-Tello *et al.*, (2001) explican que durante la congelación se pueden desarrollar una serie de reacciones relacionadas al estrés oxidativo generado en las células vegetales de los frutos, que con lleva a la síntesis de estos compuestos fenólicos, pero que a la vez la concentración o síntesis, puede variar dependiendo la especie y/o almacenamiento postcosecha del fruto.

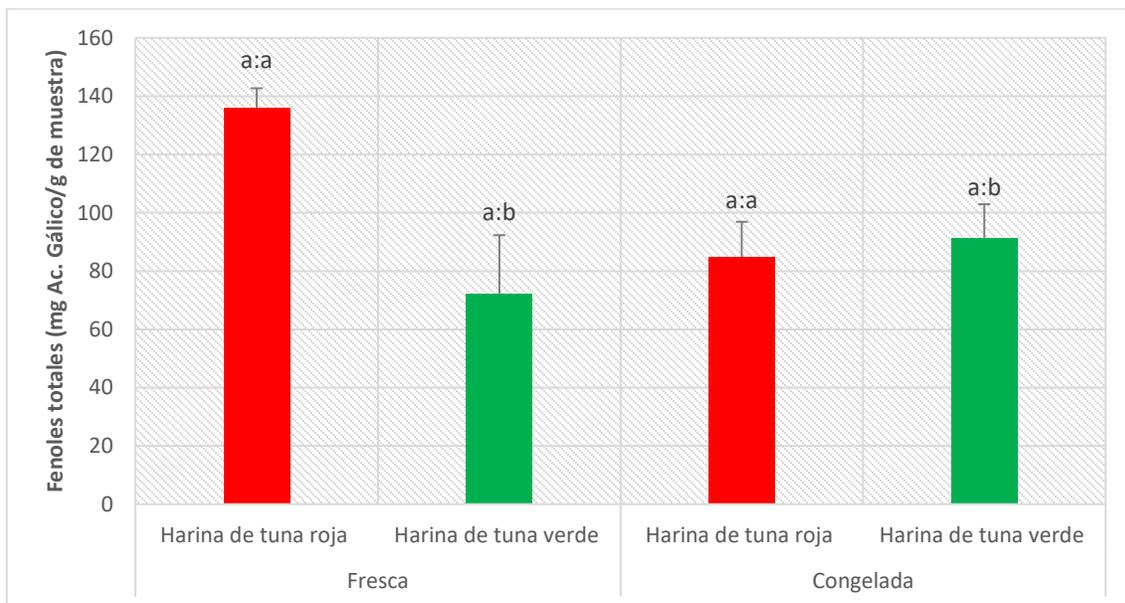


Figura 25. Contenido de fenoles totales en harinas de cáscara de tuna Cardona fresca y congelada. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas



En la figura 26, se puede observar que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en cuanto a la capacidad antioxidante de la harina de ambas variedades de cáscara de tuna, fresca y congelada. En este caso se esperaban resultados similares a los encontrados en la composición de compuestos fenólicos, ya que dichos compuestos cuentan con esa propiedad antirradical o antioxidante. Dado que la cáscara de tuna contiene diversos compuestos químicos como los flavonoides, vitamina E, vitamina C, vitamina A, carotenoides y algunos otros compuestos antioxidantes y sensibles a la temperatura, se esperaba que la capacidad antioxidante de las harinas de tuna congelada disminuyera, sin embargo, dicha propiedad se conservó y en parte se puede deber a las síntesis de compuestos por efecto de la congelación y el estrés oxidativo que genera en la células vegetales de la tuna que antes se mencionó.

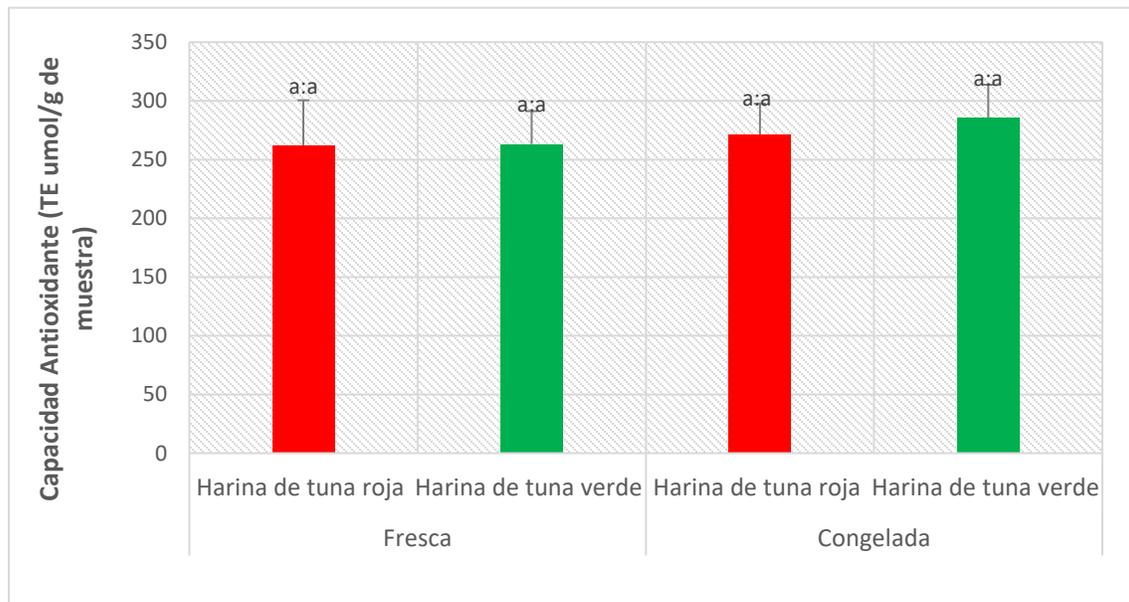


Figura 26. Evaluación de la capacidad antioxidante obtenido en harinas de cáscara de tuna Cardona fresca y congelada. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.



4.3. Análisis sensorial de la salsa de tuna

Una vez caracterizadas las cáscaras y harinas provenientes de ambas variedades de tuna, se optó por seleccionar a la tuna morada para la elaboración de la salsa, para posteriormente realizar la evaluación sensorial con un panel no entrenado que permitiera establecer el porcentaje de harina que no afectará la aceptabilidad del producto. De acuerdo con los resultados obtenidos y expresados en la figura 27, se muestra la calificación obtenida de acuerdo con los panelistas, se esperaba que a mayor concentración de harina de cáscara hubiera una menor aceptación o calificación de los parámetros evaluados, debido a los compuestos, que en su mayoría son fibras de comportamiento sensorial amargo e insípido, pero finalmente se encontró que no hubo diferencia significativas ($p \geq 0.05$) en cuanto a los parámetros evaluados de: color, olor, sabor y aceptabilidad, presentado una calificación aproximada de 4, la cual corresponde a ‘‘ me gusta mucho’’. De acuerdo con los resultados, se seleccionó la formulación de salsa que estuvo adicionada con un mayor porcentaje de harina de cáscara de tuna, ya que la calidad nutritiva del producto sería mayor, por la cantidad de compuestos antioxidantes y fibra que fue adicionada con la cáscara de tuna morada.

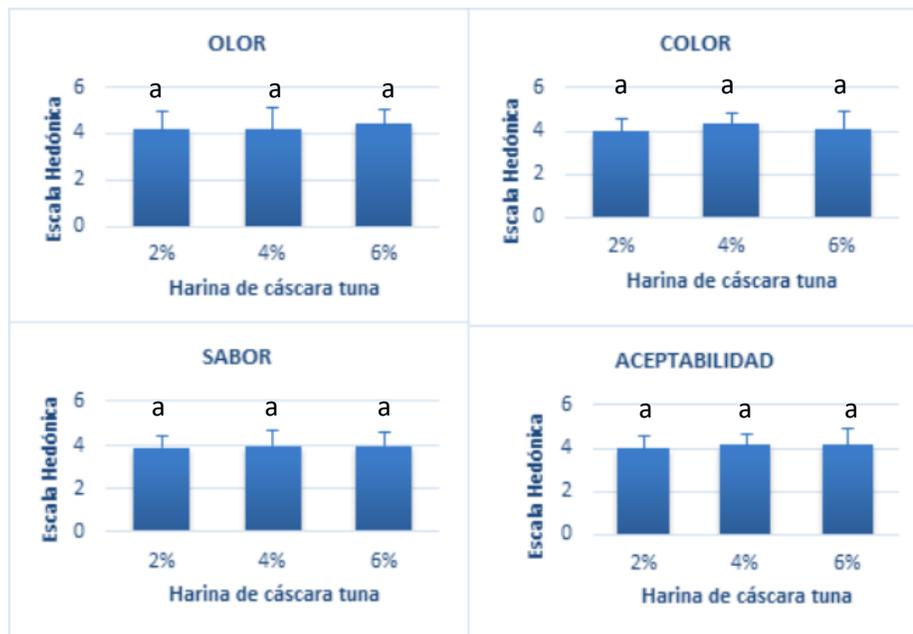


Figura 27. Atributos sensoriales de salsa de tuna adicionada de diferentes porcentajes de harina de cáscara de tuna. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas



4.4. Caracterización de la salsa de cáscara y pulpa de tuna morada

Los resultados obtenidos de la caracterización de la salsa de pulpa y cáscara de tuna, se pueden hacer algunas observaciones en cuanto a su aporte nutrimental. Con base en los resultados mostrados en la tabla 13, la fibra sería el primer compuesto mayoritario, después del contenido de humedad, de acuerdo con los datos consultados el valor de 4.79 g fibra /100g de salsa, representaría la quinta parte de la ingesta diaria recomendada por la FAO que es de 20 g/día, El segundo componente serían los azúcares totales (4 g/100 g), que de acuerdo con la modificación de la NOM-051, se encuentra por debajo del límite permisible para el contenido de azúcares (>10 g), al igual que el contenido de grasas saturadas. El contenido de proteína (3 g/100 g) es el tercer compuesto mayoritario después de la humedad, la cantidad es considerable, tomando en cuenta que por lo regular una salsa picante comercial puede contener de 0.5 a 2 g de proteína, por cada 100 gramos de producto.

Por otro lado, se puede observar que la descripción fisicoquímica, se ajusta en su mayoría a los límites establecidos por la NMX-F-377-1986. Para salsas picantes envasadas, con excepción del % de acidez que, de acuerdo con dicha norma, se encuentra ligeramente por debajo del límite mínimo para el contenido de acidez, que sería de 1 %.

