



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**Desarrollo de un recubrimiento comestible adicionado
con extracto de cebolla para la inhibición de
Salmonella typhi en chile jalapeño.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

JOSSAFATH EMMANUEL CÁRDENAS RIVAS

ASESORES:

DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

M. EN C. DAVID RODRIGO LÓPEZ SOTO

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES EN INGENIERÍA
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Desarrollo de un recubrimiento comestible adicionado con extracto de cebolla para la inhibición de *Salmonella typhi* en chile jalapeño.

Que presenta el pasante: **Jossafath Emmanuel Cárdenas Rivas**
Con número de cuenta: **309086105** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de Agosto de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
VOCAL	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Q.F.B. Jonathan Pablo Paredes Juárez	
2do. SUPLENTE	M. en C. Selene Pascual Bustamante	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/mmgm*

El presente trabajo fue financiado
por el proyecto: Desarrollo
tecnológico para el aprovechamiento
integral de frutas y hortalizas
(PAPIIT IT 201216) de la Dirección
General de Asuntos del Personal
Académico de la UNAM.

Dedicatorias

A Guillermina e Israel

A Jhonnathan, Princess y Leslie

Los amo!!

Agradecimientos

A Dios por haberme permitido la vida y el entendimiento para poder alcanzar esta que es una de muchas metas que me propuse desde niño...muchas gracias.

A mi mamá Guillermina y papá Israel por el increíble, duro y constante trabajo de darnos aliento, cuidarnos, mostrarnos los valores que nos hacen mejores personas, por no rendirse nunca por más difícil que la vida se muestre, por su tenacidad, por acompañarme en los desvelos, por sus consejos, por ser los mejores modelos a seguir que pude haber tenido y por el amor que nos dan a mí y mis hermanos.

A mi hermano Jhonnathan y hermanas Princess y Leslie, por todos los momentos que hemos compartido, por los desvelos antes de un examen o de un seminario, por los consejos durante esta etapa y por su apoyo en los momentos de dificultad.

A mis amigos por las risas que siempre estaban presentes cuando nos juntábamos, por el apoyo y solidaridad en las clases y tareas difíciles, por aceptar mi manera de ser rara, por todos los momentos divertidos, tristes y de angustia que vivimos juntos durante esta etapa. Siempre estarán en mi mente Areli, Izchel, Miriam, Luis, Sergio...

A mis compañeros de laboratorio por formar parte de la recta final, por los ánimos mutuos, por el apoyo, compañerismo, motivaciones y experiencias. Sin ustedes habría sido muchísimo más difícil.

A Barbara y Wendy por su compañía tan amena, por su apoyo, por las experiencias que vivimos en este corto tiempo, por haberme acompañado esos días enteros en el laboratorio siempre con sus sonrisas e historias que me alegraban el día completo.

A la dra. Andrea, Selene, Adela y David por alentarme y no darme por vencido, por haberme permitido ser parte de la familia postcosecha, por su apoyo, ánimos y compromiso para llevar a cabo este proyecto, por su paciencia y sus enseñanzas, por enseñarme a trabajar con esmero, por compartir sus conocimientos conmigo y por mostrarme los hermosos que son los temas que abarca la carrera.

A la U.N.A.M. por su generosidad, disposición, herramientas, por ser como mi segunda casa y por darme la oportunidad de sentir el orgullo de pertenecer a una institución tan admirable como lo es ella.

Índice General

	Pág.
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen	1
1. Introducción	3
2. Antecedentes	5
2.1. Generalidades de la cebolla	5
2.1.1. Historia	5
2.1.2. Taxonomía	5
2.1.3. Producción	7
2.1.4. Composición química y propiedades	8
2.1.5. Polifenoles y flavonoides en la cebolla	9
2.2. Recubrimientos en alimentos	13
2.2.1. Importancia de los recubrimientos en la industria alimenticia	14
2.2.2. Características principales	14
2.2.3. Propiedades de los recubrimientos	15
2.2.4. Composición de los recubrimientos	16
2.3. Aditivos	18
2.3.1. Plastificantes	18
2.3.2. Compuestos Antimicrobianos	18
2.4. Mecanismos de formación de recubrimientos	20
2.5. Métodos para la aplicación de películas y recubrimientos	21
2.6. Recubrimientos antimicrobianos como envasado activo	22
2.7. Chile	23
2.7.1. Historia	23
2.7.2. Comercialización	24
2.7.4. Métodos de conservación	24
2.7.5. Almacenamiento	25
2.8. Enfermedades transmitidas por alimentos	25
2.8.1. Clasificación de enfermedades transmitidas por alimentos	27

2.8.2. Modo de transmisión de las enfermedades transmitidas por alimentos	27
2.9. <i>Salmonella typhi</i>	29
2.10. Prevención y control de ETA	31
3. Objetivos	33
3.1. Objetivo general	33
3.2. Objetivos particulares	33
4. Metodología experimental	34
4.1. Cuadro metodológico	34
4.2. Material biológico	35
4.3. Acondicionamiento de la materia prima	35
4.4. Métodos de extracción de compuestos bioactivos	35
4.4.1. Extracción asistida por ultrasonido	35
4.4.2. Extracción por maceración	35
4.4.3. Obtención directa del jugo de cebolla	35
4.5. Caracterización de dos variedades de cebolla	36
4.6. Pruebas de inhibición de <i>Salmonella typhi in vitro</i>	36
4.7. Elaboración del recubrimiento	37
4.8. Pruebas <i>in vivo</i> de inhibición de crecimiento de <i>Salmonella typhi</i> en chile 'Jalapeño'	38
4.9. Técnicas analíticas	41
4.9.1. Técnicas para evaluar cebolla y extractos	41
4.9.2. Técnicas para evaluar parámetros de calidad	42
4.10. Análisis Estadístico	44
5. Resultados y Discusión	45
5.1. Cuantificación de compuestos orgánicos en la cebolla blanca y morada	45
5.2. Cuantificación de compuestos orgánicos en extractos de la cebolla	49
5.3. Efecto inhibitorio del extracto de cebolla sobre <i>Salmonella typhi</i>	54
5.4. Efecto del recubrimiento adicionado con extracto de cebolla morada sobre la calidad de chile 'Jalapeño'	57
5.4.1. Sólidos solubles totales	57
5.4.2. pH	59
5.4.3. Color	60
5.4.4. Luminosidad	61

5.4.5. Croma	62
5.4.6. Tono	64
5.4.7. Pérdida de peso	65
5.5. Estudio de la inhibición de crecimiento de <i>Salmonella typhi</i> en Chile 'Jalapeño' utilizando un recubrimiento comestible adicionado con extracto de cebolla morada.	67
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Bibliografía	73

Índice de tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Variedades de cebolla producidas en México.	6
Tabla 2. Composición química de la cebolla.	9
Tabla 3. Subclases de Flavonoides.	11
Tabla 4. Características de matrices poliméricas formadoras de recubrimientos.	17
Tabla 5. Ventajas y desventajas de incorporar agente antimicrobiano en recubrimientos.	22
Tabla 6. Envases activos adicionados con agentes antimicrobianos para la conservación de alimentos.	23
Tabla 7. Microorganismos comunes relacionados con ETA.	28
Tabla 8. Formulación a base de Alginato de Sodio.	37
Tabla 9. Formulación "A".	38
Tabla 10. Formulación "B".	38
Tabla 11. Efecto del jugo de cebolla en el crecimiento de <i>Salmonella typhi</i> .	56
Tabla 12. Conteo de UFC para la prueba in vivo de chiles Jalapeños inoculados con <i>Salmonella typhi</i> .	69

Índice de figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Estados productores de cebolla en 2017.	8
Figura 2. Estructura básica de los flavonoides.	10
Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.	15
Figura 4. Número de muestras de <i>Salmonella</i> positivas en productos frescos en países de la Unión Europea de 2011 a 2012.	26
Figura 5. Morfología microscópica de <i>Salmonella typhi</i> .	30
Figura 6. Respuesta inmune a la infección por <i>Salmonella</i> .	31
Figura 7. Metodología para la prueba <i>in vitro</i> .	37
Figura 8. Metodología para la aplicación del recubrimiento sobre chile ‘Jalapeño’.	39
Figura 9. Potabilizador de agua Biozon 2000.	39
Figura 10. Metodología para la prueba <i>in vivo</i> .	40
Figura 11. Balanza analítica Scout-Pro.	43
Figura 12. Medición de color de chile jalapeño.	43
Figura 13. Refractómetro digital Atago.	44
Figura 14. Potenciómetro digital Woonsoket.	44
Figura 15. Contenido de fenoles totales en extractos de cebolla blanca y morada.	46
Figura 16. Contenido de flavonoides en extractos de cebolla blanca y cebolla morada.	47
Figura 17. Capacidad antioxidante de los extractos de cebolla blanca y morada.	48
Figura 18. Contenido de fenoles totales en extractos de cebolla morada.	50
Figura 19. Contenido de flavonoides en extractos de cebolla morada.	52
Figura 20. Capacidad Antioxidante de los extractos de cebolla morada.	53
Figura 21. Radio del halo de inhibición de las pruebas <i>in vitro</i> del extracto de cebolla morada sobre <i>Salmonella typhi</i> .	55
Figura 22. Efecto del recubrimiento en los sólidos solubles totales de chile ‘Jalapeño’.	58

Figura 23. Efecto del recubrimiento en el pH de chile 'Jalapeño'.	60
Figura 24. Efecto del recubrimiento en la Luminosidad de chile 'Jalapeño'.	61
Figura 25. Efecto del recubrimiento sobre Cromo de chile 'Jalapeño'.	63
Figura 26. Efecto del recubrimiento sobre °Hue de chile 'Jalapeño'.	64
Figura 27. Efecto del recubrimiento en la pérdida porcentual de peso de chile 'Jalapeño'.	66
Figura 28. Crecimiento de <i>Salmonella typhi</i> sobre chile 'Jalapeño'.	68

Resumen

La cebolla es una de las verduras más valoradas del mundo debido a que posee una gran cantidad de propiedades químicas que se pueden aprovechar como antiséptico, diurético, como jarabe para la tos, además posee acción antibacteriana, por lo que aporta varios beneficios a la salud. El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollar un envase activo adicionado con los compuestos bioactivos contenidos en la cebolla para controlar el crecimiento microbiano de *Salmonella typhi* en Chile jalapeño y de esta manera prolongar su vida útil y mejorar su inocuidad. El contenido de compuestos bioactivos se evaluó en cebolla blanca y morada, determinando el contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante, eligiendo la variedad de cebolla que presentará un mayor contenido de estos compuestos en su composición. Después se evaluó el método de extracción (ultrasonido, maceración y comparándolos con el jugo de cebolla homogenizado con licuadora), eligiendo el método que presentó un mayor contenido de compuestos bioactivos en el extracto. El efecto inhibitorio se determinó mediante pruebas *in vitro* utilizando concentraciones de 127, 190 y 257 ppm para *Salmonella typhi*. La concentración con mayor efecto inhibitorio se adicionó a la formulación para elaborar el envase activo (la formulación "A" consistió de alginato de sodio al 2 % adicionado con 1.5% de glicerol; y la formulación "B", alginato de sodio al 1% adicionado con 0.75% de glicerol) una vez recubiertos los chiles por inmersión se sumergieron en una solución de cloruro de calcio al 2%; y fueron evaluados el efecto en el crecimiento de *Salmonella typhi* (cada 12 horas) y la calidad de los chiles (pérdida de peso, color, pH y sólidos solubles) durante 25 días a 14°C.

Los resultados de las pruebas *in vitro* fueron favorables de acuerdo a la acción antibacteriana, ya que todas las concentraciones propuestas lograron inhibir el crecimiento de *Salmonella typhi* a partir de la concentración mínima propuesta que fue de 127 ppm.

El extracto obtenido directamente resultó ser el de mayor contenido de compuestos bioactivos, las pruebas *in vitro* como las pruebas *in vivo* fueron favorables ya que lograron inhibir el crecimiento de *Salmonella typhi*, así como la formulación de menor concentración de polímero presentó un efecto favorable en los parámetros de calidad; observándose un menor porcentaje de pérdida de peso en los chiles jalapeños y en los valores de pH y sólidos solubles. El crecimiento de la bacteria se inhibió completamente, probando que el extracto tiene una posible aplicación en el control de enfermedades postcosecha y en la conservación de la calidad.

1. Introducción

En el mundo se producen aproximadamente más de 93 millones de toneladas de cebolla al año. En el panorama global México se encuentra entre los 15 productores más importantes de cebolla (FAO, 2016). Siendo la cebolla en México la quinta hortaliza más relevante. De la producción nacional, el 90 % corresponde a la cebolla blanca, el 7 % es de la variedad morada, el 2 % amarilla y el 1 % son cebollines. Principalmente la producción se destina al consumo en fresco con un 85 % de la producción total, un 12 % se emplea como sazónador, aderezos y un 3 % para la elaboración de aceites. Se exporta alrededor de un 30 % de la producción nacional lo que corresponde aproximadamente a 380 mil toneladas, que en su mayoría el 99 % son cebollas frescas y refrigeradas (SIAP/SAGARPA, 2015).

Además de su empleo gastronómico, la cebolla puede utilizarse como antiséptico, diurético, para el tratamiento de tumores, como jarabe para la tos, antimicrobiano, ayuda a la digestión, mejora la presión arterial y como anti-oxidante. Las cebollas son uno de los vegetales que aportan más quercetina a la dieta del hombre, este compuesto orgánico es un flavonoide que presenta propiedades medicinales. Diferentes investigaciones han demostrado que la quercetina presenta propiedades analgésicas, antiagregantes, antidiabéticas, antibacteriales, antiinflamatorias, etc. (Botanical-online, 2018). Por lo tanto, los extractos de plantas son importantes fuentes de compuestos polifenólicos y ácidos fenólicos con actividad antibacteriana y antioxidante significativa. Estos compuestos presentan un efecto inhibitor en el crecimiento de las bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Corrales *et al.*, 2014).

Los frutos y hortalizas son susceptibles a diferentes contaminaciones a lo largo de toda la cadena de suministro. Los orígenes de estas contaminaciones pueden ser de forma directa o indirecta por tierra, agua, equipo y materia fecal; ya sea en la etapa pre o postcosecha, dando lugar a enfermedades transmitidas por alimentos (Martínez *et al.*, 2014). En el 2016 en México ocurrieron un total de 5 114 213 casos de enfermedades por alimentos, de este tipo de enfermedades las de mayor número

de casos fueron la amebiasis intestinal (219,977), helmintiasis (162,458), salmonelosis (77,566), ascariasis (42,668) y fiebre tifoidea (36,385) (Ruiz, 2017). Una de las propuestas tecnológicas para disminuir las transmisiones de enfermedades por alimentos frescos es el empleo de tratamientos mínimos y atmósferas modificadas mediante recubrimientos comestibles, como un proceso de conservación del producto, en su estado fresco y de esta manera impulsar su comercialización. Por otro lado, los recubrimientos comestibles han sido desarrollados con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios o enriquecerlos. Estas son películas totalmente neutras con respecto al color, tacto y olor del alimento. Su aplicación sobre frutas y hortalizas puede modificar la tasa de respiración. También pueden usarse como portadoras de agentes antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes tales como vitaminas y minerales (Flores *et al.*, 2007). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es presentar una propuesta para la conservación de la inocuidad del chile jalapeño, inhibiendo el crecimiento de *Salmonella typhi* mediante el desarrollo de recubrimientos antimicrobianos que permitan su control.

2. Antecedentes

2.1. Generalidades de la cebolla

2.1.1. Historia

El cultivo de la cebolla se conoce desde cinco siglos antes de Cristo. Durante la edificación de la pirámide de Keops en Egipto, los obreros que la construyeron consumían esta hortaliza para obtener energía y desde 1,500 hasta 3,200 a. c. formaba parte de la dieta del hombre. La cebolla es originaria de las regiones áridas de Irán y el oeste de Pakistán. Según la referencia de investigadores botánicos, la misma no se encuentra en estado silvestre. La distribución y desarrollo de la especie ocurrió desde Asia Occidental y países del mediterráneo, hasta América, donde fue introducida por los viajeros conquistadores en el año de 1492 (Montes y Halle, 1990; Sarita, 1991; Acosta *et al.*, 1993).

2.1.2. Taxonomía

La cebolla es una planta herbácea bienal que pertenece al orden de las liliales, a la familia *Alliaceae*, género *Allium*, dentro de la variedad botánica, la cebolla pertenece a la especie *Typicum regel*, a las cuales corresponden la mayoría de los germoplasmas comunes. Algunos especialistas describen la cebolla como una planta con un comportamiento bianual, aunque persiste vegetativamente a través del bulbo (Sarita, 1991; Acosta *et al.*, 1993). Comercialmente, la cebolla para la producción de bulbos es considerada un cultivo anual (Reís, 1982).

En la tabla 1 se presentan algunas de las variedades de cebolla que se cultivan en México, donde se encuentran: Azteca, Cal 214, Constanza, Cirrus, Super Grano, Triumph, White Crown y White Grano, que corresponden al cultivo de cebolla blanca de fotoperiodo corto, mientras que Crown 2000, Mata Hari, Pac 192, Red Grano y Rumbo corresponden al cultivo de cebolla morada (Reveles *et al.*, 2014).

Tabla 1. Variedades de cebolla producidas en México.

Variedades cultivadas	Características generales
 <p data-bbox="391 457 492 489">Azteca</p>	<p data-bbox="755 300 1299 331">Amplia adaptación en el centro de México</p> <p data-bbox="927 338 1127 369">Tipo: Día Corto</p> <p data-bbox="837 375 1216 407">Forma: Globo semi-aplanado</p> <p data-bbox="764 413 1289 445">Maduración: 150-160 días al transplante</p> <p data-bbox="842 451 1211 483">Resistencia: PRR, Fusarium</p>
 <p data-bbox="386 695 495 726">Cal 214</p>	<p data-bbox="883 527 1170 558">Tipo: Blanca día corto</p> <p data-bbox="852 564 1201 596">Variedad: Cal 214 Imperial</p> <p data-bbox="915 602 1138 634">Tamaño: Grande</p> <p data-bbox="673 640 1380 714">Bulbos con forma de globo ligeramente aplanado, muy uniforme, de tamaños grandes con excelente firmeza</p>
 <p data-bbox="397 905 483 936">Cirrus</p>	<p data-bbox="873 764 1179 795">Color: Blanca día corto</p> <p data-bbox="862 802 1190 833">Tamaño: Mediana-jumbo</p> <p data-bbox="927 840 1127 871">Resistencia: Pt</p> <p data-bbox="727 877 1325 909">Cebolla híbrida blanca con un follaje vigoroso.</p>
 <p data-bbox="349 1125 532 1157">White Crown</p>	<p data-bbox="829 978 1224 1010">Cebolla híbrida de días cortos.</p> <p data-bbox="686 1016 1367 1125">Es de bulbo duro y compacto, de forma aglobada de gran tamaño, madurez de 170 a 180 días con buena resistencia a raíz rosada.</p>
 <p data-bbox="349 1377 532 1409">White Grano</p>	<p data-bbox="677 1203 1377 1350">Variedad de días cortos, tiene una amplia adaptación a diversos climas y tipos de suelos, tiene un tamaño mediano-grande, de carne blanca suave. Resistente a la floración prematura y la raíz rosada.</p> <p data-bbox="748 1356 1305 1388">La duración del ciclo es de 168 a 173 días.</p>
 <p data-bbox="370 1608 518 1640">Mata Hari</p>	<p data-bbox="680 1465 1373 1612">Cebolla roja de día corto, maduración intermedia-tardía. Bulbos grandes y uniformes. Alto rendimiento. Follaje fuerte y vigoroso. Resistencia a enfermedades radiculares y tallo floral.</p>
 <p data-bbox="362 1818 521 1850">Red Grano</p>	<p data-bbox="695 1703 1359 1812">Ciclo intermedio, color rojo, forma tipo Granes achatadas, tamaño mediano. Buena firmeza, sabor muy picante y buen rendimiento.</p>

Fuente: Reveles *et al.* (2014)

2.1.3. Producción

En el mundo se producen aproximadamente más de 93 millones de toneladas de cebolla al año. México se encuentra entre los 15 productores más importantes de cebolla (FAO, 2016).

En México, la cebolla es la quinta hortaliza más relevante a nivel nacional, se producen 1.4 millones de toneladas de cebolla fresca anualmente. Estos niveles de producción son suficientes para cubrir cerca de 43 mil hectáreas. De la producción nacional, el 90% corresponde a cebolla blanca, 7% es morada, 2% amarilla y 1% son cebollines. La producción se destina principalmente al consumo en fresco (85%), la industrialización (12%) como sazónador, aderezo, deshidratado, granulado, hojuelas, etc., y para la elaboración de aceites (3%) (FND, 2014).

Nuestro país también destaca en términos de exportación, la cebolla fresca alcanzó un valor de 313,913 millones de dólares, cantidad que ubicó al país en la primera posición mundial para ese rubro, por encima de China, India y Estados Unidos (Mexicampo, 2018). Se exporta alrededor de un 30% de la producción nacional, 380 mil toneladas que, en su mayoría, casi el 99%, corresponde a cebollas frescas y refrigeradas. Mientras que se importa cerca de 6% del consumo aparente (60 mil ton en 2013) (FND, 2014).

En la figura 1 se muestran los principales estados productores de cebolla en México, dónde se puede observar que la mayor producción de este bulbo se concentra en el Estado de Chihuahua.

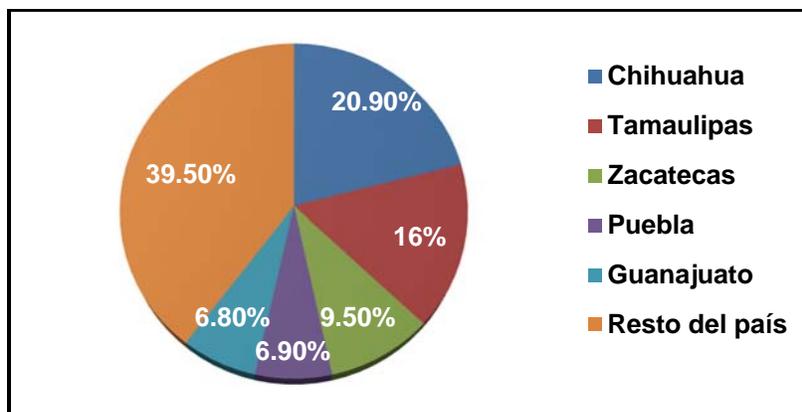


Figura 1. Estados productores de cebolla en 2017.

Fuente: SIAP/SAGARPA (2017)

El mayor volumen de producción de cebolla en el país se concentra, en el caso del ciclo Otoño-Invierno entre marzo y junio (80%) y en el caso del ciclo Primavera-Verano entre Julio y Noviembre (76%). De tal manera que los meses de menor producción se encuentran entre Diciembre y Febrero (FND, 2014).

Cuando el bulbo es cosechado, se le práctica un curado natural o artificial. El curado artificial se fundamenta en hacer circular una corriente de aire y el natural consiste en dejar por dos a tres días en el campo. La cebolla puede almacenarse por un período de cuatro a seis meses, dependiendo del cultivar y de las condiciones físicas del lugar donde se almacenará. La temperatura óptima de almacenamiento varía de 0 a 5 °C con una humedad relativa de 70 - 80 %. Cuando las túnicas externas de las hojas empiezan a desprenderse, la cebolla está lista para ir al mercado. Otro método de almacenamiento y conservación de los bulbos es el envasado en cajas de madera (Medina, 2008).

2.1.4. Composición química y propiedades

Debido a las propiedades químicas que posee la cebolla, ésta se puede utilizar como antiséptico, diurético, para tumores, como jarabe para la tos, posee acción bacteriana, ayuda a la digestión, mejora la presión arterial y es un anti-oxidante, entre otros usos (Azcoytia, 2017).

En la tabla 2 se muestra el contenido de los principales nutrientes y vitaminas en el bulbo de cebolla (*Allium cepa* var. *cepa*) y hojas (*Allium fistulosum*) por cada 100g de porción comestible.

Tabla 2. Composición química de la cebolla.

Constituyentes	Cantidad	Constituyentes	Cantidad
Nutrientes principales	Bulbos	Nutrientes principales	Bulbos
Agua	87	<u>Vitaminas</u>	
Calorías	48	β-caroteno equiv. (μg)	Traza
Proteína (g)	1.5	Tiamina (mg)	0.04
Lípidos (g)	Traza	Riboflavina (mg)	0.02
Carbohidratos (g)	11	Niacina (mg)	0.3
Fibra (g)	0.5	Ácido ascórbico (mg)	10
Calcio (mg)	30		
Fosforo (mg)	-		
Hierro (mg)	0.5		

Fuente: Platt (1962); FAO (1972).

2.1.5. Polifenoles y flavonoides en la cebolla

Los compuestos fenólicos actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta, cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que dan un color pardo que muchas veces es indeseable (Creus, 2004).

Un número creciente de artículos que abordan aspectos clínicos y nutricionales ha puesto de manifiesto la importancia que está requiriendo el empleo de antioxidantes en la dieta. Entre los alimentos ricos en fenoles se encuentran la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc. (Creus, 2004). Los compuestos polifenólicos, y dentro de estos los flavonoides, ocupan un lugar destacado. Los mecanismos a través de los cuales ejercen su acción antioxidante resultan de una combinación de sus propiedades quelatantes de metales de transición y sequestradoras de radicales libres, así como de la inhibición de oxidasas y acción sobre otras enzimas (Trueba, 2003).

Los flavonoides son metabolitos secundarios en las plantas, responsables de la pigmentación de las flores, además son protectores de los rayos ultravioleta. En la actualidad, se conoce su uso como antioxidante y antiinflamatorio (Ramírez, 2016). Estos compuestos fueron descubiertos por el premio Nobel Szent-György, quien en 1930 aisló de la cáscara del limón una sustancia, la citrina, que regulaba la permeabilidad de los capilares. Los flavonoides se denominaron en un principio vitamina P (por permeabilidad) y también vitamina C (porque se comprobó que algunos flavonoides tenían propiedades similares a la vitamina C). Sin embargo, el hecho de que los flavonoides fueran vitaminas no pudo ser confirmado, y ambas denominaciones se abandonaron alrededor de 1950 (Martínez *et al.*, 2002).

Aunque los hábitos alimenticios son muy diversos en el mundo, el valor medio de ingesta de flavonoides se estima como 23 mg/día, siendo la quercitina el predominante con un valor medio de 16 mg/día (Martínez *et al.*, 2002).

Existen 13 subclases de flavonoides con un total de más de 5 000 compuestos, todos presentando un esqueleto hidrocarbonado del tipo C6-C3-C6 (difencil-propa no) (Figura 2 y Tabla 3).

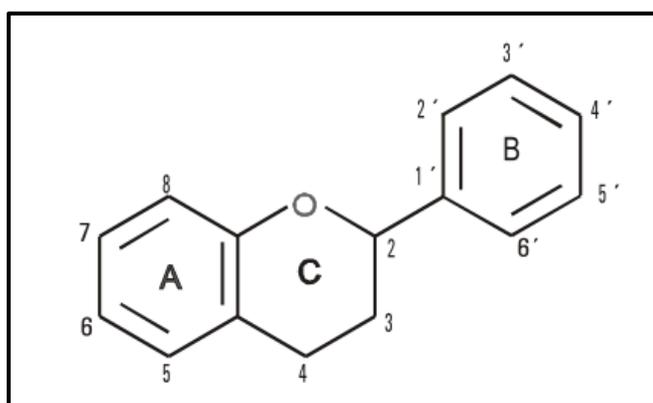


Figura 2. Estructura básica de los flavonoides.

Fuente: Trueba (2003).

Tabla 3. Subclases de Flavonoides.

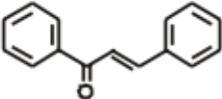
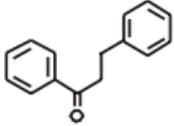
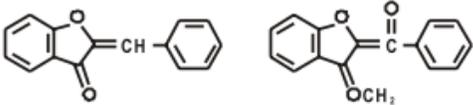
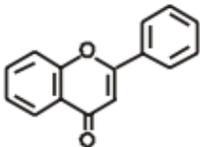
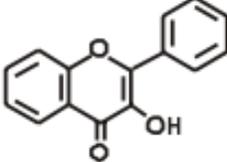
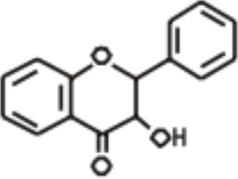
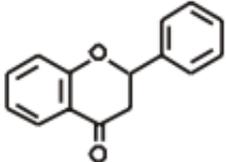
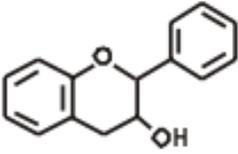
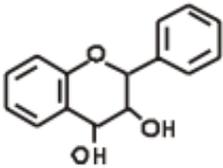
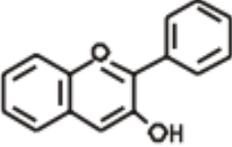
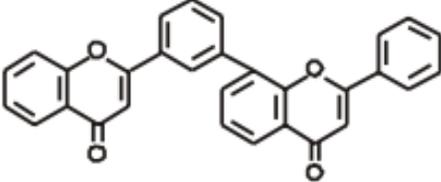
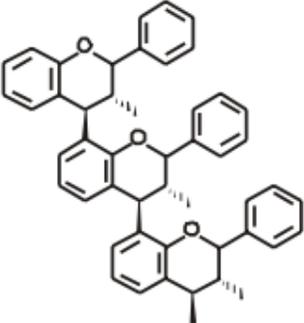
Flavonoide	Estructura básica
Chalconas	
Dihidrochalconas	
Auronas	
Flavonas	
Flavonoles	
Dihidroflavonoles	
Flavanonas	
Flavanol	
Flavandioles	

Tabla 3. Subclases de Flavonoides (continuación).

Flavonoide	Estructura básica
Antocianidina	
Isoflavonoide	
Biflavonoides	
Proantocianidinas	

Fuente: Trueba (2003).

Los flavonoides presentan una alta estabilidad molecular, soportando bajas y altas temperaturas, hasta de 300°C (Badui, 2013). Diferentes investigaciones han demostrado que los flavonoides poseen propiedades antioxidantes; antiinflamatorias; antimicrobianas; antialérgicas; antitumorales; antiasmáticas e inhibidoras de enzimas como la transcriptasa reversa, proteína quinasa C, tirosina quinasa C, calmodulina, ornitina decarboxilasa, hexoquinasa, aldosa reductasa, fosfolipasa C y topoisomerasa II (Trueba, 2003).

Los flavonoides se ubican principalmente en las hojas y en el exterior de las plantas, apareciendo sólo rastros de ellos en las partes de la planta por encima de la

superficie del suelo. Una excepción son los tubérculos de cebolla, que contienen una gran cantidad de quercitina 4'-D-glucósidos (Martínez *et al.*, 2002).

Los flavonoides no poseen las características de las vitaminas, pero por su acción protectora y la imposibilidad del organismo humano de producirlos merecen ser incorporados al grupo de los nutrientes esenciales (Martínez *et al.*, 2002).

Vargas *et al.* (2014) reportan que la quercetina fue capaz de inhibir la DNA girasa de *E. coli*. Anteriormente, Mirzoeva *et al.* (1997), demostraron que la quercetina y naringenina incrementan la permeabilidad y disipan el potencial de la membrana bacteriana (fuerza motriz de protones), disminuyendo la resistencia bacteriana a los antibióticos. Estos flavonoides también inhibieron la motilidad bacteriana, factor importante en la virulencia.

2.2. Recubrimientos en alimentos

Las películas y recubrimientos son capas delgadas de materiales comestibles aplicados en los productos alimenticios que juegan un papel importante en su conservación, distribución y comercialización, están dirigidos a mejorar la calidad de los productos alimenticios, lo que resulta en mejorar la seguridad y alargar la vida de anaquel (Falguera *et al.*, 2011).

Existen actualmente dos tipos fundamentales de recubrimientos de frutas, los llamados “ceras”, los cuales son realizados a partir de diferentes familias de compuestos lipídicos autorizadas como aditivos alimentarios (carnaúba, polietileno oxidado, abejas, microcristalina...), resinas (colofonia) y combinaciones de las mismas y los llamados en la literatura anglosajona como “edible coatings”, recubrimientos comestibles, formulados a base de polisacáridos, proteínas, y otras combinaciones, en ocasiones también con ceras de abejas (Gómez, 2011).