Tabla 13. Caracterización química y fisicoquímica de la salsa de pulpa y cáscara de tuna morada

	<i>Parámetro</i>	<i>Composición (%)</i>
<i>Química</i>	Humedad	74.04 ± 0.09
	Grasa	1.86 ± 0.49
	Fibra	4.79 ± 0.66
	Proteínas	3.05 ± 0.98
	Cenizas	1.42 ± 0.11
	Azúcares totales	4.13 ± 0.16
<i>Fisicoquímica</i>	pH	4.12 ± 0.05
	Sólidos solubles	17.70 ± 0.44
	% de acidez	0.71 ± 0.03



4.5. Determinación de las condiciones del tratamiento con ultrasonido

Una vez realizado el análisis sensorial de la salsa y seleccionada la concentración ideal de la harina de cáscara de tuna morada, se continuó con la determinación de las condiciones del proceso de ultrasonido (tiempo y temperatura) como método no térmico de conservación, con enfoque al análisis de:

- a) Colorimetría
- b) Fenoles totales
- c) Capacidad antioxidante
- d) Microbiológico

De las muestras de salsa, aplicando un diseño factorial completo (3^2) y posteriormente comparando los resultados obtenidos con los resultados del tratamiento térmico por medio de un análisis de varianzas para evaluar diferencias significativas entre tratamientos. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que las condiciones de 25°C y 30 minutos fueron las ideales para el tratamiento con ultrasonido.

4.5.1 Colorimetría

4.5.1.1 Cromo (C*):

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 28), es observable que se detallan ligeras diferencias entre valores del croma (C*) en cuanto a las condiciones establecidas para el tratamiento con ultrasonido, sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico aplicado no se observan diferencias significativas.

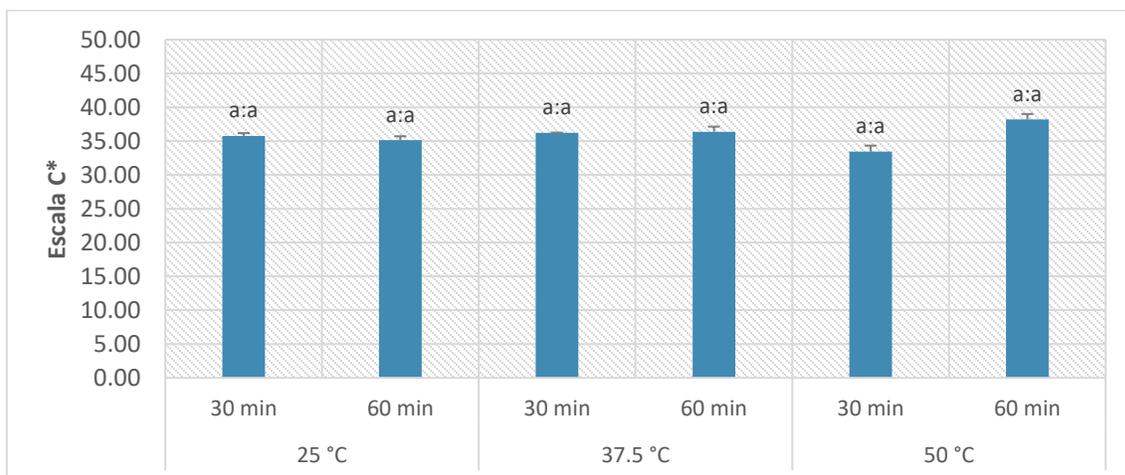


Figura 28. Valores obtenidos del croma (C*) en las muestras de salsa pasteurizada con ultrasonido a diferentes condiciones. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas entre condiciones.



En este caso se esperan resultados en los que el valor C^* sea mayor, ya que el croma se define como la saturación o intensidad de un color y es uno de los parámetros que por lo regular nos ayuda a definir la calidad de un producto o influencia que puede tener un tratamiento, sin embargo, haciendo una comparación con los resultados del croma (C^*) entre las condiciones seleccionadas (25°C y 30 min) con el tratamiento térmico, de igual forma no son apreciables diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre ambos tratamientos.

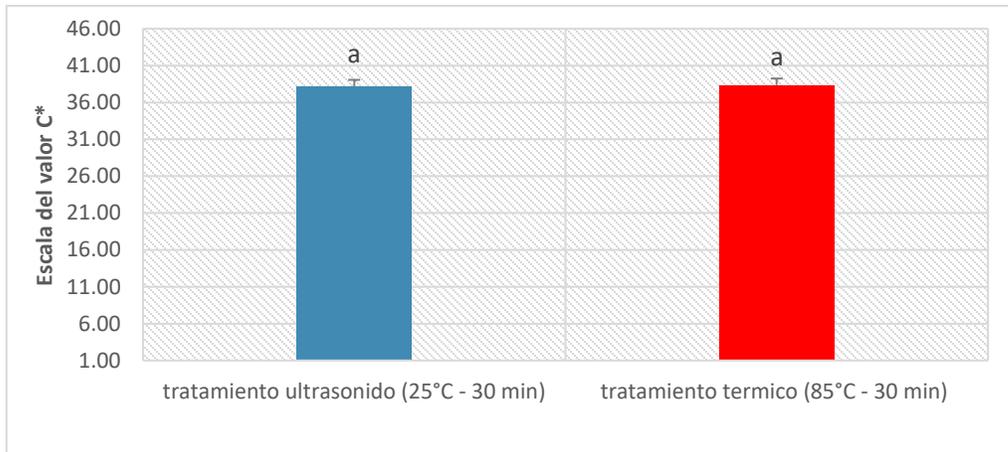


Figura 29. Comparativo de los valores del croma (C^*) con el tratamiento térmico y ultrasonido.
Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas entre condiciones.

4.5.1.2 Tonalidad (H^*)

De acuerdo resultados (figura 30), enfocado al análisis de los valores del tono o tonalidad (H^*), que se define como todos los colores primarios, secundarios e intermedarios sin mezclar con blanco negro, se puede observar que la comparación de las condiciones del tratamiento con ultrasonido de igual forma se detallan ligeras diferencias en cuanto a la tonalidad, sin embargo, de acuerdo con el análisis factorial realizado, no se detallan diferencias significativas entre condiciones.

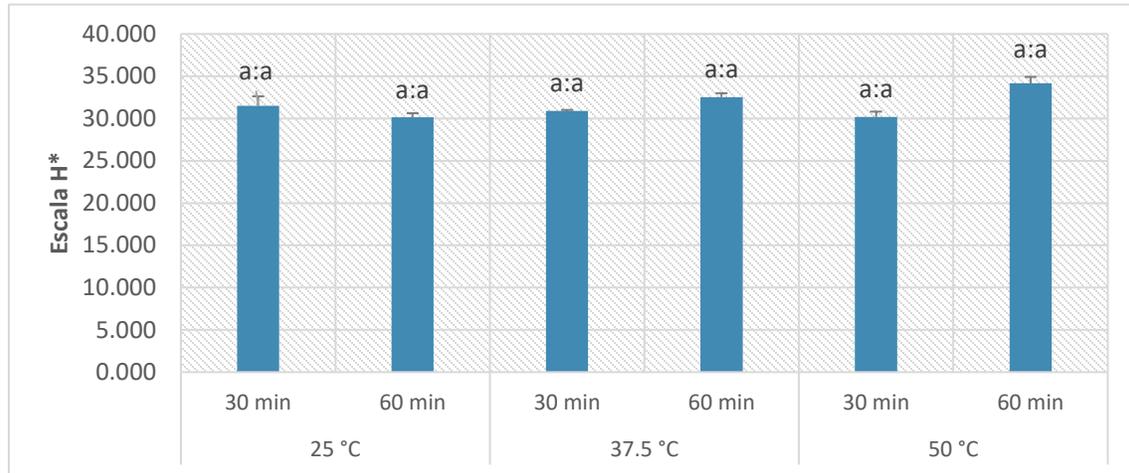


Figura 30. Valores obtenidos de la tonalidad (H^*) en las muestras de salsas pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.

Haciendo el comparativo con el tratamiento térmico (figura 31), se pueden apreciar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, siendo 24 % mayor el tratamiento térmico, lo cual se puede justificar con el efecto del calor sobre la composición principal de pigmentos en la salsa por parte de la tuna (betalaínas), ya que Huang y Von Elbe (1985) explican que la exposición con calor se puede interpretar un cambio de tonalidad de color gradual, del rojo característico de estos pigmentos hasta llegar a un color marrón claro.

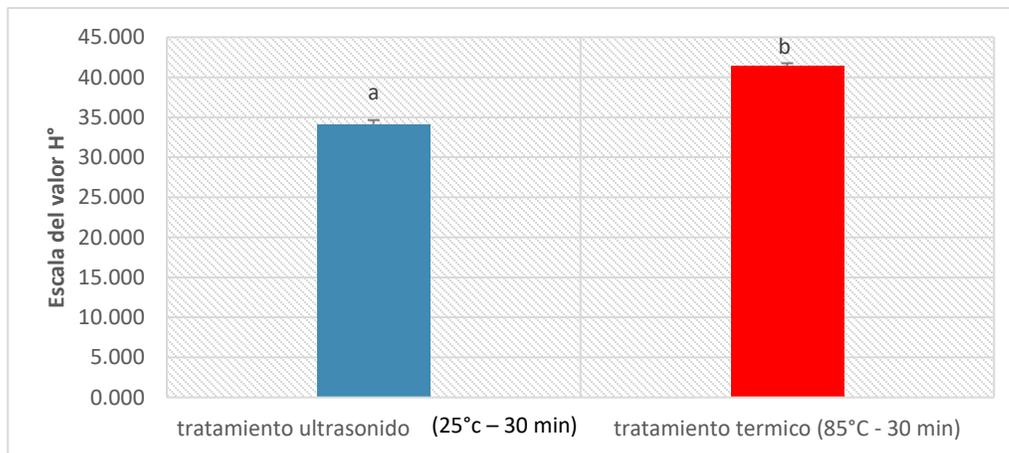


Figura 31. Comparativo de los valores de la tonalidad (H^*) entre el tratamiento térmico y ultrasonido. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.



4.5.2. Fenoles totales

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 32) del análisis de fenoles totales de cada una de las muestras de salsa analizadas a las condiciones establecidas con el tratamiento de ultrasonido, se pueden detallar diferencias significativas entre condiciones de trabajo ($p \leq 0.05$), que se acentúan más con las condiciones de 37.5° y 30 min.