2.2.1. Importancia de los recubrimientos en la industria alimenticia

Muchas de las funciones de los recubrimientos comestibles son similares a las de los empaques sintéticos. El uso de recubrimientos comestibles en alimentos y especialmente en productos altamente perecederos está condicionado por parámetros tales como el costo, la disponibilidad, la funcionalidad, la barrera que proporciona, la aceptabilidad sensorial y la resistencia estructural contra agua y microorganismos (Rojas *et al.*, 2009).

El uso de recubrimientos comestibles como envase primario puede sustituir potencialmente a los materiales de envasado convencionales, parcial o totalmente y de esa manera se puede reducir la utilización de materiales sintéticos, maximizando así la actividad de biodegradación. Actualmente, los recubrimientos comestibles se utilizan en varios productos alimenticios, principalmente frutas, verduras, dulces y algunos frutos secos.

Recubrimientos a base de colágeno se utilizan para embutidos, recubrimientos de cera en las frutas y verduras, en caramelos y revestimientos de azúcar en los frutos secos son las aplicaciones comerciales más comunes de recubrimientos comestibles. El uso de éteres de celulosa (tales como carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa y metilcelulosa) como ingredientes en recubrimientos para frutas, verduras, carnes, pescados, frutos secos, productos de confitería, productos de panadería, granos y otros productos agrícolas está aumentando (Díaz, 2016).

Las películas a base de gelatinas así como películas a base de quitosan usadas para el empaquetado y recubrimiento podrían preservar la calidad de la comida y tabletas durante la vida de anaquel (Jongjareonrak *et al.*, 2006).

2.2.2. Características principales

Los recubrimientos se utilizan especialmente en alimentos altamente perecederos frescos y mínimamente procesados (frutos, hortalizas y cárnicos) ya que crean una atmósfera modificada que puede influir en la calidad del producto, como cambios de color y firmeza, cambios en propiedades antioxidantes, control microbiano,

producción de etileno y compuestos volátiles como resultado de los procesos anaeróbicos.

Los recubrimientos tienen la capacidad de retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases (O_2 , CO_2 y etileno), retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos (antioxidantes, antimicrobianos, emulsificantes), mejorar las propiedades ópticas (brillo y la opacidad) y mecánicas (flexibilidad, tensión), además de impartir una mayor integridad a la estructura del producto protegiéndolo contra daños mecánicos, físicos, químicos, actividad microbiana y oxidación de los nutrientes, manteniendo íntegramente las propiedades organolépticas de los alimentos (Figura 3) (Díaz, 2016).

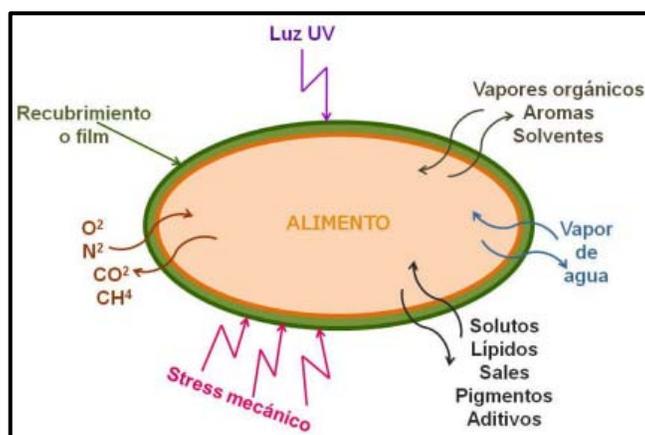


Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.

Fuente: Parzanese (2009).

Todos estos atributos, así como los mecanismos de deterioro que se desarrollan de acuerdo a las características específicas de cada alimento o productos se utilizan como parámetros para la elección del recubrimiento (Jung 2014; Falguera *et al.*, 2011; Marzo, 2010).

2.2.3. Propiedades de los recubrimientos

Debido a que los recubrimientos comestibles son considerados aditivos alimenticios y que es necesario que posean determinadas propiedades de barrera para la

preservación de los productos, los recubrimientos comestibles deben presentar las siguientes características (Villalobos *et al.*, 2009):

- Poseer propiedades nutricionales y organolépticas que sean compatibles con el alimento a recubrir.
- Presentar propiedades mecánicas adecuadas para evitar pérdidas por roturas o quiebre del material.
- Ser estables frente a las distintas condiciones de almacenamiento.
- Poder adherirse fácilmente a la superficie de los alimentos a tratar.
- Responder a la reglamentación vigente (aditivos alimentarios).
- Requerir de tecnologías sencillas y de bajo costo para su fabricación y posterior aplicación.

Los recubrimientos actúan como barreras a la transferencia de masa creando una atmósfera interna en el producto que proporciona protección frente a los procesos de deterioro lo cual se le atribuye a la reducción de la humedad, intercambio de gases, disminución en la tasa de respiración y de reacción oxidativa, así como suprimir desórdenes fisiológicos en las frutas recién cortadas (Villalobos *et al.*, 2009).

Es importante destacar que las características funcionales son consecuencia directa de la materia prima utilizada para su fabricación, la cual debe ser obtenida de fuentes naturales para asegurar su biodegradabilidad (Parzanese, 2009).

2.2.4. Composición de los recubrimientos

Los principales materiales formadores de los recubrimientos son biopolímeros, tales como proteínas, polisacáridos, lípidos, y resinas (Díaz, 2016).

Las características más distintivas de las proteínas en comparación con otros materiales formadores de recubrimientos son su conformación, desnaturalización, cargas electrostáticas y la naturaleza anfifílica (Jung, 2014).

En comparación los recubrimientos a base de polisacáridos se han utilizado para extender la vida útil de frutas y verduras mediante la reducción de la respiración y el intercambio de gas debido a permeabilidades selectivas a O₂ y CO₂. Su selectividad en cuanto a la permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono, condiciona la creación de atmósferas modificadas en el interior del alimento, lo que se traduce en un aumento de la vida útil del producto (Aguilar, 2005).

Debido a su naturaleza hidrofóbica, las películas o recubrimientos formados por lípidos tienen una excelente barrera contra el agua, pero también son menos permeables a los gases y por lo tanto puede estimular la acumulación de CO₂ y etanol, causando el desarrollo de sabores desagradables (Hassan y Norziah, 2012). En la tabla 4 se muestran las características de diferentes matrices poliméricas con las que se forman los recubrimientos.

Tabla 4. Características de matrices poliméricas formadoras de recubrimientos.

Componente	Ventajas	Desventajas
Polisacáridos	<ul style="list-style-type: none"> -Recubrimientos con buenas propiedades mecánicas. -Barreras eficientes contra compuestos de baja polaridad. -Buena barrera contra aceites y grasas. -Presenta buena adhesividad y cohesividad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Su naturaleza hidrofílica hace que presente una baja resistencia a la pérdida de agua.
Proteínas	<ul style="list-style-type: none"> -Buenas barreras al oxígeno, dióxido de carbono. -Se adhieren a superficies hidrofílicas. -Presentan buenas propiedades mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> -Pobres como barrera de agua.
Lípidos	<ul style="list-style-type: none"> -Buenas barreras contra la humedad -Reducen la deshidratación y transpiración. 	<ul style="list-style-type: none"> -Propiedades mecánicas pobres. Inflexibles, frágiles, inestables.

Fuente: Hassan y Norziah (2012)

2.3. Aditivos

2.3.1. Plastificantes

El tipo y la cantidad de plastificante utilizado en la manufactura de películas tiene una influencia fuertemente en la formación de películas de dispersiones acuosas de polímeros. Además de agua, los plastificantes comúnmente utilizados en los recubrimientos comestibles son; monosacáridos, polisacáridos y oligosacáridos, polioles y lípidos. En estos casos los plastificantes incrementan el volumen libre o espacio intermolecular, la movilidad molecular juega un rol importante en el incremento de la flexibilidad y estiramiento de películas biopólimericas producidas de recursos proteicos y polisacáridos. El glicerol tiene una alta tolerancia a la temperatura, es soluble en agua, polar, no volátil y se ha identificado y utilizado como plastificante favorable y además ha sido aprobado por la FDA (Food and Drug Administration) como un aditivo alimentario (Nur Hanani *et al.*, 2013).

2.3.2. Compuestos Antimicrobianos

Los antimicrobianos son compuestos de diferente naturaleza química, pueden ser compuestos fenólicos o proteicos y se utilizan para controlar el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias. Estos compuestos son usados para retardar o prevenir el deterioro fisicoquímico o microbiológico de los alimentos, los cuales pueden deteriorarse a través de cambios adversos causados por la presencia de enzimas, oxígeno, luz pérdida de humedad o más importante la acción de microorganismos (Morales, 2011). Algunos ejemplos de compuestos antimicrobianos son los siguientes.

- **Bacteriocinas**

Las bacteriocinas son péptidos o pequeñas proteínas producidas por algunas cepas de bacterias lácticas por síntesis ribosomal y son segregadas para inhibir el crecimiento de otros microorganismos competidores. Generalmente son de carácter hidrófobo que desestabilizan la membrana citoplasmática de las bacterias cuando entran en contacto, actualmente las bacteriocinas son utilizadas en una amplia categoría de alimentos incluyendo cárnicos, lácteos, productos enlatados,

productos del mar, vegetales, jugos de frutas y bebidas como cervezas y vinos (Beristain *et al.*, 2012, Monrroy *et al.*, 2009).

- **Extractos naturales**

Los extractos de plantas son importantes fuentes de compuestos polifenólicos y ácidos fenólicos con actividad antibacteriana y antioxidante significativa. Los compuestos fenólicos más importantes son: terpenos, terpenoides, componentes aromáticos, fenoles, alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres e hidrocarburos. Estos compuestos los encontramos en diferentes tipos de especias como: la canela, clavo, ajo, mostaza y cebolla; son utilizados en la conservación de alimentos, utilizados en la industria alimentaria como saborizante, productos farmacéuticos, en los cosméticos como fragancias y la medicina alternativa.

Estos compuestos imparten un efecto inhibitorio contra las bacterias Gram-positivos. Los polifenoles pueden penetrar la membrana bacteriana semipermeable y reaccionar con el citoplasma o proteínas celulares, desestabilizando células microbianas. El efecto antibacteriano se basa en el carácter hidrófobo de los aceites que pueden separar los lípidos de las membranas de las células bacterianas, haciéndolas más permeables, también pueden inhibir la producción de enzimas esenciales o afectar el material genético bacteriano (Díaz, 2016).

Parte de propiedades antimicrobianas de los polifenoles se ha atribuido a sus propiedades quelantes de complejos de iones metálicos que son esenciales para el crecimiento bacteriano. Las paredes celulares de las bacterias Gram-negativas representan una gran barrera para polifenoles para entrar en el citoplasma de la célula. Los aceites esenciales se pueden incorporar en polímeros o en portadores que pueden estar extruidos o revestidos en materiales de empaque (Corrales *et al.*, 2014).

La actividad antimicrobiana se produce cuando los antimicrobianos volátiles se liberan en el espacio de cabeza o por contacto con el alimento. Extractos de romero,

aceite esencial de menta, tomillo, aceituna y jengibre se han reportado que muestran excelente potencial antimicrobiano y su incorporación en películas ha retardado considerablemente el crecimiento microbiano (Corrales *et al.*, 2014; Nashwa *et al.*, 2014; Tajkarimi *et al.*, 2010).

- **Anhídridos y ácidos orgánicos**

La aplicación de los ácidos orgánicos en superficies de carne son procesos comunes y también son agentes antimicrobianos comúnmente utilizados en la industria de alimentos como desinfectantes para materiales que están en contacto con los alimentos, sustancias incorporadas al alimento para inhibir o retrasar el crecimiento microbiano. Algunos ejemplos son ácido benzoico, ácido acético, ácido cítrico, ácido ascórbico y ácidos grasos (Mani *et al.*, 2012).

Su espectro de acción antimicrobiana es muy amplio cuando se utilizan en combinación; por ejemplo, se puede inhibir el crecimiento de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* y *Escherichia coli* O157: H7 con ácido láctico, ácido acético, ácido ascórbico en alimentos como queso, mortadela y salchichas (Raybaudi *et al.*, 2012).

2.4. Mecanismos de formación de recubrimientos

En la formulación de películas y recubrimientos se necesita el uso de por lo menos un componente capaz de formar una matriz estructural que establezca la mejor interacción posible entre las moléculas bajo la acción de tratamientos físicos o químicos con suficiente cohesividad. Las sustancias formadoras de películas crean una estructura continua mediante interacciones entre moléculas, bajo la acción de un tratamiento químico o físico. La formación de una película o recubrimiento involucra uno de los siguientes procesos (Morales, 2011).

- **Coacervación simple**

En la que se consigue la formación de la película a partir del cambio de fase, gelificación o precipitación de un hidrocoloide en disolución acuosa mediante

modificación de alguna propiedad del disolvente como puede ser la evaporación del solvente (Morales, 2011).

- **Coacervación compleja**

Este proceso involucra la dispersión por separado de hidrocoloides de carga eléctrica opuesta para después combinarlos induciendo interacciones de neutralización y precipitación de la mezcla del biopolímero (Morales, 2011).

El alginato tiene la habilidad de formar geles uniformes, transparentes e insolubles en agua a temperatura ambiente, al formar enlaces entrecruzados con iones di o trivalentes (Comaposada *et al.*, 2015).

2.5. Métodos para la aplicación de películas y recubrimientos

Existen varios métodos para la correcta aplicación de las matrices comestibles sobre los alimentos, los recubrimientos comestibles se diferencian de las películas comestibles, por el modo en que son aplicados (Díaz, 2016; Morales, 2011):

- **Inmersión**

Consiste en la aplicación de las matrices comestibles sumergiendo el alimento en la solución preparada a continuación se procede a un escurrido y secado. Se utiliza especialmente en aquellos alimentos cuya forma es irregular que requieren de una cobertura uniforme y gruesa como frutas, vegetales y productos cárnicos.

- **Aspersión**

Esta técnica se basa en la aplicación de la solución presurizada, de esa manera se consiguen diferentes tamaños de gota. Se usa en alimentos de superficie lisa, se requiere de un menor gasto de solución formadora para obtener recubrimientos uniformes.

- **Preformado**

Mediante esta técnica se obtienen películas pre moldeadas. Consiste básicamente en la obtención de una dispersión uniforme compuesta por biomoléculas (proteínas,

polisacáridos, lípidos), plastificante y agua. La solución se vierte sobre una placa donde se deja secar para formar una película rígida, este método se ha utilizado en aguacate mostrando características deseables.

2.6. Recubrimientos antimicrobianos como envasado activo

Los recubrimientos antimicrobianos son una forma de envasado activo que contribuye al mantenimiento de la inocuidad, la calidad y la mejora de la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento mediante la creación de una barrera protectora que permite prevenir, reducir o inhibir el crecimiento microbiano (Villalobos *et al.*, 2009; Mingming *et al.*, 2014). En la tabla 5 se enlistan las principales ventajas y desventajas de incorporar agentes microbianos en las formulaciones de recubrimientos comestibles.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de incorporar agente antimicrobiano en recubrimientos.

Ventajas	Desventajas
Algunos antimicrobianos actúan como plastificantes mejorando la flexibilidad de algunos polímeros.	Podría alterar las propiedades mecánicas y de barrera de los polímeros.
Mejora la calidad de los alimentos.	Los cambios en la cristalinidad se pueden atribuir a la incorporación de antimicrobianos en ciertos polímeros.
Garantizar la seguridad alimentaria.	Compatibilidades interfaciales bajas generan una baja adherencia y huecos en la estructura del material
Contribuye a la ampliación de la vida útil de los alimentos.	

Fuente: Díaz (2016).

Diferentes investigaciones han demostrado que la adición de agentes antimicrobianos ayuda a disminuir el ataque y el crecimiento de mohos y bacterias en frutos tratados con aceite esencial de orégano sin alterar sus propiedades organolépticas comparadas a las no tratadas con el agente activo (Pontigo, 2014). En la tabla 6 se presenta diferentes estudios realizados para la conservación de alimentos utilizando envases activos adicionados con agentes antimicrobianos.

Tabla 6. Envases activos adicionados con agentes antimicrobianos para la conservación de alimentos.

Aplicación de envase activo	Beneficios	Autores
Conservación de Mango Mínimamente Procesado usando un Recubrimiento Comestible a base de Aceite de Aguacate	Los tratamientos almacenados a $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ presentaron valores inferiores a los mínimos tolerables en lo que respecta a coliformes totales, coliformes fecales, <i>Salmonella</i> , mohos y levaduras.	Dussán <i>et al.</i> (2017)
Desarrollo y caracterización estructural de películas comestibles para mejorar la calidad de frutas (mango y tomate cherry)	Recubrir las muestras con películas comestibles antimicrobianas mejoró no solo la vida útil, sino también aportando brillo, mejorando su apariencia	Kumari <i>et al.</i> (2017)
Efecto de recubrimientos comestibles con aceites esenciales en la calidad de frambuesas sobre la vida útil.	Después de 15 días de almacenamiento, el conteo de microorganismos mostró número considerablemente menores a los reportados por los controles.	Gomes <i>et al.</i> (2017)
Calidad de fresas almacenadas en frío afectada por recubrimientos comestibles de ácido oleico-quitosan.	Los recubrimientos protegieron a las fresas de infección fúngica y mejoraron la resistencia de la transmisión del vapor de agua.	Vargas <i>et al.</i> (2006)

2.7. Chile

2.7.1. Historia

El chile jalapeño debe su nombre a la ciudad de Xalapa (Región Golfo Centro) sitio dónde era cultivado en grandes cantidades y comercializado en el resto del país. A la fecha, esta región sigue siendo productora de esta variedad de chile, pero no la más importante. Los chiles son las especias más populares en muchas partes del mundo, valorados por sus atributos sensoriales de color y sabor picantes (Mendoza, 2013). El chile jalapeño tiene su centro de origen en México. Pertenece al género *Capsicum* y la especie *annuum*, es considerada como la más conocida y difundida en el mundo (Laborde y Pozo, 1982). Evidencias arqueológicas han permitido

estimar que este producto fue cultivado desde el año 7000 al 2555 a. C. en las regiones de Tehuacán, Puebla, y en Ocampo, Tamaulipas (Aguirre y Muñoz, 2015).

2.7.2. Comercialización

México reporta un área sembrada de 158,446 hectáreas de chiles, donde el tipo jalapeño ocupa el primer lugar con 34, 831 hectáreas, es decir el 22% del total (SIAP/SAGARPA, 2006). En nuestro país los principales estados productores de chile son el estado de Zacatecas, Chihuahua, Sinaloa y San Luís Potosí (SAGARPA, 2009) El 55% de la producción de chiles se destina al consumo en verde o fresco; 40% para la industria y el 5% restante para deshidratado o secado (García y Nava, 2009). De acuerdo a las estadísticas, México ocupa el primer lugar mundial en cuanto a diversidad de tipos de *Capsicum annuum* que se producen y el segundo en cuanto a cantidad de chile producido, siendo superado solamente por china, siguiéndole en producción Turquía, Indonesia, España, Nigeria y USA. (Pérez *et al.*, 2005). El chile es uno de los cultivos hortícolas más importantes en nuestro país y el de mayor consumo popular, especialmente en estado fresco, aunque también se consume procesado en forma de salsas, polvo y encurtidos (Mendoza, 2013).

Con respecto a lo anterior es importante mencionar que México exporta alrededor de 500 mil toneladas de chiles frescos y 60 mil toneladas de chiles secos principalmente a Europa y Estados Unidos, actividad que ayuda a obtener alrededor de mil 160 millones de dólares al año (Conoce hidroponía, 2017).

2.7.4. Métodos de conservación

Se aprovecha antes y después de la maduración, una parte importante de la producción total se destina al secado, proceso que tras el ahumado se le conoce como chile chipotle. Se pueden congelar, ya que es uno de los métodos más sencillos para conservarlos. Un método muy popular es mantener los chiles en una salmuera de vinagre, a los chiles conservados dentro de esta solución se les conoce como chiles encurtidos (Holandés, 2017).

2.7.5. Almacenamiento

Los principales factores que demeritan la calidad y vida de anaquel de los chiles son la pérdida fisiológica de peso y los cambios de color del epicarpio (Vázquez *et al.*, 2015). Durante la maduración los chiles jalapeños son frutos de patrón fisiológico no-climatérico y producen niveles muy bajos de etileno (López, 2013).

Para el almacenamiento se debe mantener el rango de temperatura en los chiles entre 2 y 5 °C, además de mantener constante la humedad relativa del aire en el almacenamiento entre el 90 y 95 %. Para el transporte se debe mantener una temperatura de 7 – 13 °C al igual que una humedad relativa de 90 – 95 % (SAGARPA, 2004).

2.8. Enfermedades transmitidas por alimentos

La Organización Mundial de la Salud describe a las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) como aquellas enfermedades que se originan por la ingestión de alimentos infectados con contaminantes en cantidades suficientes para afectar la salud del consumidor. Existen numerosos tipos de ETA que presentan diferentes sintomatologías, dependientes del tipo de contaminación y de la cantidad de alimento contaminado consumido; los signos más comunes son vómitos y diarreas, pero también pueden presentarse dolores abdominales, dolor de cabeza, fiebre, síntomas neurológicos, visión doble y otros (FAO, 2013).

A pesar de los avances tecnológicos y los esfuerzos realizados para mejorar la seguridad de los alimentos, las ETA se han incrementado considerablemente tanto en países desarrollados como en países subdesarrollados debido a diversos factores (FAO, 2013; Martínez *et al.*, 2014).

Debido a las ETA se enferman casi 600 millones de personas en el mundo, de éstas; 220 millones son menores de 5 años, de los cuales mueren 96 mil por esta causa, en 2016 en México ocurrieron un total de 5 114 213 casos de enfermedades por

alimentos. Las enfermedades con mayor número de casos fueron amebiasis intestinal (219 977), helmintiasis (162 458), salmonelosis (77 566), ascariasis (42 668) y fiebre tifoidea (36 385) (Ruiz, 2017).

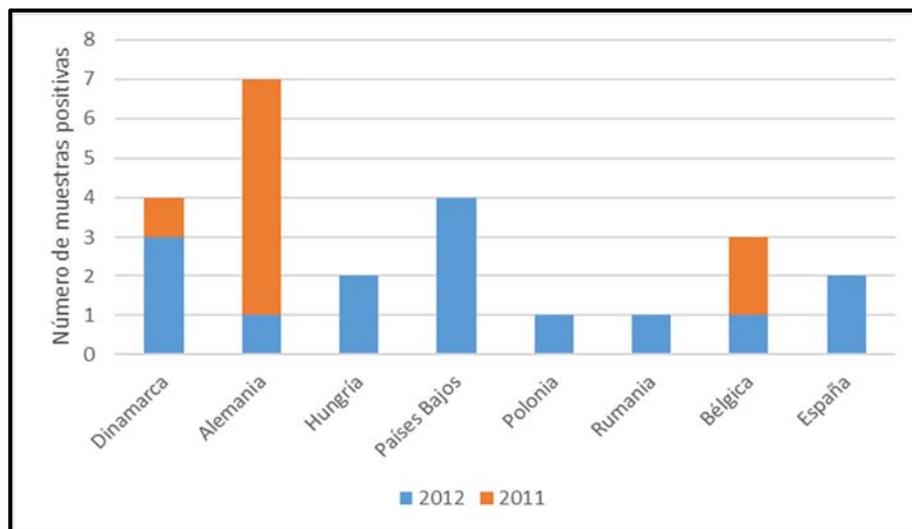


Figura 4. Número de muestras de *Salmonella* positivas en productos frescos en países de la Unión Europea de 2011 a 2012.

Fuente: EFSA (2014)

En la figura 4 se muestran las pruebas positivas de productos frescos en Estados Unidos procedentes de distintos países, donde la principal causa de que difieran entre sí se debe a que cada país establece su propia legislación para la manipulación de la seguridad alimentaria de productos frescos. El CDC (Centers of Disease Control and Prevention) define un brote de ETA como la presencia de dos o más personas enfermas de manera similar provocado por la ingestión de un alimento en común (CDC, 2006). Datos recabados en el 2008 arrojaron que en EUA 1276 personas resultaron hospitalizadas por ETAs, siendo *Salmonella* el agente causal más frecuente, seguido de *Escherichia coli* productora de toxina Shiga (STEC). De las 22 muertes asociadas a brotes de ETAs en ese mismo año, 20 fueron atribuidas a agentes etiológicos bacterianos (13 *Salmonella*, 3 *L. monocytogenes*, 3 STEC [2 O157, 1 O111], y 1 por *Staphylococcus aureus*) (Barton *et al.*, 2008).

2.8.1. Clasificación de enfermedades transmitidas por alimentos

Se pueden nombrar dos tipos de ETA, las producidas por la ingestión de alimentos y/o agua contaminados por agentes infecciosos específicos y las producidas por la ingestión de toxinas (Vergara *et al.*, 2014).

Las infecciones alimentarias son enfermedades generadas por bacterias, virus, hongos, parásitos, que invaden, se multiplican y alteran los tejidos del hospedero. Las Intoxicaciones alimentarias son causadas por la ingestión de toxinas generadas como metabolito producido por microorganismos, hongos, toxinas presentes en tejidos de plantas y animales, especies marinas (ciguatonina, saxitonina) y/o sustancias químicas o radioactivas que se incorporan a los alimentos de manera accidental, incidental o intencional en cualquier momento desde su producción hasta su consumo ejemplos de estos son los plaguicidas, metales pesados u otras. Un alimento puede ser intoxicante cuando contiene naturalmente la toxina como en el caso de la solanina en las papas, las aflatoxinas de origen fúngico que se pueden encontrar en los granos y cereales como el maíz y el sorgo (Martínez *et al.*, 2014; FAO, 2009).

2.8.2. Modo de transmisión de las enfermedades transmitidas por alimentos

Las ETA son el resultado de la interacción entre un agente etiológico de tipo biológico o químico y un hospedero susceptible; el estado de salud de la persona, la edad y otros elementos como número de microorganismos ingeridos determinarán en gran medida su predisposición para presentar una ETA. Para que ocurra una ETA debe haber convergencia del hospedero, del agente y de los factores ambientales. Si no se produce esa convergencia bajo condiciones adecuadas no habrá enfermedad y cualquier acción que tienda a separarlos provocará que la enfermedad no aparezca. La transmisión de las enfermedades infecciosas a través de contaminación de alimentos puede ser primaria o secundaria. La transmisión primaria ocurre cuando la sustancia contaminante está contenida en el alimento y se puede adquirir en el campo, debido a animales enfermos o a cosechas contaminadas. La transmisión secundaria ocurre durante el

procesamiento de los alimentos al entrar en contacto directo o indirecto con otros ingredientes contaminados, la superficie de las mesas, los utensilios, el hielo, los aerosoles, las manos de los operadores o muchos otros elementos. Otra fuente importante de contaminación son las sustancias tóxicas agregadas de manera intencional, accidental o incidental, tales como dioxinas, plaguicidas, cianuro, residuos de agentes químicos para limpieza, residuos de materiales de empaque, residuos de tuberías y otros (Martínez *et al.*, 2014; Romero, 2007). En la tabla 7 se enlistan los microorganismos más comunes causantes de enfermedades de transmisión por alimentos.

Tabla 7. Microorganismos comunes relacionados con ETA.

Organismo	Nombre común	Tiempo de aparición	Síntomas	Duración
<i>Campylobacter jejuni</i>	Campilobacteriosis	De 2 a 5 días.	Diarrea, calambres, fiebre y vómitos.	De 2 a 10 días.
<i>Salmonella</i>	Salmonelosis	De 6 a 48 horas.	Diarrea, fiebre, calambres abdominales y vómitos.	De 4 a 7 días.
<i>Shigella</i>	Shigelosis	De 4 a 7 días.	Calambres abdominales, fiebre y diarrea.	De 24 a 48 horas.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Envenenamiento por consumo de alimentos con <i>Staphylococcus</i>	De 1 a 6 horas.	Calambres abdominales, náuseas y vómitos severos.	De 24 a 48 horas.
<i>E. coli</i>	Infección por <i>E. coli</i>	De 1 a 3 días.	Diarrea acuosa, calambres abdominales y vómito.	De 3 a 7 días o más.
<i>E. coli O157:H7</i>	Colitis hemorrágica	De 1 a 8 días.	Diarrea aguda, dolores abdominales y vómitos.	De 5 a 10 días.

Fuente: CDC (2011).

Los factores que afectan la sobrevivencia y el crecimiento de patógenos y organismos causantes de deterioro en frutas y vegetales son muy variados,

teniendo por ejemplo las características físicas de cada vegetal, así como las superficies rugosas e irregulares de las hojas o la superficie rígida del melón la cual puede servirle para aislar microorganismos y protegerlos de la eliminación o inactivación. Un gran número de grietas y crestas le proporciona una superficie mayor y mayores oportunidades para la inserción de patógenos. Estas grietas y la naturaleza hidrofóbica de la cera en algunas frutas y vegetales pueden impedir que las soluciones desinfectantes lleguen a los microorganismos ocultos. Los componentes del tejido de frutas y vegetales también pueden neutralizar el cloro, provocando que no sea efectivo para eliminar microorganismos (León *et al.*, 2009). Liao y colaboradores en el 2010 realizaron un estudio donde encontraron que al inocular chile jalapeño y el tallo de este con *Salmonella saintpaul*, esta se adhería mejor a la superficie rugosa del tallo que a la superficie lisa de la parte comestible.

El 30 de Julio de 2008, el gobierno de Estados Unidos determinó que la fuente de la contaminación con salmonelosis en chiles jalapeños y serranos, que provocaron problemas de salud en unas 1,300 personas en los últimos cuatro meses, proviene de México. La salmonelosis fue encontrada en un chile jalapeño importado de México en la planta empacadora y distribuidora de alimentos y vegetales; Agrícola Zaragoza, ubicada en McAllen, Texas (La Jornada, 2008).

2.9. *Salmonella typhi*

Salmonella entérica serotipo *typhi* (figura 5) son bacilos Gram-negativos anaerobios facultativos que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Actualmente, el género *Salmonella* consiste de una sola especie, que ha sido denominada *Salmonella entérica*, o sea que se alojan en el intestino delgado. Ésta, a su vez, está formada por siete subespecies, dependiendo de su capacidad para realizar diferentes reacciones bioquímicas. Pertenece al serotipo 9,12, tiene en su exterior una cápsula de polisacáridos denominada Vi (por antígeno de "virulencia") (Calva, 2000). Es una bacteria anaeróbica facultativa, que puede en ocasiones sobrevivir en bajas condiciones de oxígeno además de no producir esporas. La mayoría de las cepas son móviles debido a que poseen flagelos peritricos, que rodean a la célula; produce

ácido a partir de glucosa, maltosa y sorbitol, sin la producción de gas; pero no fermenta la lactosa, sacarosa, la ramnosa y otros azúcares; produce también nitrito a partir de nitrato y ácido sulfhídrico; su temperatura óptima de crecimiento es de 37°C (Calva, 2000).

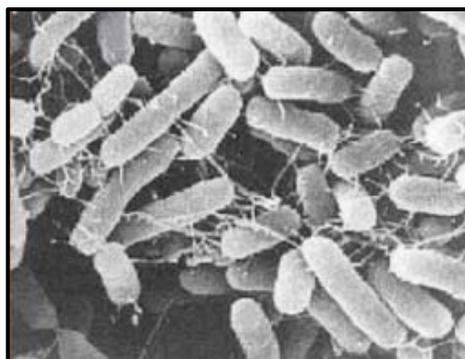


Figura 5. Morfología microscópica de *Salmonella typhi*.