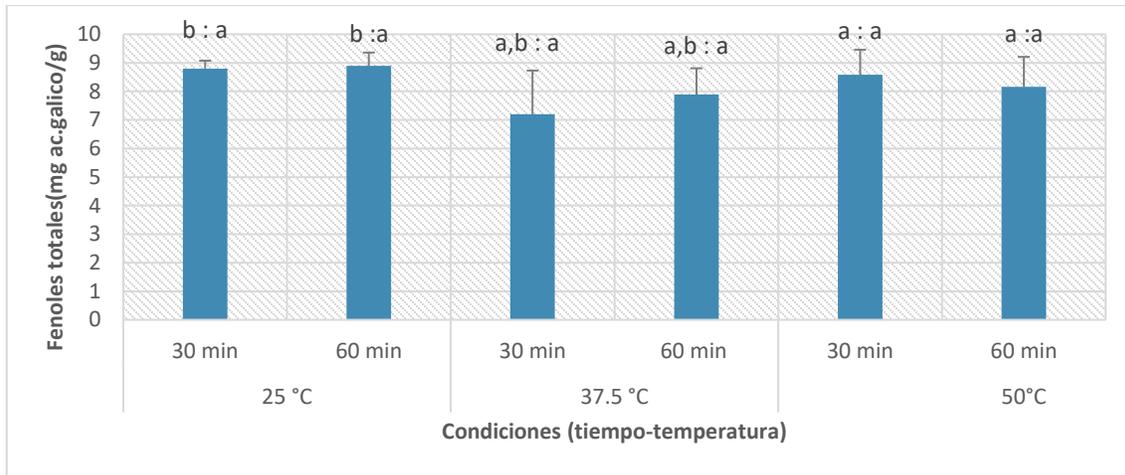


Figura 32. Valores obtenidos de fenoles totales, en las muestras de salsa pasteurizadas con ultrasonido a diferentes condiciones. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.

Sin embargo, haciendo el comparativo (figura 33) de las condiciones del ultrasonido con el tratamiento térmico, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Una idea anticipada daba lugar a entender que el efecto del tratamiento térmico en muestras de salsa podía provocar una degradación o merma de ciertos compuestos bioactivos o fenólicos, tal como lo describe Parra Ortega (2004), Sin embargo con base a los resultados obtenidos, se puede concluir que no existen diferencias entre tratamientos, que en parte se puede deber a que durante los tratamiento térmicos pueden existir una serie de reacciones, que estarían favoreciendo la composición de algunos compuestos fenólicos menos sensible al calor. Según lo reportado por Borchani et al. (2011) y Mei-Ling et al. (2011), en sus investigaciones sobre la influencia de la temperatura de compuestos fenólico, reportan resultados sobre un incremento, una vez que las muestras de alimento se exponen a temperaturas mayores a los 80°C, algo similar a lo obtenido en el sentido de que no se degrada la composición de fenoles totales en la salsa.

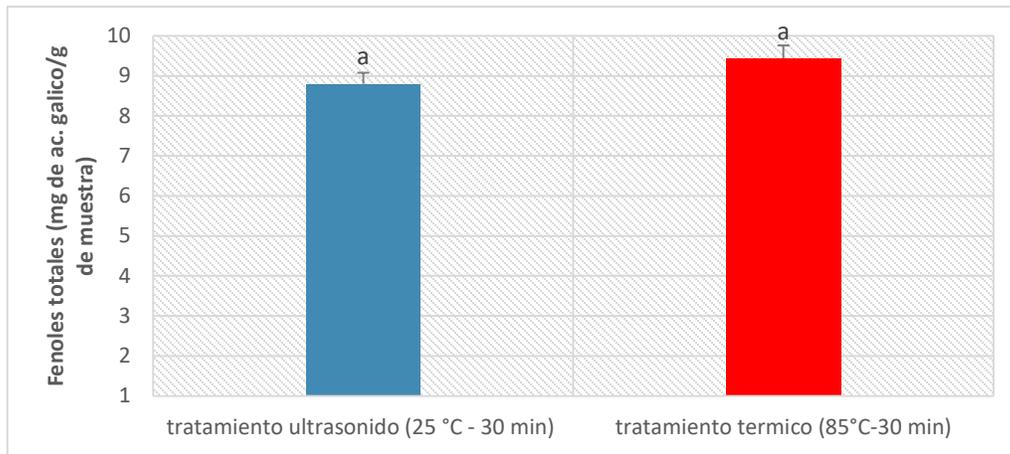


Figura 33. Comparativo de fenoles totales, entre los tratamientos térmico y ultrasonido. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas

4.5.3. Capacidad antioxidante

En los resultados obtenidos (figura 34) de la capacidad antioxidante de las muestras pasteurizadas con el tratamiento de ultrasonido, se pueden hacer algunas observaciones que indican diferencias significativas entre condiciones, que no se aprecian a las condiciones de 25°C con ambos tiempos (30 y 60 min). En este caso a las condiciones de 25°C y 30 minutos se obtuvo el valor más alto con respecto a la capacidad antioxidante, seguido del tratamiento de 50 °C y 30 minutos con una diferencia del 21.8 %.

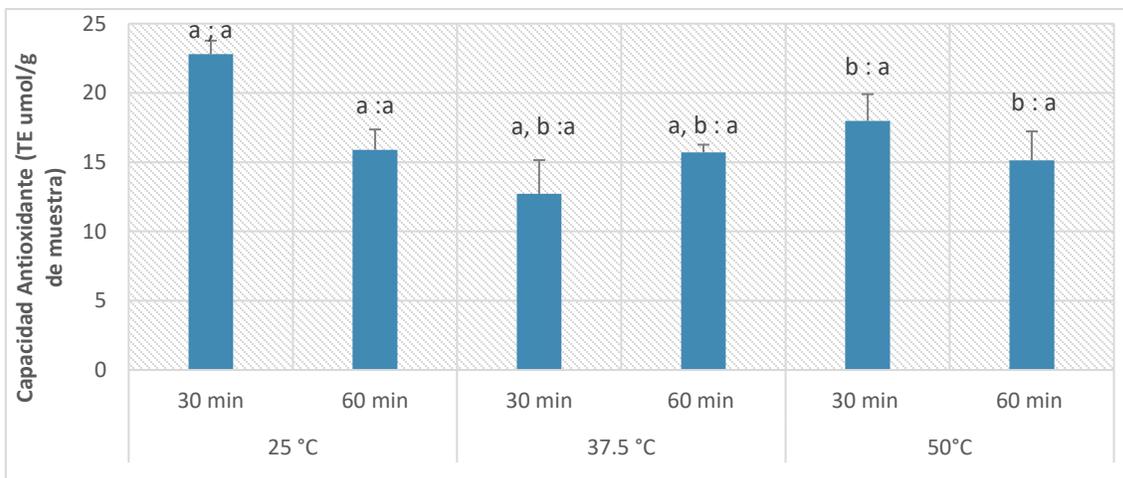


Figura 34. Valores obtenidos de capacidad antioxidante en las muestras de salsa pasteurizada con ultrasonido a diferentes condiciones. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.



Las variables de tiempo y temperatura demostraron tener influencia en el tratamiento de ultrasonido con respecto a la capacidad antioxidante, ya que se observa una tendencia a disminuir con el aumento de dichas variables. para este análisis se esperaban resultados similares a los obtenidos de fenoles totales, que cuentan con esa propiedad anti-radical y donde se observó que no hubo diferencias tan detalladas entre condiciones en comparación con los resultados de la capacidad antioxidante, sin embargo, para dicha técnica la composición de: aminoácidos, vitaminas y ácidos grasos, presentes en todos los ingredientes utilizados y que tiene la misma función anti-radical, estarían marcando esa diferencia, ya que según lo citado por Chuah *et al.*, (2008) explican que dichos compuestos, son más sensibles a los efectos del calor, oxígeno y luz solar, oxidándolos, alterando sus estructuras y haciendo que pierdan esa propiedad funcional.

La comparación entre el tratamiento térmico y las condiciones del tratamiento con ultrasonido (figura 35) seleccionadas, demuestran diferencias significativas ($p < 0.05$) siendo el tratamiento con ultrasonido 10.81% mayor, demostrando ser más sensible con aquellos compuestos que cuentan con esa propiedad antioxidante, lo cual en un sentido nutricional resulta ser muy beneficioso.

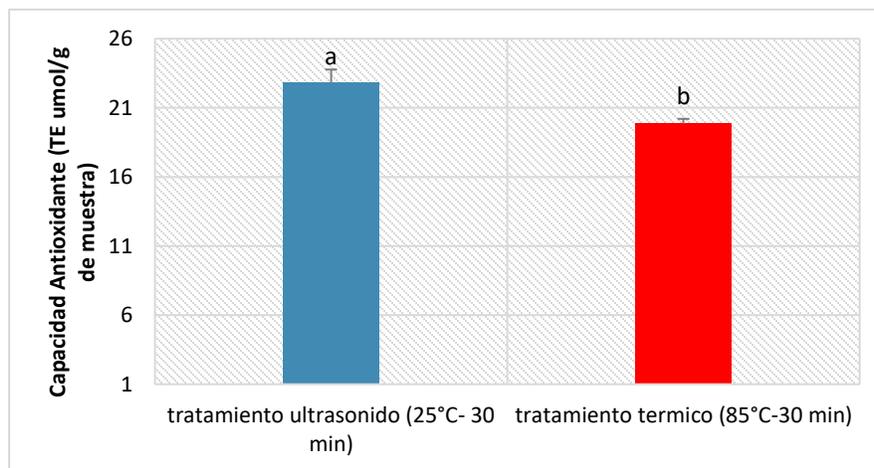


Figura 35. Comparativo de la capacidad antioxidante, entre los tratamientos térmico y ultrasonido. Las letras diferentes en cada barra indican si existen diferencias significativas.

4.5.4 Microbiológico

Los resultados correspondientes al análisis microbiológico, donde se estableció el análisis exclusivo de coliformes totales, en donde se reportaron las UFC/g o ml, en placa Agar rojo



Violeta Bilis, incubados a 35°C durante 24 ± 2 h, para evaluar cada una de las muestras de salsa expuestas a las condiciones establecidas de los 2 tratamientos.

De acuerdo con la NOM-092-SSA1-1994, se hizo un análisis, el cual corresponde a la denominación: UFC/g o ml = <1, para cada una de las muestras examinadas (tabla 14), esto debido a que en ninguno de los casos se observó desarrollo de colonias, lo cual, desde un punto de vista biológico, puede representar la eficiencia de ambos métodos utilizados para ese tipo de microorganismo.