Fuente: Food Info (2017)

Este microorganismo es causante de la fiebre tifoidea en humanos, quienes son sus únicos hospedadores. La *S. typhimurium*, se reproduce el mecanismo de la infección humana en el ratón; o la *S. gallinarum* que produce una fiebre entérica en las gallinas. Se presume que *S. typhi* invade a través de las células M del intestino, las cuales forman parte del tejido linfoide o inmunológico (Calva, 2017). El período de incubación para *Salmonella typhi* abarca de una semana a un mes, siendo principalmente de dos semanas a partir de la ingesta de la bacteria proveniente de alimentos o agua contaminada (Calva, 2017). No siempre ocurre la diarrea, pero generalmente hay ulceración. *S. typhi* se multiplica en el epitelio de la submucosa, después de lo cual entra el torrente circulatorio y se disemina por el cuerpo. La multiplicación ocurre otra vez en el bazo y en el hígado, para que después la bacteria sea liberada en grandes cantidades al torrente sanguíneo (figura 6). Desenlaces fatales por tifoidea ocurren primordialmente por la ruptura de bazo, ocurriendo un choque séptico ocasionado por el LPS, que estimula la liberación de agentes mediadores de la respuesta inmune como las citosinas. Alternativamente, el 10% de los individuos afectados pueden desarrollar el síndrome de portador sano, excretando continuamente las bacterias del bazo (Calva, 2000).

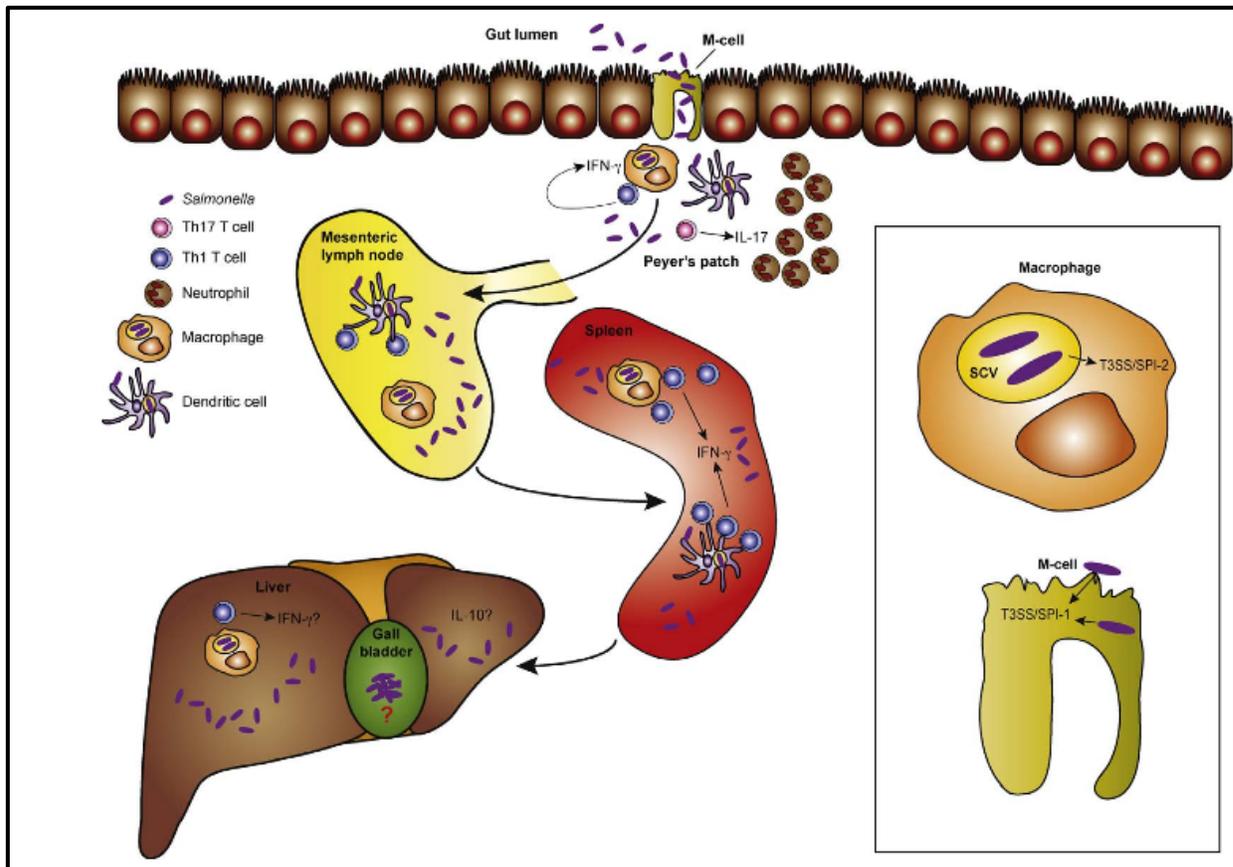


Figura 6. Respuesta inmune a la infección por *Salmonella*.

Fuente: Kurtz *et al.* (2017).

Las manifestaciones clínicas más destacadas de la fiebre tifoidea son: fiebre, vómito, dolor abdominal u diarrea moderada o intensa. A pesar de que su mayor incidencia se presenta en personas de 20 a 40 años, los niños y los ancianos son los que suelen sufrir sus efectos fulminantes debido a la excesiva pérdida de electrolitos que aflige al cuerpo durante la enfermedad y que puede causar una deshidratación grave (Vila *et al.*, 2009).

2.10. Prevención y control de ETA

Los riesgos alimentarios y la pérdida de calidad pueden producirse en diversos puntos de la cadena alimentaria, y es difícil y costoso comprobar su presencia. Un planteamiento bien estructurado y preventivo que controle los procesos es el

método más indicado para mejorar la inocuidad y calidad de los alimentos. Mediante la aplicación de prácticas adecuadas, como lo son buenas prácticas agrícolas (BPA), buenas prácticas de manufactura (BPM) y buenas prácticas de higiene (BPH) se pueden controlar a lo largo de la cadena alimentaria los posibles riesgos alimentarios.

Un importante planteamiento preventivo que puede aplicarse en todas las fases de la producción, elaboración y manipulación de los productos alimenticios es el sistema HACCP. Los principios del HACCP ofrecen una estructura sistemática para la identificación y control de los riesgos transmitidos por los alimentos (FAO, 2013). Educar a la población sobre las medidas higiénicas sanitarias que se deben tener en cuenta en la preparación de los alimentos verificando que los recipientes enlatados se encuentren en buen estado, no recongelar alimentos congelados, limpiando periódicamente el tanque de almacenamiento de agua (FAO, 1999).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto bactericida de un recubrimiento comestible adicionado con un extracto de cebolla sobre el crecimiento de *Salmonella typhi* aplicado sobre chile jalapeño para generar una alternativa de uso de este bulbo y evitar problemas de inocuidad en esta hortaliza.

3.2. Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Cuantificar el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante de dos variedades de cebolla (blanca y morada) para seleccionar la variedad de cebolla que presente una mayor concentración de estos compuestos bioactivos.

Objetivo particular 2

Obtener un extracto a partir de la variedad de cebolla con mayor contenido de flavonoides mediante diferentes métodos, extracción asistida por ultrasonido (30 minutos) y maceración (24 horas), utilizando etanol como solvente en una relación (80:20), y compararlo con el jugo obtenido directamente del bulbo; para seleccionar el extracto con mayor contenido de los compuestos bioactivos.

Objetivo particular 3

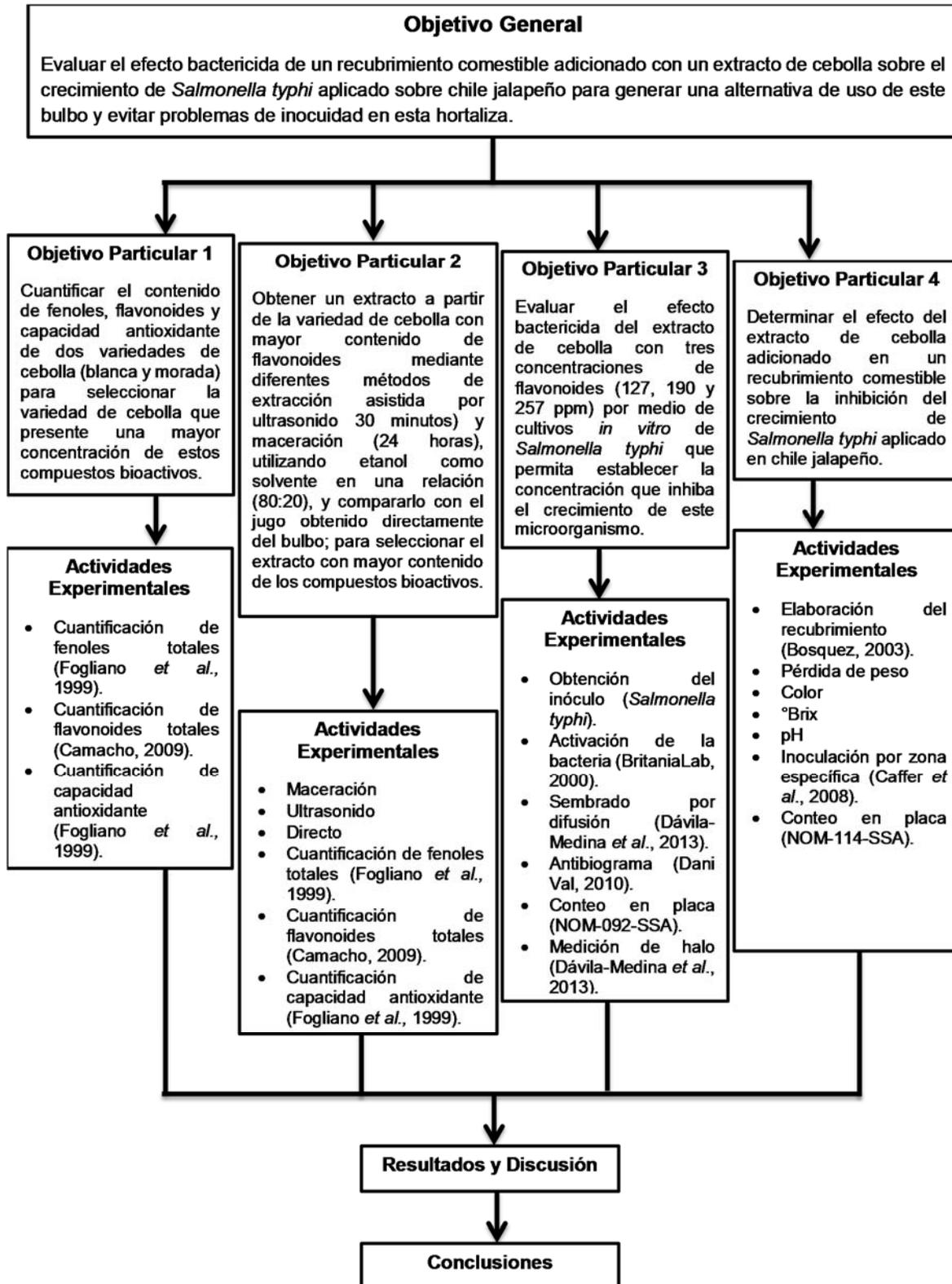
Evaluar el efecto bactericida del extracto de cebolla con tres concentraciones de flavonoides (127, 190 y 257 ppm) por medio de cultivos *in vitro* de *Salmonella typhi* que permita establecer la concentración que inhiba el crecimiento de este microorganismo.

Objetivo particular 4

Determinar el efecto del extracto de cebolla adicionado en un recubrimiento comestible sobre la inhibición del crecimiento de *Salmonella typhi* aplicado en chile jalapeño.

4. Metodología experimental

4.1. Cuadro metodológico



4.2. Material biológico

Para la elaboración de este proyecto se utilizaron chiles jalapeños y cebollas de dos variedades (blanca y morada) compradas en el Mercado del Carmen ubicado en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. La experimentación del proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

4.3. Acondicionamiento de la materia prima

Las cebollas se seleccionaron evitando las que tuvieran heridas severas y presencia de moho; los bulbos fueron pelados y desechando las capas externas, posteriormente se lavaron con agua y jabón.

4.4. Métodos de extracción de compuestos bioactivos

4.4.1. Extracción asistida por ultrasonido

Una solución con 20 g de cebolla en trozos se preparó en etanol al 80 % (Álvarez, 2004) en matraces de 250 mL. Los matraces se colocaron dentro de un baño de ultrasonido (marca Cole-Parmer, modelo 8891) a frecuencia de 42 kHz \pm 6%, en la zona de cavitación durante 30 minutos. Las muestras se filtraron y almacenaron dentro de envases ámbar a -20°C.

4.4.2. Extracción por maceración

Una solución con 5 g de cebolla en trozos se preparó con etanol al 80 % (Fernaroli's, 1975) dentro de un matraz de 500 mL. El matraz se mantuvo tapado, aislado de la luz y a temperatura ambiente para dejar la solución en reposo durante 24 horas. Las soluciones se filtraron y almacenaron a -20°C.

4.4.3. Obtención directa del jugo de cebolla

Para la obtención del jugo de cebolla se utilizaron cebollas enteras en estado de madurez comercial, se cortaron en trozos para poder licuarlos utilizando una licuadora de 16 velocidades (Oster 6814, Sunbeam Mexicana S.A. de C.V.), posteriormente se filtró y se almacenó el jugo a -20°C.

4.5. Caracterización de dos variedades de cebolla

Las cebollas de distinta variedad (blanca y morada) fueron evaluadas para conocer el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.9. Posteriormente se seleccionó la variedad de cebolla que presentara una mayor concentración de estos compuestos.

4.6. Pruebas de inhibición de *Salmonella typhi* in vitro

Esta prueba se realizó con una cepa de *Salmonella typhi* que fue proporcionada amablemente por el laboratorio de microbiología para preservar la viabilidad de la bacteria de *Salmonella typhi*, se realizó una resiembra en cajas Petri con Agar Nutritivo Bioxon® cada tercer día y se incubó a 37 °C. Para el ensayo de inhibición de crecimiento *in vitro* se realizaron diluciones decimales en agua esterilizada a partir de una asada de la colonia de *S. typhi*. De cada dilución se tomó un volumen de 100 µL y se inoculó una caja Petri con Agar Nutritivo Bioxon® haciendo una siembra por extensión superficial. A cada caja Petri inoculada se le colocó en el centro un disco de papel filtro esterilizado. A este disco se le impregnó una concentración de 127, 150 y 257 ppm de extracto de cebolla. Las cajas se incubaron por 24 h a 37 °C para realizar la medición del halo de inhibición (BritaniaLab, 2000).

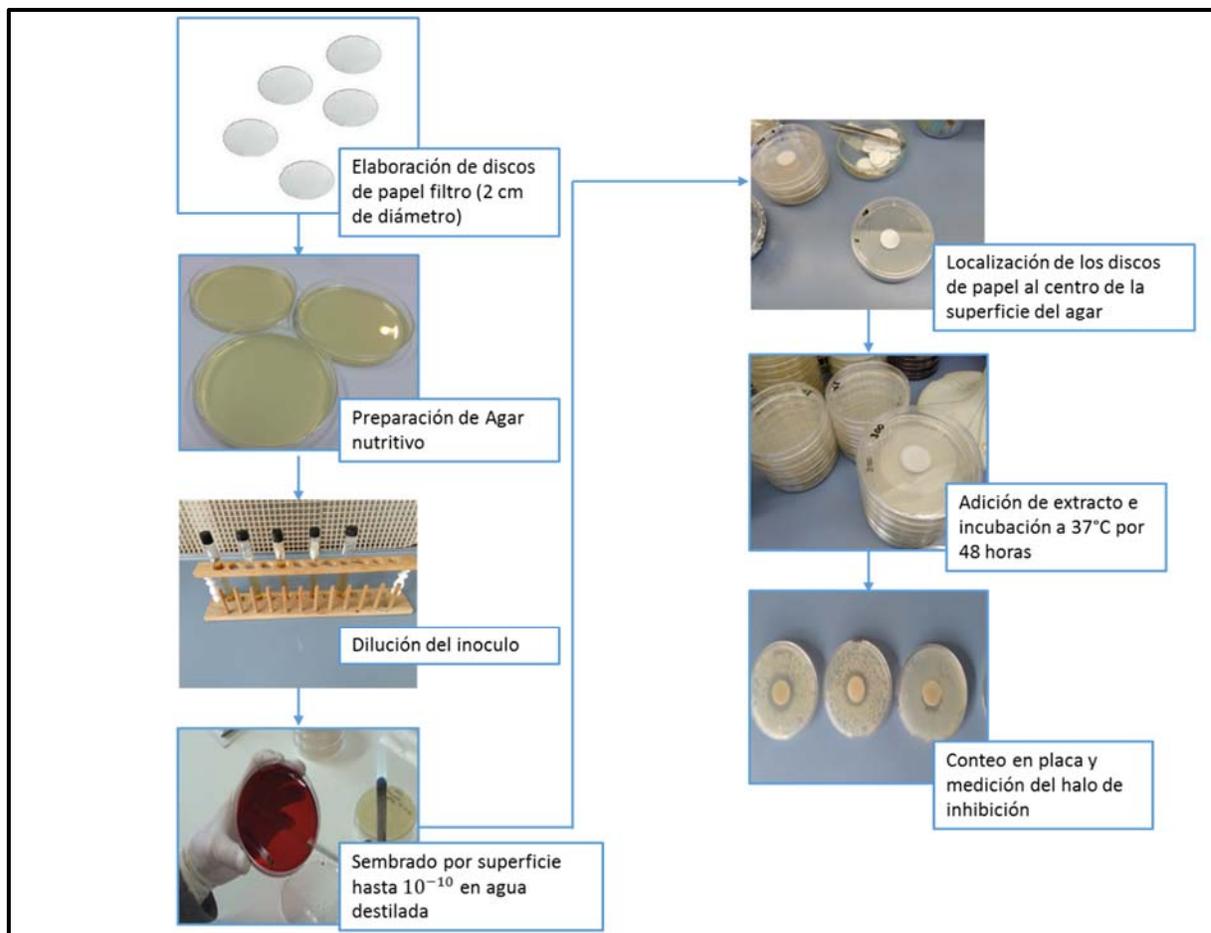


Figura 7. Metodología para la prueba *in vitro*.

4.7. Elaboración del recubrimiento

Se realizaron 2 formulaciones diferentes para la elaboración del recubrimiento antimicrobiano variando la concentración del polímero. En la tabla 8 se muestra la formulación base propuesta por Vera (2014) de la cual se partió para el diseño de la formulación.

Tabla 8. Formulación a base de Alginato de Sodio.

Componentes	Cantidad
Alginato de Sodio	2% (p/v)
Glicerol	1.5% (v/v)
Desinfectante natural (Bioxitral)	8000, 9000 y 10000 ppm
Solución de $CaCl_2$ *	2% (p/v)

*Baño de $CaCl_2$ una vez recubierto el chile con la solución de Alginato de Sodio.

Tabla 9. Formulación “A”.

Componentes	Cantidad
Alginato de Sodio	2% (p/v)
Glicerol	1.5% (v/v)
Solución de $CaCl_2$ *	2% (p/v)

*Baño de $CaCl_2$ una vez recubierto el chile con la solución de Alginato de Sodio.

Tabla 10. Formulación “B”.

Componentes	Cantidad
Alginato de Sodio	1% (p/v)
Glicerol	0.75% (v/v)
Solución de $CaCl_2$ *	2% (p/v)

*Baño de $CaCl_2$ una vez recubierto el chile con la solución de Alginato de Sodio.

Para la formulación “A” que se utilizará se mantuvo la concentración de alginato de sodio al 2% (p/v) y la concentración de glicerol al 1.5% (p/v), igualmente se modificó la concentración de alginato de sodio al 1 % (p/v) y la concentración de glicerol fue del 0.75 % (v/v) para la formulación “B”. Se mantuvo la misma concentración para el baño de cloruro de calcio para las dos formulaciones, además de agregar extracto de cebolla como agente antibacteriano.

La dispersión se realizó en un ambiente estéril y con ayuda de un agitador magnético a una temperatura de 60°C, una vez la solución presentara una apariencia homogénea se agregó glicerol y jugo de cebolla.

4.8. Pruebas *in vivo* de inhibición de crecimiento de *Salmonella typhi* en chile ‘Jalapeño’

Para la selección de los chiles se tomó en cuenta la longitud, la madurez y que estos no presentaran heridas en la superficie. Los chiles se lavaron manualmente con agua y jabón, después se enjuagaron y se sometieron a un proceso de esterilización con ozono utilizando un potabilizador de agua (Biozon 2000, BASKTEK S.A. de C.V.) durante 6 minutos.

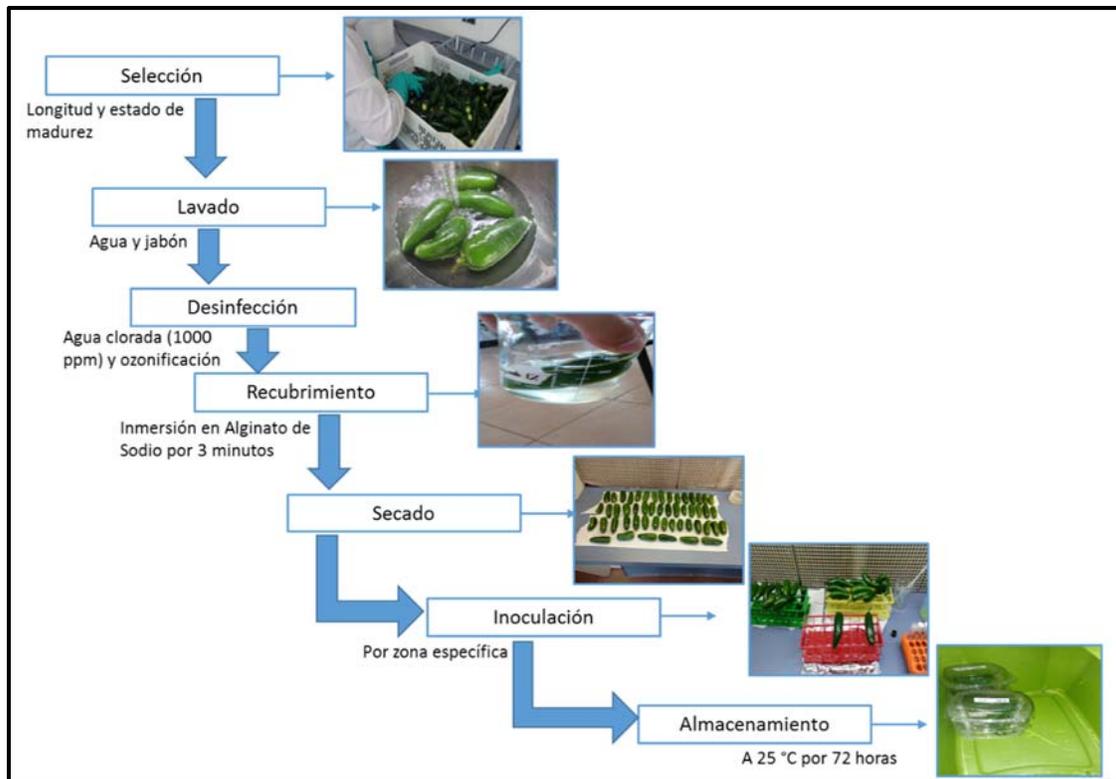


Figura 8. Metodología para la aplicación del recubrimiento sobre chile ‘Jalapeño’.

Posteriormente se hizo una inmersión en agua clorada (1000 ppm) durante 6 minutos para desinfectar los chiles. Al finalizar los chiles se sumergieron en agua estéril para remover los residuos de cloro y se dejaron secar en un ambiente estéril.



Figura 9. Potabilizador de agua Biozon 2000.

El recubrimiento se aplicó mediante el método de inmersión, sumergiendo los chiles en la solución de alginato de sodio por 3 minutos dejando escurrir el excedente de solución, posteriormente se sumergieron en la solución de cloruro de calcio por 30 segundos y se dejaron secar en rejillas para drenar el excedente de solución y se forme una capa uniforme.

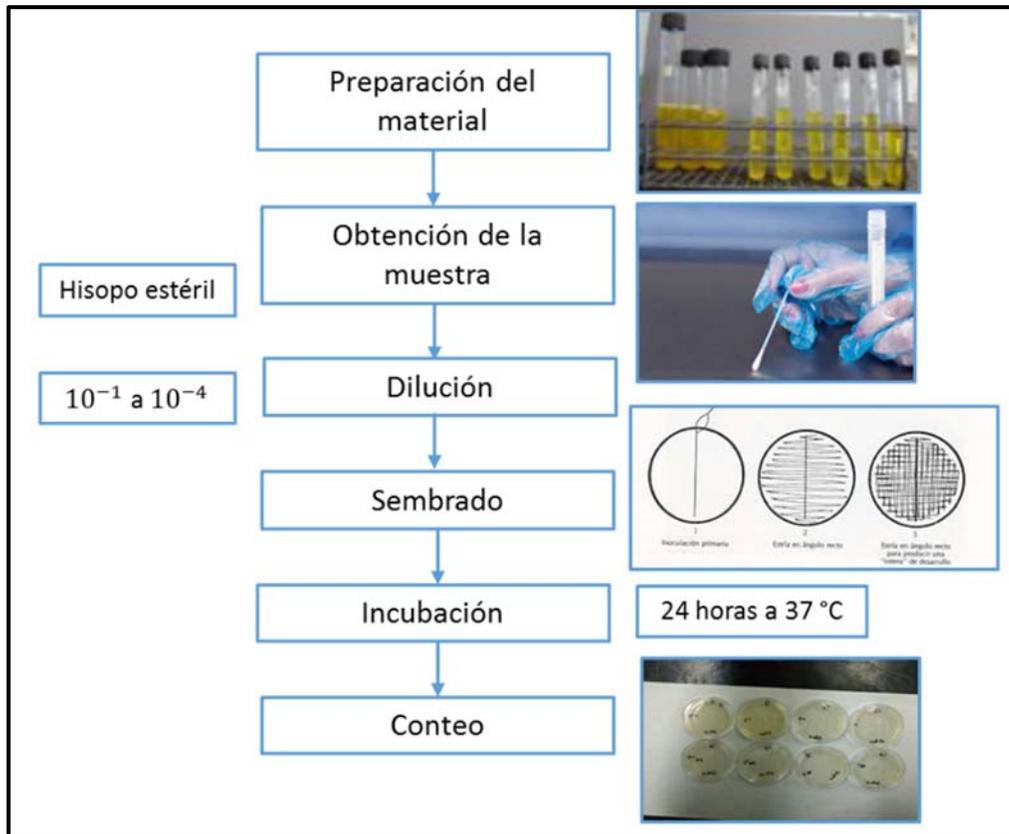


Figura 10. Metodología para la prueba *in vivo*.

En la superficie de los chiles destinados a inoculación por *Salmonella typhi*, se marcó una circunferencia como guía para establecer una zona específica de inoculación. Para la inoculación se tomó un volumen de $100\ \mu\text{L}$, de un tubo con una concentración de 2.87×10^5 UFC de la cepa y se aplicó en la zona específica. Para evitar contaminaciones y reducir riesgos a la salud únicamente se inocula la zona específica utilizando una micropipeta. Los chiles se dejaron secar en un ambiente estéril y se almacenaron a temperatura ambiente durante 3 días.

El proceso para determinar la capacidad de inhibición se realizó al tiempo de inocular, siendo éste el punto de 0 horas y posteriormente cada 12 horas hasta llegar al punto de 72 horas; se toma una muestra de la zona específica con un hisopo estéril para después diluirla hasta 10^{-4} en agua estéril; se siembran 100 μL de cada dilución por superficie en cajas de Petri con agar Harlequin™ *Salmonella* ABC LABM™ y se incuban durante 24 horas a 37°C para posteriormente hacer un conteo microbiano. Este medio de cultivo es específico para *Salmonella*, en el cual las colonias pertenecientes a *Salmonella* son de coloración verde debido a que degrada X- α -Gal y coloración negra para organismos que degraden CHE- β -Gal (LABM, 2017).

4.9. Técnicas analíticas

4.9.1. Técnicas para evaluar cebolla y extractos

- **Determinación de fenoles**

La cantidad de fenoles totales se determinaron por el método del reactivo Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico (0-0.1 mg/mL) como estándar para la curva de calibración. Se agregó la muestra (200 μL), 200 μL de Carbonato de Sodio, 100 μL de solución de Folin-Ciocalteu a tubos de ensaye con 1500 μL de agua destilada. Después de 30 minutos de reacción a temperatura ambiente y en un lugar apartado de la luz, se midió la absorbancia a 765 nm utilizando un espectrofotómetro (UV/VIS Spectrophotometer VE-5600UV, Científica Vela Quin S.A. de C.V.) (Fogliano *et al.*, 1999). Los resultados se expresaron en mg de Ácido Gálico / g de muestra.

- **Determinación de flavonoides**

El contenido de flavonoides totales se determinó mediante el ensayo de complejación con cloruro de aluminio (Aguado *et al.*, 2013). Para la curva de calibración se preparó una solución de quercetina, de la cual se realizaron seis diluciones (0-0.1 mg/mL). Las muestras se prepararon en tubos de ensaye donde se colocaron 680 μL del extracto, 400 μL de hidróxido de potasio y 60 μL de cloruro de aluminio al 10 %. Se dejó reposar a temperatura ambiente en la oscuridad durante 30 min y se leyó la absorbancia a 356 nm utilizando un espectrofotómetro

(UV/VIS Spectrophotometer VE-5600UV, Científica Vela Quin S.A. de C.V.). Los resultados se expresaron como g o mg de Quercetina/ g porción comestible.

- **Determinación de capacidad antioxidante**

El radical catiónico ABTS se preparó de acuerdo al método descrito por Fogliano *et al.* (1999). Se agregaron 100 µL de muestra o estándar (Trolox) a 1900 µL de solución de ABTS (esta solución debe tener una absorbancia de 0.7, a 734 nm). Después de 7 minutos de reacción, se leyó la absorbancia utilizando un espectrofotómetro (UV/VIS Spectrophotometer VE-5600UV, Científica Vela Quin S.A. de C.V.). La actividad antioxidante de cada muestra se calculó utilizando la ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \left(1 - \frac{A_f}{A_0}\right) \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde A_f es la absorbancia final de la solución constituida por ABTS y muestra o estándar, después de 7 minutos de reacción, y A_0 es la absorbancia de la solución constituida por ABTS y muestra o estándar, al tiempo 0. Los valores fueron comparados con la curva obtenida de diferentes concentraciones de Trolox, y los valores se expresan como µmol equivalente de Trolox (TE) por gramo de muestra fresca.

4.9.2. Técnicas para evaluar parámetros de calidad

- **Pérdida de peso**

La evaluación de la pérdida de peso de los chiles durante su almacenamiento se realizó mediante la diferencia de pesos por medio de una balanza analítica (Scout-Pro). La prueba se realizó tomando en cuenta como base el peso inicial de los chiles menos el peso que se registró cada 4 días (peso final) hasta acumular un total de 24 días. Los resultados se expresan como porcentaje de pérdida de peso.



Figura 11. Balanza analítica Scout-Pro.

- **Color**

El color se midió utilizando un colorímetro Konica Minolta CM 600d, tomando la lectura en 9 puntos diferentes de la superficie de los chiles y con los datos obtenidos se calcularon la luminosidad, croma y los grados °Hue.



Figura 12. Medición de color de chile jalapeño.

- **Sólidos solubles totales**

Se realizó la medición de sólidos solubles utilizando un refractómetro digital Atago, colocando en el equipo una gota de jugo del chile (resultado de una trituration). La lectura es directa y los resultados se expresaron como °Brix. (NMX-F-103-1982).



Figura 13. Refractómetro digital Atago.

- **pH**

La medición de pH se obtuvo directamente utilizando un potenciómetro digital Woonsoket H19829, Hanna Instruments, siguiendo el procedimiento descrito en la NOM-F-317-S-1978.



Figura 14. Potenciómetro digital Woonsoket.

4.10. Análisis Estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado. Se realizó un análisis estadístico de varianza completamente al azar y de pruebas de rango múltiple (Tukey y Duncan $\alpha=0.05$) con la ayuda de un programa estadístico IBM SPSS para Windows.

5. Resultados y Discusión

5.1. Cuantificación de compuestos orgánicos en la cebolla blanca y morada

La industria alimentaria produce grandes cantidades de residuos de cebolla, con el consiguiente problema medioambiental. Una posible vía para solucionar este problema puede ser el uso de los mismos como fuente natural de ingredientes con alto valor funcional, ya que la cebolla es rica en diversos grupos de compuestos que proporcionan beneficios para la salud humana, destacando entre estos a los compuestos fenólicos.

El contenido de fenoles totales de las dos variedades de cebolla se muestra en la figura 15, en la cual se puede observar que existe diferencia significativa entre las dos variedades de cebolla ($p \leq 0.05$), siendo la cebolla morada la que presenta un mayor contenido de estos compuestos.