Tabla 14. Análisis microbiológico de las muestras de salsa pasteurizadas con el tratamiento térmico y con ultrasonido a diferentes condiciones.

TRATAMIENTO	ULTRASONIDO						TÉRMIICO
	25°C		37.5°C		50 °C		80°C
	30 min	60 min	30 min	60 min	30 min	60 min	30 min
UFC/g o ml Coliformes Totales	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

4.6. Estudio de vida de anaquel

Para ser parte del proyecto, una vez seleccionadas las condiciones del tratamiento con ultrasonido, se implementó un estudio de vida de anaquel acelerado, para observar a más detalle las diferencias que pueden existir en la aplicación de 2 diferentes métodos de conservación: térmico y ultrasonido. Los análisis desarrollados fueron: fenoles totales, capacidad antioxidante, colorimetría y presencia de coliformes totales.

4.6.1 Fenoles totales

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 36), se observó que el contenido de fenoles totales incrementa durante el almacenamiento con las 3 temperaturas utilizadas, en el caso de la salsa almacenada a 15 °C el contenido de fenoles incrementó hasta un valor de 21 mg de ácido gálico/g de muestra con ambos tratamientos, siendo 71 % mayor el valor con ultrasonido y 57 % mayor con el tratamiento térmico, ambos con respecto a su valor inicial. En cuanto a la salsa de tuna almacenada a 25 °C, se reportó un incremento hasta el valor de



26 mg ac. gálico/ g de muestra, para con ambos tratamientos, siendo 73 % mayor el valor con ultrasonido y un 67 % con el tratamiento térmico, ambos con respecto a su valor inicial. Con el almacenamiento a 35°C se observó un incremento hasta el valor de 24 mg ac. gálico/ g de muestra, siendo 70.8 % mayor el valor con ultrasonido y 62.5 % mayor con el tratamiento térmico, el mayor aumento se dio entre los días 0 y 24 con las 3 temperaturas.

El incremento observado en el contenido de fenoles de la salsa durante el almacenamiento puede ser explicado a la gran variedad de ingredientes empleados en la formulación de la salsa, en donde se encuentra una gran diversidad de compuestos, variedades de flavonoides como: antocianinas, catequinas, chalconas, lignanos, taninos entre otros. Según las fuentes consultadas (Catania, 2007. Marcano-Hasegawa, 2002., Sánchez *et al.*, 2016. Saito *et al.*, 2008), si las condiciones de almacenamiento favorecen la interacción entre compuestos fenólicos, se pueden estar generando síntesis de polifenoles a partir de la polimerización de fenoles simples, que favorecieron la composición de fenoles totales de las salsas durante el estudio de vida de anaquel. Dichas fuentes también indican que tal polimerización se pueda dar por reacciones de tipo oxidación (polimerización oxidativa), sinergismo y co-pigmentación.

Como ejemplos mencionados en los mismos artículos consultados indican o dan una sugerencia de una serie de procesos o reacciones que pueden sufrir algunos compuestos en almacenamiento, como los taninos y las antocianinas, que pueden desarrollar reacciones: de tipo condensación, acción con el oxígeno, los de polimerización entre taninos entre sí y los que involucran la unión de los mismos con polisacáridos y el sinergismos que puede haber entre diferentes clases de flavonoides (Catania, 2007). Las condiciones del estudio de vida de anaquel habrían tenido influencia sobre los fenoles presentes siendo muy importante la acción del oxígeno y de la temperatura (Catania, 2007), e incluso algunas reacciones de tipo hidrólisis (por el bajo nivel de pH de las salsas, cercano a 2.8), contrario a la polimerización, podrían estar favoreciendo dicho aumento de compuestos fenólicos, según lo explica en su artículo Catania (2007), que, en condiciones ácidas, por hidrólisis las estructuras de los taninos se pueden romper y generar ácidos orgánicos, como el ácido gálico.

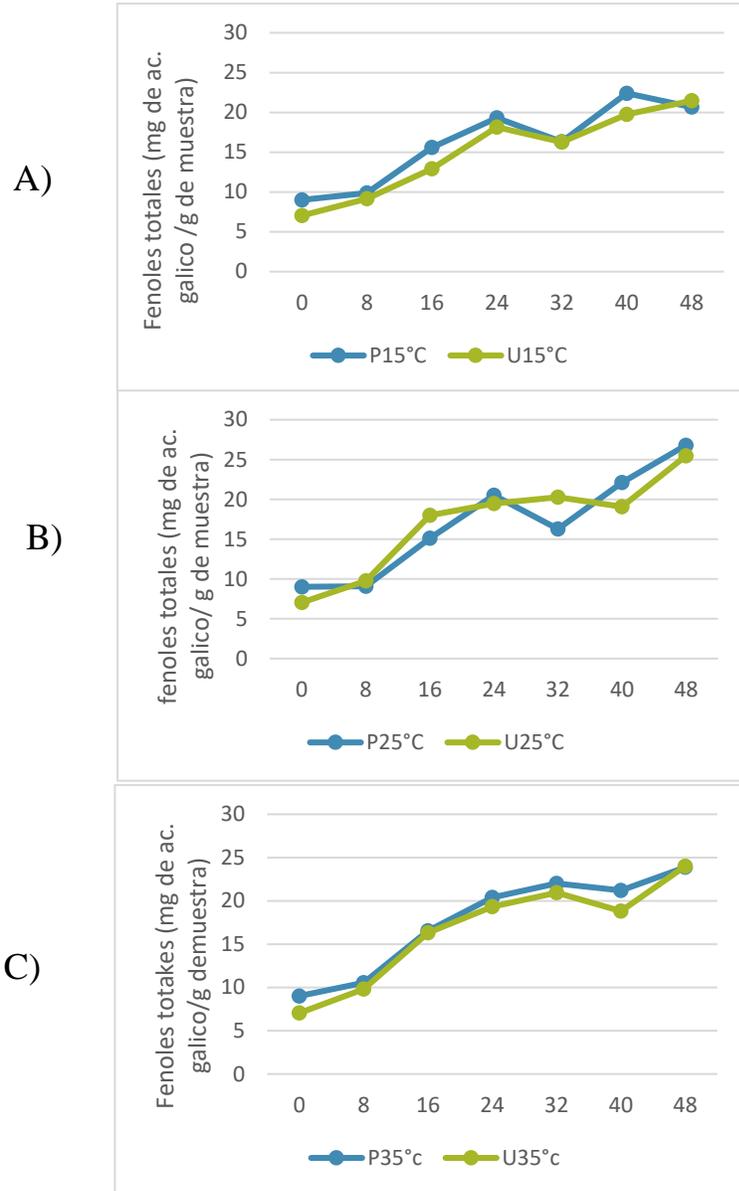


Figura 36. Efecto del almacenamiento a las temperaturas 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C), sobre los fenoles totales en las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, donde P: pasteurización térmica y U: ultrasonido.

4.6.2 Capacidad Antioxidante

En la figura 37, se puede observar que la capacidad antioxidante expresada en TE umol/g de salsa de las muestras almacenadas a las 3 temperaturas, de igual forma se incrementa al paso de los días. En el caso de la temperatura de 15 °C, se reporta un valor 57.5 % mayor con el



tratamiento de ultrasonido y 37.5 % mayor con el tratamiento térmico, ambos con respecto a su valor inicial. En el caso de la temperatura de 25°C se registró un valor de 52.7 % mayor con el tratamiento de ultrasonido y 50 % mayor con el tratamiento térmico. Con la temperatura de 35°C se reportó un valor de 52.7% mayor con el tratamiento de ultrasonido y 44.4% mayor con el tratamiento térmico. El aumento gradual de la capacidad antioxidante con cada una de las temperaturas utilizadas se puede relacionar en parte con la composición de compuestos fenólicos, que cuentan con esa propiedad anti-radical y cuyo comportamiento (aumento gradual) es muy similar.

En un análisis más profundo, artículos consultados indican que el efecto de la polimerización de diversos compuestos, influyen directamente en el aumento de la capacidad antioxidante (Marcano-Hasegawa, 2002., Sánchez *et al.*, 2016., Saito *et al.*, 2008), ya que, en el mismo contexto del análisis de fenoles totales, existe una variedad de compuestos, presentes en cada uno de los ingredientes utilizados, que estarían interactuando entre sí y formando diferentes tipos de polímeros.

Por otro lado, es observable que, en los gráficos de cada una de las temperaturas, existe una ligera disminución de la capacidad antioxidante en el día no. 8, que después suele repetirse, pero en días diferentes, este comportamiento se puede relacionar a que existen compuestos más sensibles a los efectos del calor, pH y almacenamiento en general, como: las vitaminas y algunos aminoácidos, cuya función es el comportamiento antioxidante y estarían afectando dicha propiedad. Sin embargo, la tendencia, de forma general se puede interpretar como un ascenso de la CA durante el estudio de vida de anaquel de principio a fin, lo cual estaría siendo beneficiado de mejor forma por las interacciones entre variedades de compuestos.

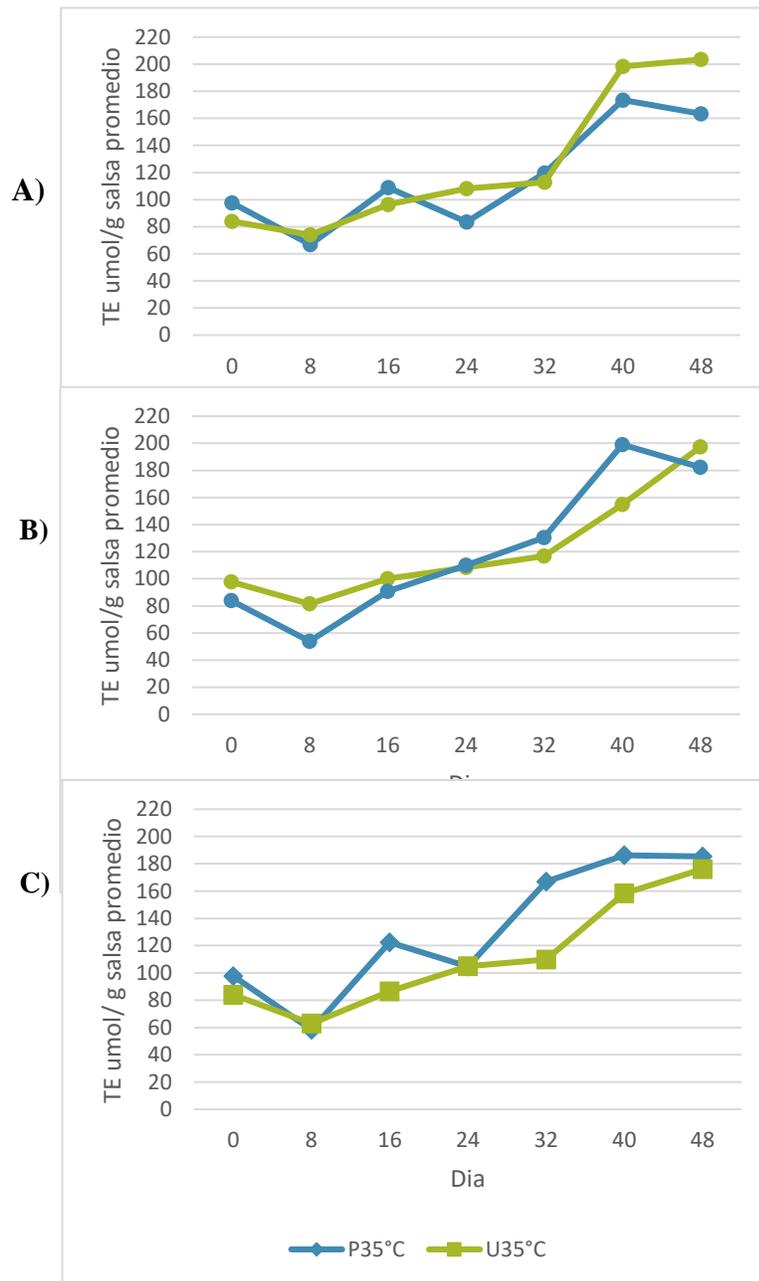


Figura 37. Efecto del almacenamiento a las temperaturas 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C) sobre los fenoles totales en las muestras de salsa de pulpa y cascara de tuna. Dónde: P (pasteurización térmica) y U (ultrasonido)



4.6.4 Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico de las muestras de salsa expuestas con ultrasonido (tabla 15), en donde se evaluó como indicador de la calidad del producto la presencia de mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras, detallan que durante el almacenamiento de las muestras de salsa con 3 diferentes temperaturas, hubo desarrollo de tales microorganismos biológicos, con excepción de coliformes totales, lo cual indico que el tratamiento no fue tan efectivo. La inactivación de agentes biológicos por ultrasonido depende de factores dependientes de las características del microorganismo, de las características del medio de tratamiento, composición del alimento y condiciones del tratamiento (FBK, MÉXICO), en ese sentido de acuerdo con la bibliografía consultada: en cuanto más viscoso es un líquido (mayor resistencia a fluir), menor es el efecto de la cavitación como efecto el ultrasonido (Parzanese, 2022), considerando lo anterior la salsa elaborada es un sistema viscoso y disperso de solidos que estarían afectando la efectividad del tratamiento.

Por otra parte, se puede observar que durante el estudio de vida de anaquel, el comportamiento de mesófilos aerobios, hongos y levaduras en ciertas temperaturas, seguían el modelo de curva de crecimiento bacteriano en función del tiempo, ejemplificando las fases de latencia, crecimiento exponencial y muerte celular. De acuerdo con la bibliografía consultada (FBK, MÉXICO) estas observaciones se pueden relacionar a factores extrínsecos (humedad, temperatura), intrínsecos (composición química, pH, AW) y algunos metabolitos sintetizados, a los que fueron sometidos las muestras de salsa durante el estudio. Sin embargo, los microorganismos en cuestión no desarrollaron el mismo comportamiento a la temperatura de 15°C, dejando en duda la experimentación, ya que mesófilos aerobios se desarrollan a temperaturas que van de 20°C a 40°C (NOM-092-SSA1-1994), sin embargo, de acuerdo a la bibliografía consultada la temperatura mínima de desarrollo de mesófilos aerobios puede llegar a ser de 10°C (FBK, MÉXICO).



Tabla 15. Análisis microbiológico durante la vida de anaquel, muestras con tratamiento de ultrasonido.

Dia	15°C			25°C			35°C		
	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL
0	880	440	<100	880	440	<100	880	440	<100
8	7,850	92,525	<100	68,312	1,375,000	<100	2,412	2,750	<100
16	18,075	2,500,000	<100	15,250	17,625	<100	<100	13,950	<100
24	28,500	1,025,000	<100	<100	5,650	<100	<100	<100	<100
32	11,750	2,000,000	<100	2,500	58,500	<100	<100	<100	<100
40	1,420	2,500,000	<100	230	882	<100	<100	<100	<100
48	2,190,000	2,500,000	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100

Por otro lado, se puede observar que los resultados de las muestras pasteurizadas con el tratamiento térmico (Tabla 16), indican que el tratamiento fue más eficiente en cuanto a la eliminación de los 3 grupos de microorganismos estudiados. Se puede detallar que a lo largo del estudio hubo desarrollo de algunos microorganismos en algunos días, lo cual se atribuyó a una posible contaminación cruzada de las muestras durante el día de análisis correspondiente, ya que la velocidad de crecimiento no sigue una tendencia.

Tabla 16. Análisis microbiológico de las muestras pasteurizadas con el tratamiento térmico.

Dia	15°C			25°C			35°C		
	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL	Mesófilos aerobios UFC/mL	Hongos y levaduras UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL
0	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
8	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
16	25,00	2,500	<100	2,500	<100	<100	<100	<100	<100
24	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
32	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
40	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	9,600	<100
48	<100	<100	<100	<100	<100	<100	1000	<100	<100



4.6.4. Colorimetría

4.6.4.1 Variación del color

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 38), en cuanto a la variación del color de las muestras de salsa (ΔE), se pueden hacer algunas observaciones: con el tratamiento de ultrasonido es observable que la temperatura es la variable que tuvo mayor efecto sobre la variación del color, aumentando el valor conforme aumentaba la temperatura de almacenamiento, y se puede relacionar directamente al efecto de las temperatura sobre los compuestos betalamicos, que otorgan los pigmentos naturales y de mayor composición en las muestras de salsa. De acuerdo a las fuentes consultadas los factores más relevantes en la estabilidad de dicho pigmento en almacenamiento es la temperatura y el pH (Huang y Von Elbe.,1985) explican que el efecto se enfoca en la degradación de las estructuras, presentándose una pérdida de color que va desde el rojo característico de esos pigmentos hasta formarse un marrón claro (Huang y Von elbe, 1985) tomando en cuenta los valores de inicio a fin, el almacenamiento a 15°C tuvo el menor incremento en términos del (ΔE), que fue de 4 puntos en esa escala, considerable tomando en cuenta que las betalainas, tienen más estabilidad a temperaturas relativamente bajas (Herbach *et al.*, 2005), mientras que con las temperaturas de 25 y 35°C, tuvieron un incremento de 12 y 10 puntos de esa misma escala, respectivamente.

El almacenamiento de las muestras pasteurizadas con el tratamiento térmico, tuvieron un comportamiento distinto al tratamiento con ultrasonido. Es observable ligeros aumentos y reducciones al paso de los días con cada una de las tres temperaturas, sin embargo, de forma general, se interpreta un aumento de la variación de color de principio a fin; del 25% a 15°C, 16% a 25°C y una reducción del 15% a 35°C. Este comportamiento se puede justificar con el efecto del tratamiento como tal sobre los compuestos betalamicos. según la bibliografía, durante los procesos térmicos las betacianinas y betaxantinas (compuestos betalamicos) pueden degradarse por isomerización, desglicosilación, hidrólisis, deshidrogenación y descarboxilación (Von elbe *et al.*, 1974) todo esto en función del tiempo y la temperatura de exposición. Por lo tanto, si gran parte de la composición de betalainas se degradó durante el



tratamiento térmico de las salsas (previo al almacenamiento), es de esperarse que durante el almacenamiento haya una menor degradación de dichos compuestos y por lo tanto una menor variación del color. El aumento y reducción de las curvas durante el almacenamiento se puede justificar con los bajos niveles de oxígeno presentes dentro de los frascos, que pueden favorecer la recuperación del pigmento, después de degradarse (Huang y Von Elbe, 1987).