La cebolla blanca obtuvo una concentración de 3.8 mg de Ácido Gálico / g de extracto, mientras que la cebolla morada obtuvo 11.7 mg de Ácido Gálico / g de extracto, la concentración en esta variedad de cebolla es 3 veces mayor. De acuerdo con Creus en el 2004 se describió que los compuestos fenólicos presentes en el mundo vegetal actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y estos contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta.

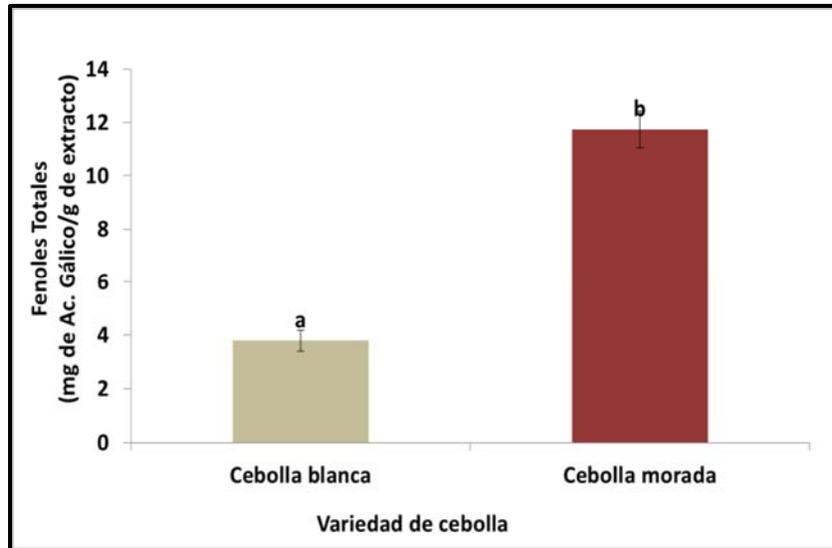


Figura 15. Contenido de fenoles totales en extractos de cebolla blanca y morada.

Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los derivados de la quercetina son los encargados de dar el color amarillo a la cebolla blanca, mientras que las antocianinas dan el color púrpura a la cebolla roja (Ramírez, 2016). La pigmentación de los objetos de estudio tienen una influencia directa con los valores de fenoles, en 2011 García reporta para cebolla entera de variedad Recas (amarilla) 10.3 mg de equivalente de ácido gálico por g de materia seca, siendo éste valor más bajo al registrado en la experimentación para cebolla morada y superior al valor registrado para la cebolla blanca.

En la figura 16 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de flavonoides en cada cebolla, donde los valores presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$), la cebolla blanca presentó una concentración de 0.07 mg de Quercetina / g de cebolla a diferencia de la cebolla morada que presentó una concentración de 0.7 mg de Quercetina / g de cebolla, siendo esto consecuente del contenido de fenoles totales en cada cebolla ya que los flavonoides son un derivado del grupo de los polifenoles.

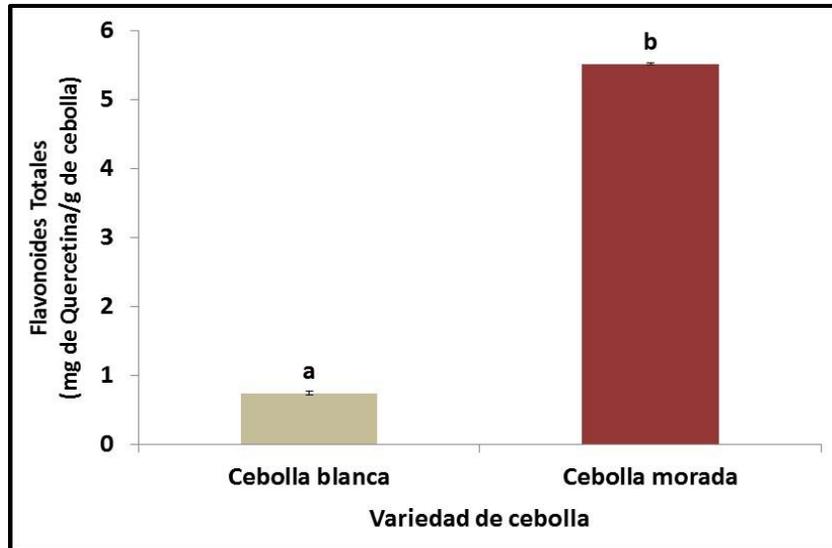


Figura 16. Contenido de flavonoides en extractos de cebolla blanca y cebolla morada.

Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los valores obtenidos son considerablemente menores a los reportados por García en el 2011, quién reporta 10.3 mg equivalentes de Quercetina para cebolla entera por cada g de porción comestible, una de las razones por las cuales los valores de García fueron considerablemente mayores a los de la experimentación puede deberse a que García utilizó en su experimento dos variedades de cebolla, Recas (amarilla) y Figueres (morada) pero solamente reportó los valores de los polifenoles de la variedad Recas ya que está presentaba un mayor contenido de fibra, además de utilizar un método de identificación más exacto (HPLC).

En el 2013 Torija, y colaboradores reportaron que, en variedades de cebollas rojas, el contenido de quercetina total es de 1337 mg/kg, demostrando que entre variedades existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto al contenido de este tipo de compuestos. Vilte y colaboradores en el 2017 declaran que la variedad de cebolla es sólo uno de los tantos factores que influyen en el contenido de compuestos fenólicos, así como el lugar de procedencia y el proceso agro-técnico que se realiza al bulbo y el estado de madurez, entre otros.

En la figura 17 se observan los valores para la capacidad antioxidante de las dos variedades, donde también se observa que la cebolla morada presenta 395 % mayor concentración de capacidad antioxidante, la cebolla blanca presentó un valor de 86.6 μmol equivalente de Trolox por gramo de extracto y la cebolla morada un valor de 428.8 μmol equivalente de Trolox por gramo de extracto, ambos valores son menores a los reportados por el Agro Waste (2012) que menciona que por lo menos 500 μmol equivalente de Trolox por gramo de extracto.

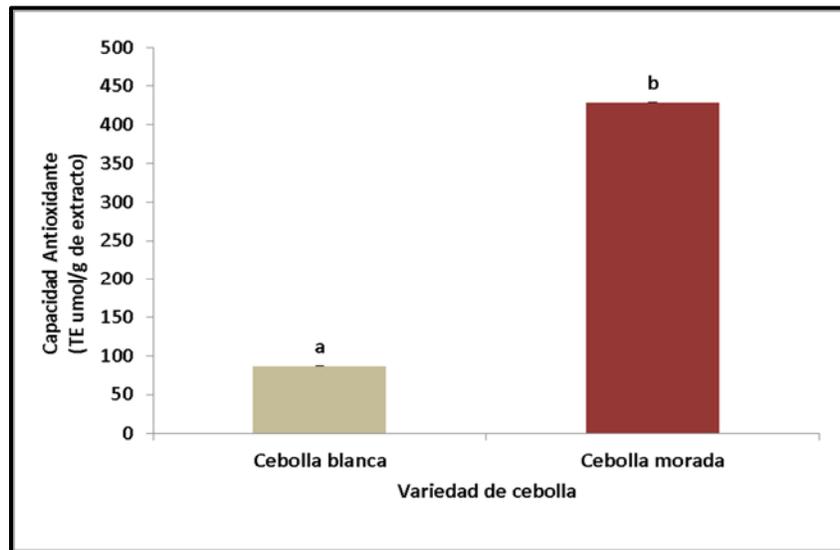


Figura 17. Capacidad antioxidante de los extractos de cebolla blanca y morada.

Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La quercetina es el flavonoide más abundante en la cebolla de variedad morada, esta concentración se ve relacionada con la capacidad antioxidante que esta pueda presentar (Vilte *et al.*, 2017). La actividad antioxidante podría atribuirse, en parte, a la presencia de polifenoles, específicamente al contenido de Quercetina en las dos variedades de cebolla, cuya estructura química es especialmente adecuada para actuar como secuestradores de radicales libres o donadores de hidrógenos o electrones, así como se mencionó anteriormente que la Quercetina es el flavonoide más abundante y que presenta mayor capacidad antioxidante.

Los resultados están directamente relacionados al contenido de fenoles totales, ya que la Quercetina forma parte de uno de los subgrupos de los compuestos fenólicos (Aguado *et al.*, 2013).

Debido a que la cebolla morada resultó ser la variedad con la mayor concentración de compuestos de acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas, se decidió proseguir la experimentación utilizando solamente la variedad de cebolla morada.

5.2. Cuantificación de compuestos orgánicos en extractos de la cebolla.

Una vez seleccionada la variedad de cebolla morada, la cual presentó una mayor concentración de polifenoles, se continuó a seleccionar el método de extracción que otorgará un extracto con mayor concentración de polifenoles en un menor tiempo de operación.

En la figura 18 se presentan los valores obtenidos en la cuantificación de fenoles totales para el jugo de cebolla morada y para los extractos por maceración y extracción asistida por ultrasonido utilizando una relación 80:20 de etanol y agua, observando que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes métodos de extracción; donde el jugo de cebolla morada es el que presenta el mayor contenido de todos los extractos con 8.84 mg de Ácido Gálico / g de extracto, mientras el extracto obtenido por ultrasonido logró únicamente 1.34 mg de Ácido Gálico / g de extracto quedando como último lugar el extracto obtenido por maceración con solo 0.87 mg de Ácido Gálico / g de extracto.

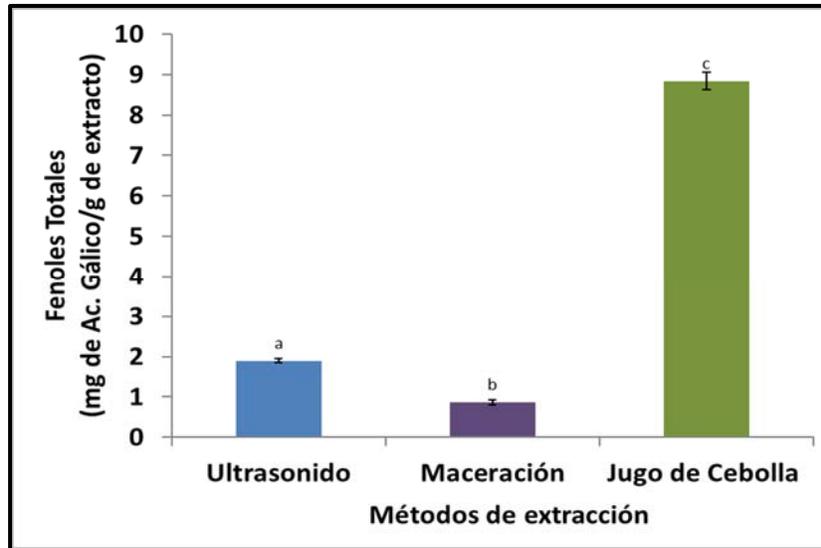


Figura 18. Contenido de fenoles totales en extractos de cebolla morada. Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La maceración es el procedimiento de extracción más simple, puede requerir o no de agitación y de tiempos muy diversos, necesitando de cuatro a diez días, además que entre mayor sea la relación solvente-soluto, más favorable será el rendimiento (Carrión y García, 2010). Sin embargo, las desventajas que se presentan mediante este procedimiento son que requiere un tiempo prolongado para llevarse a cabo, además de que la extracción de los compuestos se realiza de una manera incompleta. El extracto de cebolla morada obtenido por maceración fue el que presentó un contenido de fenoles totales menor, siendo de 0.87 mg de Ácido Gálico/g de extracto. Esto pudo deberse probablemente a que el primer fenómeno que se presenta al sumergir la cebolla con el líquido de extracción se disuelven primero las sustancias a los que el disolvente puede llegar sin obstáculos, los que con respecto a los resultados fueron muy pocos, pero la mayor barrera con la cual se encontró el disolvente fue su poca capacidad de realizar el fenómeno de difusión celular, con lo que se limitó su capacidad de llegar al equilibrio de compuestos entre el soluto y disolvente.

La cantidad de fenoles presentes en el extracto por ultrasonido fue de 1.9 mg de Ácido Gálico/g de extracto. La extracción asistida por ultrasonido es exitosa por sus

burbujas de cavitación, estas son formadas por el rompimiento del líquido y dan origen a burbujas de gas (cavidades) que crecen y posteriormente colapsan (implotan) a una velocidad mayor del sonido, emitiendo ondas de choque (ondas de presión abrupta) (Ramírez, 2016).

Sin embargo, una de las principales causas por las que el jugo de cebolla obtuvo una considerablemente mayor concentración de compuestos bioactivos, fue el grado de trituración que logra el licuado, siendo éste uno de los factores que favorecen más la extracción de compuestos de un material, además del esfuerzo mecánico que hay durante el licuado responsable de la ruptura de enlaces y liberando más fácilmente los compuestos que son difíciles de extraer por medio de un disolvente, sin embargo, la extracción asistida por ultrasonido también tiene un efecto a nivel celular, ya que la energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión, afectan la estructura de las células situadas en el microentorno. Se considera que, dependiendo de la frecuencia empleada y la longitud de las ondas de sonido, se pueden generar diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos (Herrero y Romero, 2006).

En la figura 19 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de flavonoides de cada extracto, donde se observa el mismo comportamiento que en el contenido de fenoles, siendo el jugo de cebolla el que presenta mayor contenido de flavonoides con un valor de 1.2 mg de Quercetina / g de cebolla. El valor obtenido por ultrasonido es de 0.2145 mg de Quercetina / g de cebolla y en maceración de 0.0694 mg de Quercetina / g de cebolla.

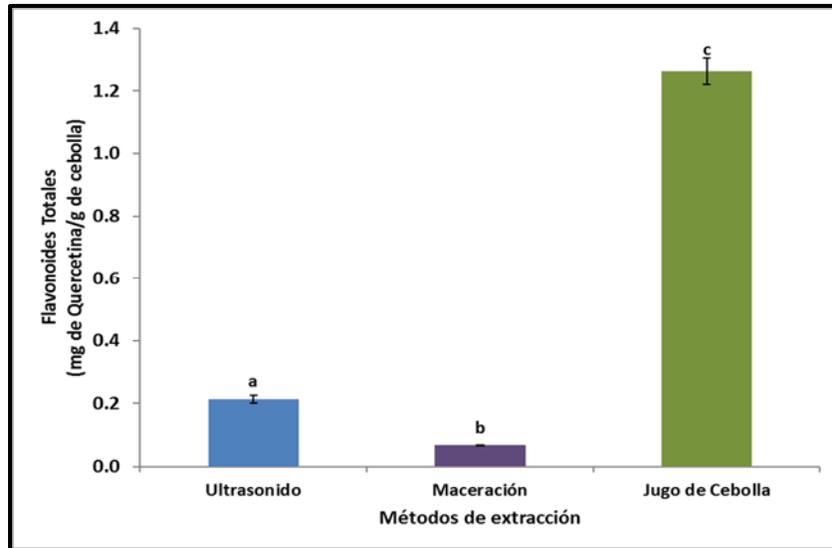


Figura 199. Contenido de flavonoides en extractos de cebolla morada.

Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La diferencia del contenido total de Quercetina entre los diferentes extractos puede deberse a que para obtener el jugo de cebolla se hacen mecánicamente una excesiva ruptura de enlaces de los compuestos, pudiendo así liberar una mayor cantidad de compuestos bioactivos, García (2011) reporta que para cebollas, el mayor nivel de flavonoles totales se presenta en las capas externas y el menor nivel en las internas y piel marrón, la posible explicación podría estar relacionada con la enzima que cataliza la biosíntesis de los flavonoles (fenilalanina amonio liasa) la cual es inducida por la luz, por lo que al haber utilizado la cebolla entera para obtener el jugo de la cebolla se presentan tanto los niveles bajos y altos de las regiones de la cebolla que contienen flavonoles.

El valor obtenido por el método de maceración fue similar al reportado por Muñoz (2005); el cual es de 0.1993 mg de Quercetina / g de cebolla. El extracto obtenido por maceración presentó el contenido de Quercetina más bajo.