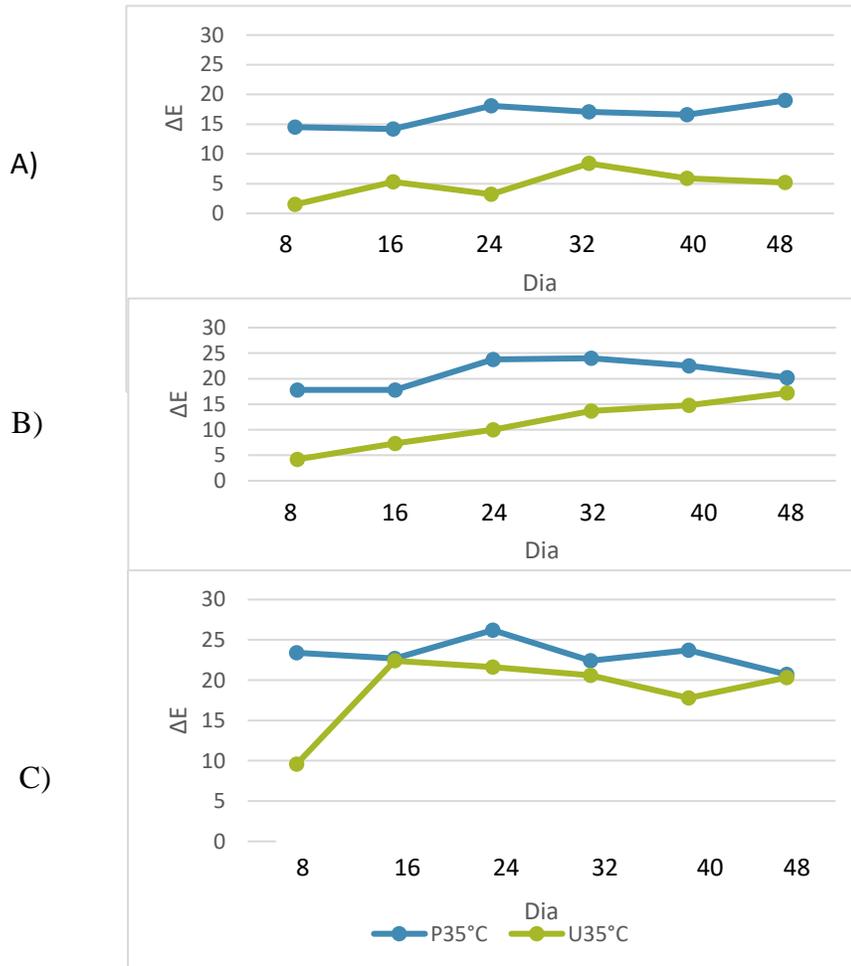


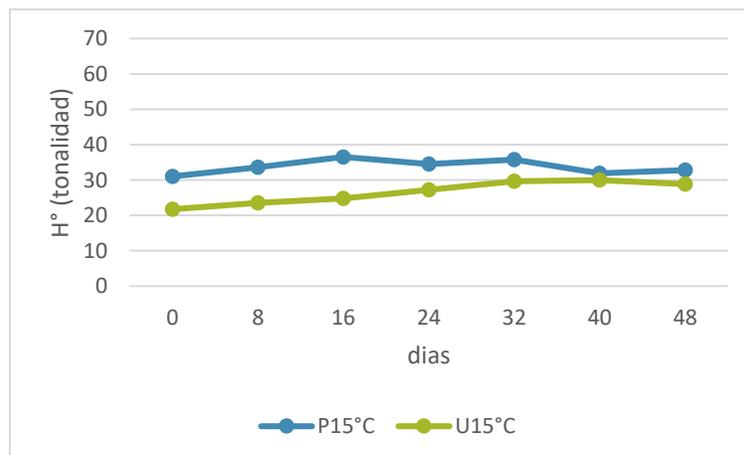
Figura 38. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25 °C (B) y 35 °C (C) sobre la variación del color (ΔE) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P).



4.6.4.2 Tonalidad (H°)

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 39) De la tonalidad (H°) de las muestras de salsa sometidas con los métodos de pasteurización, se pueden hacer observaciones en cuanto al efecto de las temperaturas. En ambos tratamientos se puede notar que la temperatura de 15°C, se presentan ligeros aumento de principio a fin, del 9 % con el tratamiento térmico y 26.6 % con el de ultrasonido, esto se puede relacionar a la estabilidad de las betalaínas (como pigmento principal) sometidas a temperaturas relativamente bajas. (Herbach *et al.*, 2005). Mientras que con las temperaturas de 25 y 35°C es evidente del cambio de tonalidad (H°) al paso del tiempo de almacenamiento, aumentando 42% promedio con el tratamiento térmico, 57.7% con el tratamiento de ultrasonido a 25°C y 65 % con el mismo tratamiento a 35°C, para en ambos casos las curvas ascienden desde el rango de colores rojo hasta el rango de colores naranjas y amarillentos, según los resultados expresados en ángulos de tono en el espacio de color. Este comportamiento se puede justificar con la bibliografía consultada y antes mencionada que explica que temperaturas relativamente elevadas dan inestabilidad a los compuestos betalamicos, que se pueden degradar, lo que conlleva a que se generen tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un intenso café, dependiendo de la intensidad del calor (Huang y Von Elbe, 1985, 1987;). En el caso de los compuestos betalamicos, se puede agregar que cuando la betanina (subgrupo de las betacianinas) sufre des-hidrogenación, como efecto de la temperatura, se genera otro compuesto betalámico, la neobetanina, observándose un cambio de color rojo a amarillo (Reshmi *et al.*, 2012).

A)



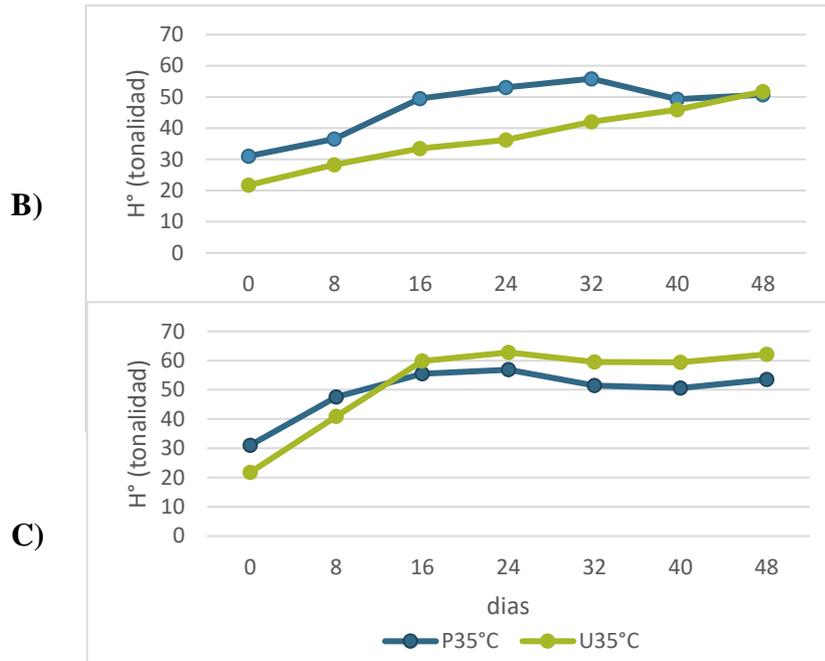


Figura 39. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C) sobre la tonalidad (H°) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P).

4.6.4.3 Cromo (C*)

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 40), es observable el efecto del almacenamiento sobre la saturación o Cromo C* de las muestras en ambos tratamientos. En cuanto al primer tratamiento térmico se pueden observar ligeros aumentos en las 3 curvas correspondiente a las 3 temperaturas utilizadas, sobre todo en los días 8-24, pero en términos generales tomando en cuenta el principio y fin, se puede observar una tendencia general descendente (reducción promedio del 42.8 %) dando a entender que el color de las muestras se hace más opaco al final del estudio, caso contrario con el tratamiento de ultrasonido, que se observa una tendencia ligeramente a la alza, demostrando que el color de las muestras se mantiene constante, sobre todo en los días 0-24 para 15 y 25°C y finalmente se vuelve más intenso (aumento promedio del 13%). Una posible justificación del comportamiento de ambos tratamientos se relaciona a lo ya mencionado acerca del efecto que pudieron tener los compuestos betalamicos de las salsas, previo al almacenamiento, ya que el tratamiento térmico al ser menos sensible con dichos compuestos, se pueden degradar y someter a reacciones de tipo: isomerización, desglucosilación, hidrólisis, deshidrogenación y



descarboxilación (Von Elbe *et al.*, 1974; Huang y Von Elbe, 1985). Dichas reacciones, influyen para la generación de diversos compuestos que contribuyen al cambio de color e intensidad de lo mismo (Dadali *et al.*, 2007), por lo tanto, el cambio previo de las estructuras de todos aquellos compuestos responsables del color, estarían afectando el croma o saturación del color de las salsas almacenadas.

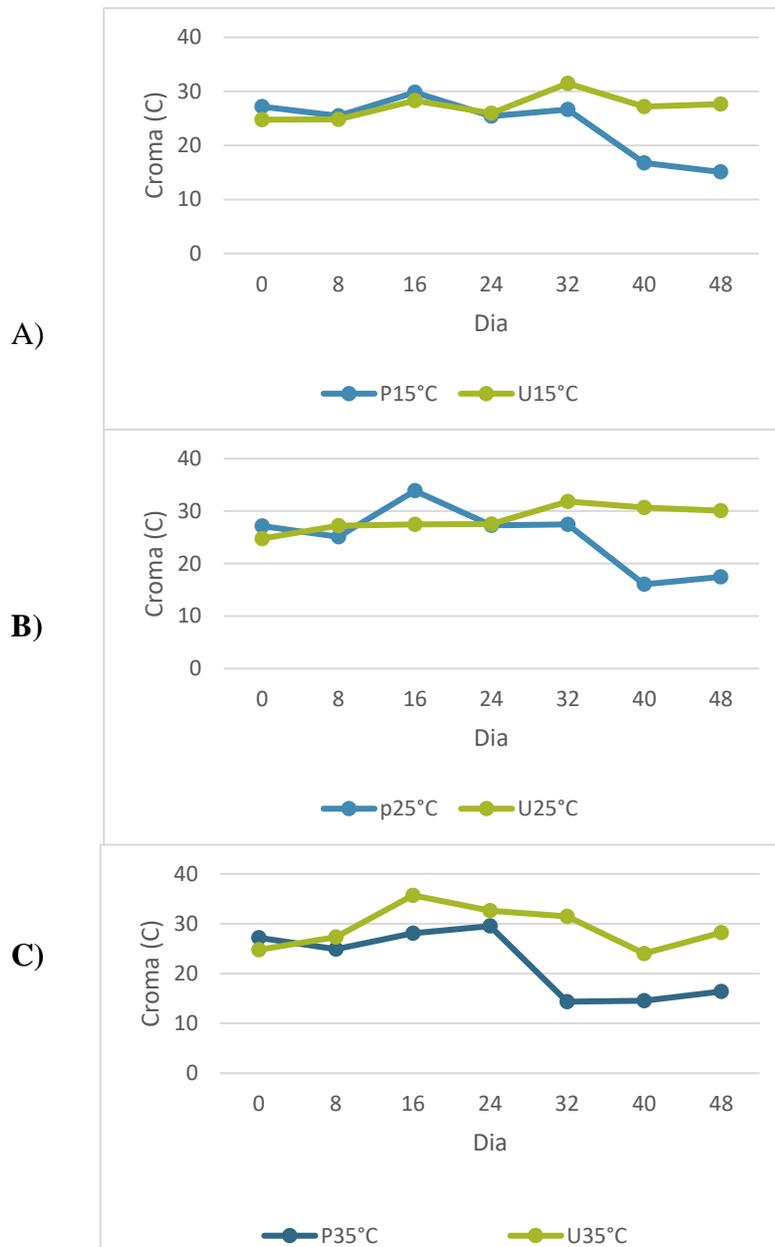


Figura 40. Efecto del almacenamiento a las temperaturas de: 15 °C (A), 25°C (B) y 35°C (C), sobre el croma (C*) de las muestras de salsa de pulpa y cáscara de tuna, expuestas a



los tratamientos de ultrasonido (U) y pasteurización térmica (P).

4.6.5. Cinética de reacción

Llegando a este punto, en el cual se determinó la vida útil del producto con enfoque a los fenoles totales que fueron cuantificados a lo largo de los 48 días a las 3 temperaturas seleccionadas, se obtuvo el siguiente gráfico (figura 41):

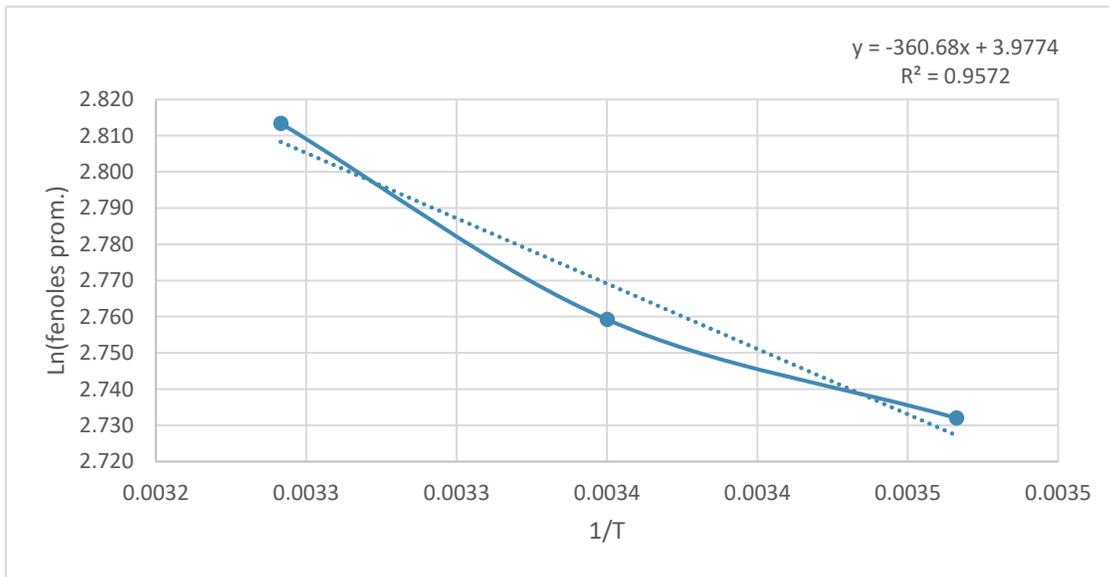


Figura 41. Cinética de Arrhenius de la salsa de cáscara y pulpa de tuna con enfoque a los fenoles totales y tratamiento térmico.

Se tomó como ejemplo la secuencia de cálculo con los datos del tratamiento térmico, con ello se calculó el logaritmo natural de los promedios de fenoles totales y el inverso de las tres temperaturas de almacenamiento. Se aplicó el método de mínimos cuadrados con los datos de la variable independiente (tiempo) y la variable dependiente (logaritmo natural de los promedios de fenoles totales) para obtener la ecuación de la recta de la cinética de primer orden de la velocidad de deterioro con enfoque a los fenoles totales, que se aprecia en la esquina superior derecha de la figura 33. Con los datos obtenidos de la ecuación de la cinética de primer orden (pendiente y ordenada al origen), se sustituyen por partes en la ecuación de Arrhenius linear (Ecuación 6).

$$k = A e^{-\frac{Ea}{RT}} \tag{Ec.6}$$



En ese sentido primero se realizó el cálculo de la energía de activación en conjunto del inverso de las temperaturas:

$$E_a = (-360.68 \text{ K}) \times (8.314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}) = 2998.69 \frac{\text{J}}{\text{mol}} ; \quad 1/T = \frac{1}{308.5 \text{ K} - 288.5 \text{ K}} = -0.00022471 \text{ K}$$

Para después, calcular el valor de la constante de Arrhenius, con la ordenada al origen de la ecuación cinética y hacer un producto de todo:

$$A = e^{3.9774} = 53.39 \quad \nabla \quad k (t \text{ } 15^\circ\text{C o } 288.15 \text{ K}) = 53.39 e^{\frac{2998.69 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{(8.314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}})(0.00022471 \text{ K})}} = 58 \text{ días}$$

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de vida de anaquel de la salsa de cáscara y pulpa de tuna con enfoque a fenoles totales, considerando ambos tratamientos aplicados se determinó que la vida útil con tratamiento térmico es de 58 días y 72 días con el tratamiento de ultrasonido.



5. Conclusiones

- ❖ De acuerdo con la encuesta en línea aplicada, la idea de una ‘salsa a base de cáscara y pulpa de tuna’, tuvo una aceptación positiva por parte de los consumidores potenciales, los cuales seleccionaron a la tuna Cardona y verde, para la elaboración de la salsa.
- ❖ La caracterización de las cáscaras de tuna Cardona y verde, determinó que ambas poseen características nutricionales relevantes, sin embargo, en la cáscara de tuna Cardona se observaron valores sobresalientes en cuanto al contenido de fibra, fenoles totales y capacidad antioxidante, lo cual influyó para su selección.
- ❖ La evaluación sensorial determinó que no existió diferencia significativa en cuanto a la proporción de harina de cáscara de tuna, por lo cual se seleccionó la formulación de mayor concentración de harina, con la finalidad de aumentar la calidad nutricional de la salsa.
- ❖ La composición química de la salsa a base de cáscara y pulpa de tuna Cardona, indica que cuenta con un aporte nutrimental relevante, el cual se acentúa en su contenido de fibra y proteína, todos los componentes evaluados cumplieron las características de aceptabilidad de acuerdo con la NOM-051 y NMX-F-377.
- ❖ De acuerdo con los análisis desarrollados y diseño de experimento implementado se determinó que las condiciones de 30 minutos a 25°C son las ideales para el tratamiento de la salsa con ultrasonido.
- ❖ En base al estudio de vida de anaquel de la salsa con enfoque en los fenoles totales se determinó que son 58 días de vida útil implementando el tratamiento de pasteurización y 72 días implementando el tratamiento con ultrasonido.

**6. BIBLOGRAFÍA**

1. Abou-Elella M., Mohammed A. R. F. (2014). Antioxidant and anticancer activities of different constituents extracted from egyptian prickly pear cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) peel. *Biochemistry and Analytical biochemistry*. 3(2) 1:9. doi:10.4172/2161-1009.1000158
2. Allegra M. Tesoriere L., Livrea M. A. (2007). Betanin inhibits the myeloperoxidase/nitrite-induced oxidation of human low-density lipoproteins. *Free Radical Research*. 41(3) 335:341. DOI: [10.1080/10715760601038783](https://doi.org/10.1080/10715760601038783)
3. Allegra, M., Tesoriere, L., Livrea, M. A. (2007). Betanin inhibits the myeloperoxidase/nitrite-induced oxidation of human low-density lipoproteins. *Free Radical Research*. 41 (3): 335-341.
4. Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L., Vilku, K., Versteeg. (2008). Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innovative Food Science and Emerging Technologic*s, 9 (1) 155:160.
5. Aurand, L.W., Woods, A.E., Wells, M.R. (1987). *Food Composition and Analysis*. An AVI Book, New York.
6. Badwal M.S.F., Ciacchia F.T., Rajendran S., Drennan J. (1998). An investigation of conductivity, microstructure, and stability of electrolyte compositions in the system 9 mol% ($\text{Sc}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)$). *Solid state Ionics*. 109(3) 167-186. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(98\)00079-4](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(98)00079-4)
7. Bensadón S., Hervert-Hernández D., Sáyago-Ayerdi S. G., Goñi. (2010). By products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant foods for human nutrition*. 65(3) 210:216
8. Berastegui, E. (2010) métodos de conservación de alimentos. Universidad nacional de Cajamarca, Perú.
9. Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Blecker, C., Paquot, M., Attia, H. (2011). Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. *Food Chemistry*. 125(1) 1194:1201.



10. Bosiljkov, T. (2009) Impact ultrasound-enhanced homogenization on physical properties of soybean milk. 17(9) 1029:1034.
11. Brito, G. (2019, 29 de octubre) Salsas industriales: ¿Cómo hacer la mejor? Metal boss, integrando innovación. <https://www.metalboss.com.mx/blog/salsas-industriales>
12. Bermúdez-Aguirre, G., Barbosa, C. (2008). Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermo-sonication. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9 (2) 176:185.
13. Castro J., Paredes C., Muñoz D. (2009). Cultivo de la tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) Trujillo Perú. Gerencia regional la Libertad. 1:35
14. Catania, C., Avagnina., S. (2007) Implicancias organolépticas de los polifenoles del vino.EEA.INTA. 1 (9) 1:13. www.inta.gov.ar/documentos/curso-de-degustacion-de-vinos/.pdf 69
15. Cerezal, P. a. (2005). Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-índica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2da Región de Chile.
16. Chiteva R., Wairagu N. (2013). Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica* L. *African Journal of Biotechnology*. 12(21) 3309:3312
17. Chuah, A.M., Lee, Y.C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.J., Matoba, T. (2008) Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chem*, 111(1) 20:28.
18. Dadalı, G., Kılıç Apar, D., & Özbek, B. (2007). Microwave drying kinetics of Okra. *DryingTechnology*.25(1)917:924 <https://doi.org/10.1080/07373930701372254>
19. Delgado D. M. g. (2010). Cuantificación de vitamina C, polifenoles totales y actividad antioxidante en pulpa de guayaba (*Psidium Guajava* L.) fresca y tratada térmicamente. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.
20. Delgado, J. (2011) Aplicación del Ultrasonido en la Industria de los Alimentos. Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Bogotá, Colombia. pp: 2-4.



21. Demirdöven, A., Baysal, T. (2009). The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation, *Food Reviews International*. 25 (1) 1:11.
22. Earnshaw, R. G., Appleyard, J., Hurst, E. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound, and pressure. *International Journal of Food Microbiology*. 28 (3) 97:219.
23. Ertekina C., Gozlekci S., Kabas O., Sonmez S., Akinci I. (2006). Some physical, pomological, and nutritional properties of two plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. *Journal of food engineering* 75 (4) 508-514.
24. Esatbeyoglu T., Wagner a. E., Schini-Kerth V. A., Rimbach G. (2015). Betanin-A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition Food Research*. 59 36:47 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400484>
25. Feng, H., Yang, W., Hielscher, T. (2008). Power Ultrasound. *Food Science and Technology International*. 14 (5) 433:436.
26. FBK MEXICO (s.f) Factores que afectan el crecimiento bacteriano. <https://fbkmexico.com/factores-que-afectan-al-desarrollo-bacteriano/>.
27. FBK MEXICO (s.f) Clasificación de los microorganismos. <https://fbkmexico.com/clasificacion-de-los-microorganismos/>
28. Feugang J. M., Konarski P., Zou D., Stintzing F. C., Zou C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11 2574-2589 DOI: [10.2741/1992](https://doi.org/10.2741/1992)
29. Fideicomiso de Riesgo Compartido (2017, 06 de septiembre) La TUNA, una fruta muy mexicana. <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-tuna-una-fruta-muy-mexicana?idiom=es>
30. Figueiras, S. (2021, 25 de junio). Procesos de pasteurización de alimentos. European business school. <https://www.ceupe.mx/blog/procesos-de-pasteurizacion-alimentos.html> 70
31. Figuerola, F. (1997) Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas, Manual técnico. Tratado de cooperación



42. Hunter, G., M. Lucas., I. Watson., R. Parton (2008) A radial mode ultrasonic horn for the inactivation of *Escherichia coli* K12. *Ultrasonics sonochemistry*. 15 (2) 9:101
43. Huang A, Von Elbe JH (1985) Kinetics of the degradation and regeneration of betanine. *J. Food Sci.* 50(1) 1115:1120.
44. Huang, A., Von Elbe, JH. (1987) Effect of pH on the degradation and regeneration of betanine. *J. Food Sci.* 52(1) 1689:1693.
45. International Trade center, ITC. (S.F.) Lista de los exportadores para el producto seleccionado Producto: 2103 Preparaciones para salsas y salsas preparadas; condimentos y sazonadores. https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=3%7c%7c%7c%7c%7c2103%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1.
46. Jiménez-Aguilar D., López Martínez J., Hernández-Brenes M. (2015). Dietary fiber, phytochemical composition, and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *Journal of food composition and Analysis*. (41) 66:73 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.017>
47. Jimenez Alba J. E., Chavéz Servia J. L., Martínez A. J., Urrutia Hernández T. A., Cruz Huerta E., Aquino Bolaños E. N. (2020). Uso de atmósferas controladas para conservar la Calidad de tun roja (*Opuntia ficus-indica* L.) mínimamente procesada. *Nova scientia*. 11(23). <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1955>
48. Kapadia Govind J., Subba Rao G., Sridhar, Rajagopalan, Ichiishi, Eiichiro, Takasaki, Midori, Suzuki, Nobutaka, Konoshima, Takao, Iida, Akira, Tokuda, Harukuni. (2013). Chemoprevention of skin cancer: Effect of *Lawsonia inermis* L. (Henna) leaf powder and its pigment artifact, lawsone in the Epstein-Barr virus early antigen activation assay and in two-stage mouse skin carcinogenesis models. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*. 13(10) 1500:1507.
49. Kanner J., Harel S., Granit R. (2001). Batalains- A new class of dietary cationized antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 49 5178:5185. <https://doi.org/10.1021/jf010456f>
50. Kirk R. S., Sawyer R., Egan, H. (1996). *Composición y análisis de alimentos* (2 ed.); Compañía editorial continental, SA de CV, México.



51. Kuskoski, E.M., Asueroro, A.G., Troncoso, A.M., Garcia-Parrilla, M. C., Fett, R. (2004) Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Rev. Bras. Ciênc. Tecnol. Alim.* 24 (4) 691:693.
52. Koubaa M., Barba F. J., Grimi N., Mhemdi H., Koubaa W., Boussetta N. Vorobiev E. (2016). Recovery of colorants from red prickly pear peels and pulps enhanced by pulsed electric field and ultrasound. *Innovate Food Science and Emerging Technologies.* 37 336:344 <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.015>
53. Laborde, G. (1998). Una tecnología en la conservación de alimentos. *Rev, Iberciencia.* 16 (2) 2:7.
54. Leopoldini M., Marino T., Russo N., Toscano M. (2004). Antioxidant Properties of phenolic compounds: H-Atom versus electron transfer mechanism. *Journal of Chemical Information and Modeling.* 108 4916:4922 <https://doi.org/10.1021/jp037247d>
55. Lewis, M.J., Deeth, H.C. (2009). Heat treatment of milk. En Tamime, A.Y. (E⁷² Milk processing and quality management. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. pp:168-204.
56. Nielsen, S. (2003). *Food Analysis Laboratory Manual*; Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA.
57. Nollet, L. (1996). *Handbook of Food Analysis*, M. Dekker, New York, USA.
58. Manzur V. S. (2017). Capacidad antioxidante y propiedad funcional de la fibra de cáscara de tuna purpura (*Opuntia Ficus-Indica*) ultrasónica para el desarrollo de una gelatina. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Hidalgo.
59. Mayorga M.C., Urbiola M.C., Suárez R., Escamilla S. H. M. (1990) Estudio agronómico de xoconostle *Opuntia* spp. en la zona semiárida del Estado de Querétaro. Memoria 3^aReunión Nacional 1 a Reunión Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del nopal. Ed. Univeersidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ¿, Saltillo, Coahuila, México 239:245
60. Marcano, D, Hasegawa, M. (2002). Fitoquímica orgánica. Consejo de Desarrollo 2
61. and antioxidative capacities of the methanol extract citrus (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1) 1179:1185.



62. Mikołajczyk-Bator k., Pawlak S. (2016). The effect of thermal treatment on antioxidant capacity and pigment contents in separated betalain fractions. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 15 (3) 257:265. doi: 10.17306/J.AFS.2016.3.25
63. Montagne, P. (1938) Larousse Gastronomique. (Ed. 1961). Crown Publishers, Trad del francés, Librairie: Larousse, Paris.
64. NOM-093-SSA1-1994. Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
65. NOM-211-SSA1-2002. Productos y servicios. Métodos de prueba fisicoquímicos. Determinación de humedad y solidos totales en alimentos por secado en estufa.
66. NOM-F-90-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos.
67. NOM-F-317-S-1978. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de pH en alimentos.
68. NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
69. NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
70. NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. 73
71. NMX-F-103-1982. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de grados brix.
72. NMX-F-377-1986. Alimentos regionales. Salsa picante envasada.
73. Laurentin A., Douglas M., Edwards C. (2003) Dietary fibre in health and disease. *Nutrition Bulletin.* 28 (1) 69:72
74. Ochoa, C. (2019, 15 de septiembre) Salsas, el negocio mexicano que conquista todo el mundo. <https://www.milenio.com/negocios/salsas-el-negocio-mexicano-que-conquista-todo-el-mundo>
75. Parra-ortega, V. (2004). Estudio comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos, desde el punto de vista funcional y toxicológico. Tesis. Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias agrarias. Valdivia, Chile. pp: 9-20.



76. Parzanece, M. (s.f) Tecnologías para la Industria Alimentaria, ultrasonidos. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_19_Ultrasonidos_Alimentos.pdf
77. Perez-Tello, G. O., Silvia-Espinoza, B., Vargas-Arispuro, I., Martinez-Tellez, M. (2001). Effect of temperature on enzymatic and physiological factors related to chilling injury in carambola fruti (*Averrhoa carambola* L.). *Biochem. Biophys. Res. Com.* 287(1) 846:851.
78. Pomeranz, Y., Meloan C. E. (2000). *Food Analysis Theory and Practice*, Third Edition; Chapman & Hall, USA.
79. Porras-Loaiza A., López-Malo A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.* 3(1) 121-134
80. Quevedo Tello C. M. (2016) Perspectivas tecnológicas y nutricionales de la fibra dietética. *Tevista Pueblo Continente.* 18 (2) 253:265.
81. Representación Agricultura Estado de México (2021, 24 de agosto) Producción de tuna en el Estado de México. <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/produccion-de-tuna-en-el-estado-de-mexico?idiom=es>
82. Reshmi, S.K., Aravindhan, K.M., Devi, P.S. (2012). The effect of light, temperature, ph on stability of betacyanin pigments in *Basella alba* fruit. *Asian J. Pharmac. Cliin. Res.* 5(4) 5:8.
83. Sáenz H.C., Sepúlveda E. E. (1990). Ecotipos coloreados de tuna (*Opuntia ficus indica*). Facultad de Ciencias Agronómicas. Depto. Agroindustria y Enología. Universidad de Chile.
84. Sáenz H. C. (1999) Alternativas tecnológicas para el proceso de tuna y nopal. Em Aguirre R. J. R. y Reyes A. J. A. (Editores) *Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. 228:239
85. Sáenz H. C. (2004). Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. In: *El Nopal: Tópicos de Actualidad.* G. Esparza, R. Valdez y S. Méndez (eds). Universidad Autónoma de Chapingo. México. 211:222



86. Saito, M., Hosoyama, H., Ariga, T., Kataoka, S., N. Yamaji. (1998). Antiulcer activity of grape seed Extract and procyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 46 1460: 1464.
87. Sánchez-Mundo, M. L., Escobedo-Crisantes, V. M., Mendoza-Arvizu, S., Jaramillo-Flores, M. E. (2016). Polymerization of phenolic compounds by polyphenol oxidase from bell pepper with increase in their antioxidant capacity. *CyTA - Journal of Food*, 14(4) 594:603.
88. Salim N., Abdelwaheb C., Rabah C., Ahcene B. (2009). Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*. 8(8) 1623:1624
89. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2021, 02 de agosto) Crece producción de tuna en 2020, fruto para consumir esta temporada. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-produccion-de-tuna-en-2020-fruto-para-consumir-esta-temporada?idiom=es>.
90. Serris G. S., Biliaderis C. G. (2001). Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in polymeric matrices. *Journal of the science of food and agriculture*. 81(8) 691:700 <https://doi.org/10.1002/jsfa.864>
91. Saura-Calixto F., Goñi I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*. (101) 492:501
92. Scalbert A., Williamson G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *American Society for Nutritional Sciences*. 130 (8) 2073S:2085S <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2073S>
93. Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., Alexe, P. (2013). Non-thermal novel food processing technologies. An overview. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 19(2) 212:217.
94. Sumaya-Martínez M. T., Suárez-Diéguez T., Cruz-Cansino N. S., García S., Sampedro J.G. (2010). Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 27 435:441
95. Universidad del valle de puebla (s.f) Pasteurización lenta. <https://uvp.mx/uvpblog/pasteurizacion-lenta/>
96. Von Elbe J.H., Maing, I., Amundson, C. (1974). Colour stability of betanin. *J. Food Sci.* 39 (1) 334:337.



97. Zamora J. D. (2007). Antioxidantes: Micronutrientes em lucha por la salud. Ver. Chil. Nutr. 24(1) 17:26 <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100002>