En la Figura 20 se muestran los datos de capacidad antioxidante obtenidos de los diferentes extractos, al igual que en los resultados anteriores se observa que entre los extractos hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Los valores obtenidos por el

método de maceración son de 87.28 TE $\mu\text{mol} / \text{g}$ de extracto y en ultrasonido de 274.32 TE $\mu\text{mol} / \text{g}$ de extracto. Estos valores son mucho más bajos a los reportados por el Agro Waste (AÑO), mientras que la capacidad antioxidante resultante del jugo de cebolla morada presenta un valor de 1135.95 TE $\mu\text{mol} / \text{g}$ de extracto.

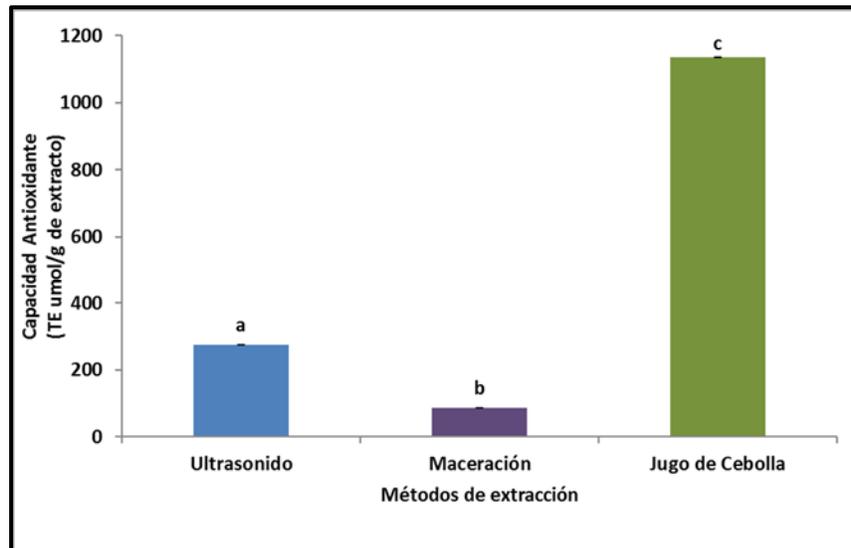


Figura 20. Capacidad Antioxidante de los extractos de cebolla morada.

Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos de capacidad antioxidante presentaron un comportamiento esperado, ya que la Quercetina, fue la que presentó mayor actividad antioxidante, y pertenece al grupo de los flavonoles que a su vez son un derivado o pertenecen igualmente a los polifenoles, mostrando que en todos los resultados presentados las concentraciones de los compuestos a medir de cada uno de los extractos siguen la misma relación.

Los resultados de las pruebas realizadas fueron contundentes en cuanto a que el extracto obtenido directamente (jugo de cebolla) fue el que presentó los mayores valores de capacidad antioxidante como de concentración de fenoles y flavonoides además de ser el más rápido, por lo que se prosigue con el proyecto empleando la extracción directa para obtener el extracto de cebolla morada.

5.3. Efecto inhibitorio del extracto de cebolla sobre *Salmonella typhi*

De acuerdo con diferentes investigaciones, la composición química de diferentes alimentos presenta actividad antimicrobiana, un ejemplo de estos compuestos son los fenoles y flavonoides, además de algunos ácidos orgánicos. En estado natural, estos compuestos pueden desempeñar el papel de prolongadores de la vida útil de los alimentos (Rodríguez, 2011). Diferentes compuestos antimicrobianos naturales se obtienen principalmente de hierbas, plantas, y especias. El proceso más difícil es la extracción, purificación y la aplicación de dicho compuesto antimicrobiano al alimento sin afectar su calidad sensorial y seguridad (Beuchat y Golden, 1989).

Las pruebas *in vitro* de inhibición de crecimiento de *Salmonella typhi* realizadas con medio Agar Nutritivo mostraron un efecto inhibitorio en las diferentes concentraciones del extracto de cebolla. El halo de inhibición se puede observar en la Figura 21, como resultado de la medición del halo se observó que entre concentraciones hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$). El halo de inhibición que presentó la concentración de 127 ppm tuvo un radio promedio de 4 mm, mientras que con 190 ppm aumenta a un radio de 6 mm y finalmente el radio de inhibición que presenta la concentración de 257 ppm es de 10 mm.

En lo que se refiere a la concentración de los extractos en partes por millón, se obtuvo 40% menor porcentaje de inhibición para 190 ppm y 60% menor inhibición para 127 ppm en comparación con la máxima inhibición de 257 ppm de extracto de cebolla.

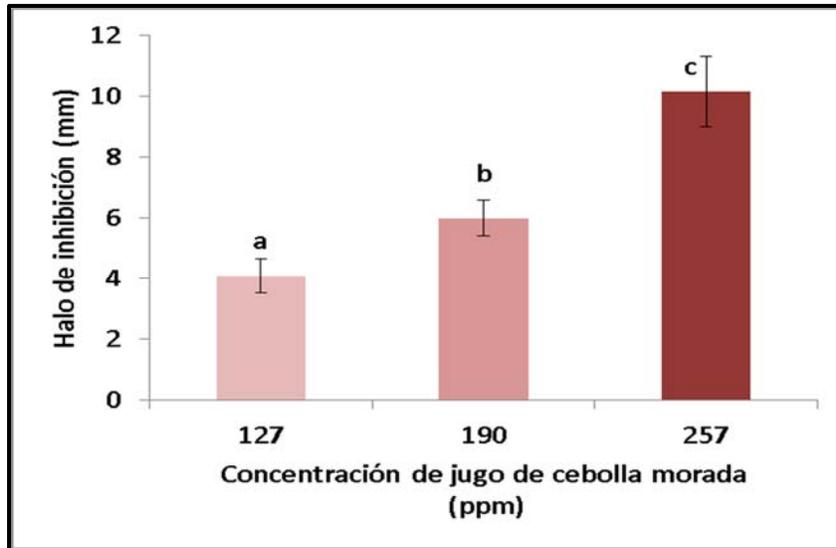


Figura 21. Radio del halo de inhibición de las pruebas *in vitro* del extracto de cebolla morada sobre *Salmonella typhi*.

Las letras diferentes sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Corrales y colaboradores en el 2014 siendo que los polifenoles pueden atravesar la membrana bacteriana semipermeable y reaccionar con el citoplasma o proteínas celulares, inhibiendo de esta forma el crecimiento microbiano.

Parte de las propiedades antimicrobianas de los polifenoles se han atribuido a sus propiedades quelantes de complejos de iones metálicos, estos sirven como cofactores esenciales para diferentes enzimas necesarias para el crecimiento bacteriano. Maqbool y colaboradores en 2010 presentaron estudios *in vitro* donde mostraron que a concentraciones de 1.0 y 1.5 % w/v de quitosano se inhibió completamente el crecimiento de *Colletotrichum musae* durante 7 días de incubación, Durango y colaboradores en el 2006 recubrieron zanahoria y utilizaron quitosano al 1.5% w/v como aditivo antimicrobiano lo que permitió controlar la microbia presente en la zanahoria mínimamente procesada, en 2007 Chien y colaboradores reportaron que se inhibió el crecimiento de microorganismo en trozos de mango recubierto con quitosano, así como Oms-Oliu y colaboradores (2008) reportaron que se ralentizó el deterioro por microorganismos en pera recubierta con

alginato de sodio y glicerol junto con cloruro de calcio adicionado de N-acetil cisteína y Glutation, conservando en todos los estudios los frutos con buenos parámetros de calidad. A continuación, en la Tabla 11 se muestra el seguimiento fotográfico llevado a cabo para determinar el efecto inhibitorio del jugo de cebolla morada sobre *Salmonella typhi*.

Tabla 11. Efecto del jugo de cebolla en el crecimiento de *Salmonella typhi*.

Concentración (ppm)	Tiempo 24 horas
Control	
127	
190	
257	

En 2010 Sotelo y colaboradores mencionaron que la resistencia de las bacterias Gram negativas frente a sustancias antibacterianas está relacionada con la superficie hidrofílica de su membrana externa; aunque aún es posible lograr inhibir su crecimiento con el uso de polifenoles. En 2011 Prosdócimo y colaboradores mencionan que los extractos de polifenoles obtenidos al estado puro presentan propiedades antibacterianas, afectando la porción lipídica de la membrana

citoplasmática de los microorganismos patogénicos, provocando una disminución del consumo de oxígeno y la alteración de la cadena respiratoria. Debido a la inhibición satisfactoria, el extracto de cebolla se adicionó a las formulaciones del recubrimiento para evaluar su efecto sobre chile jalapeño utilizando la concentración de 257 ppm.

5.4. Efecto del recubrimiento adicionado con extracto de cebolla morada sobre la calidad de chile ‘Jalapeño’

Una vez determinada la concentración de extracto de cebolla que se añadirá a las formulaciones del recubrimiento; para evaluar el efecto que provocaba éste en los parámetros de calidad de chiles jalapeños organizados en tres lotes, siendo uno el lote control (testigo), el cual no fue tratado con recubrimiento, el lote “A” los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y por último el lote “B” los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

Durante el tiempo de 25 días se evaluaron a cada lote los siguientes parámetros: sólidos solubles totales, pH, color, croma, tono, luminosidad y pérdida de peso. En la actualidad, se busca la combinación de dos o más factores que interaccionen aditiva o sinérgicamente controlando a la población microbiana, evitando la aplicación de un solo factor de conservación en forma severa, lo que mejora la calidad sensorial y nutrimental del alimento; permitiendo el procesamiento de productos semejantes al producto fresco, más sanos, con menos aditivos y listos para preparar y servir (Alzamora, 1997). A continuación, se describe el efecto en cada parámetro evaluado de los tres lotes de chile jalapeño.

5.4.1. Sólidos solubles totales

El nivel de sólidos solubles totales aumenta conforme se desarrolla el fruto y a medida que se aproxima a la madurez (Cañizares *et al.*, 2003), por tal razón la medición de sólidos solubles sería un indicador para ver el efecto del recubrimiento en la madurez del chile. En la figura 22 se puede observar una tendencia

ascendente de los valores de sólidos solubles en los chiles de los tres lotes, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los días 0, 4 y 20. Los sólidos solubles del lote control presentaron un valor inicial de 5.23 °Brix y uno final de 5.57 °Brix aumentando un 6.5 % al final de la prueba con respecto al punto inicial, el lote "A" presentó un valor inicial de 5.47 °Brix y un final de 6.2 °Brix aumentando un 13.3 % respectivamente. Mientras que el lote "B" presentó un valor inicial de 4.77 °Brix y un final de 6.03 °Brix; por lo que obtuvo un incremento de 26.4% siendo el lote que obtuvo un cambio más notable en los valores, este fenómeno pudo deberse al estrés al que fueron sometidos los chiles al ser recubiertos ya que aumentó su tasa de respiración y por ende las reacciones de hidrólisis de los polisacáridos.

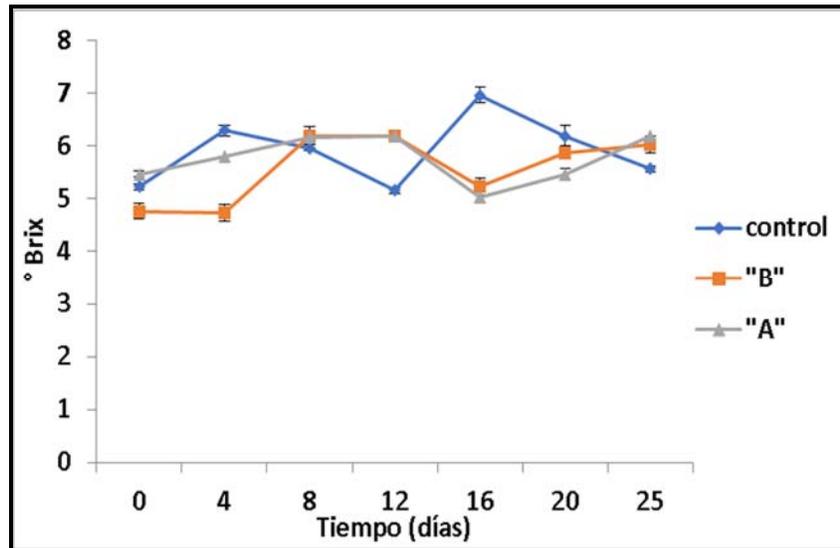


Figura 22. Efecto del recubrimiento en los sólidos solubles totales de chile 'Jalapeño'.

Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

En el último punto de medición (25 días) los sólidos solubles de la formulación "B" mostraron un incremento de 8.2 % y de 11.3 % del lote tratado con la formulación "A" en comparación al lote control. Este fenómeno puede deberse a que sufre una serie de cambios en sus características y componentes: aumenta el tamaño, pierde acidez, acumula azúcares, disminuyen su firmeza y su porcentaje de agua y

modifica su color a partir de la degradación de clorofila, permitiendo la expresión de los pigmentos amarillos carotenoides (Crisosto, 1994). El aumento de los sólidos solubles totales se puede atribuir a la conversión del almidón en azúcares, debido probablemente a un aumento en la actividad de las enzimas hidrolasas del almidón. La acumulación de azúcares está asociada con el desarrollo de una óptima calidad comestible y los mismos pueden ser incorporados al fruto desde la corriente de fotosintetizados, más que a la degradación de las reservas de almidón del fruto (Heredia *et al.*, 1997).

5.4.2. pH

A medida que la concentración de ácidos disminuye, el pH presenta una ligera tendencia al aumento, esta situación podría relacionarse con la disminución de hidrogeniones libres presentes en la pulpa de fruta, posiblemente debido a que muchos de los ácidos orgánicos participan durante esta etapa en la formación de sustancias volátiles aromáticas, lo cual podría favorecer aspectos organolépticos (Mendoza, 2013). Un incremento en el estado de madurez ocasiona un aumento en el pH y una disminución de la acidez titulable. Pantástico (1981) afirma que el aumento del pH ocurre debido a la reducción de la acidez titulable total (ATT).

En la figura 23 se observa un comportamiento casi constante de los valores de pH en los chiles de los tres lotes, el lote control presentó un valor inicial de 5.92 y uno final de 5.99 aumentando un 1.1 % al final de la prueba con respecto al punto inicial. El lote "A" presentó un valor inicial de 5.93 y un final de 6.37 aumentando un 7.4% respectivamente, así como el lote "B" presentó un valor inicial de 5.97 y un final de 6.43 por lo que obtuvo un incremento de 7.7% siendo el lote que obtuvo un cambio más notable en los valores. Los resultados de los días 8, 12 y 16 presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre todos los lotes, mientras que para los días 4, 20 y 25 sólo el lote control presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

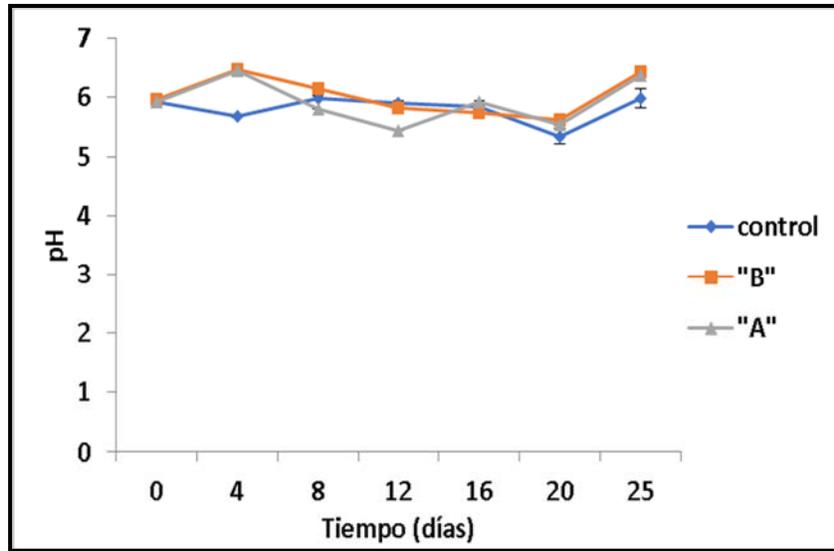


Figura 23. Efecto del recubrimiento en el pH de chile 'Jalapeño'.

Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

Los resultados de pH muestran un comportamiento casi constante aumentando únicamente 7.3% el lote tratado con la formulación "B" y 6.3% el lote tratado con la formulación "A" con respecto al lote control. Los valores de pH presentaron una disminución desde el día 4 hasta el día 20, generalmente los ácidos disminuyen durante la maduración, ya que ellos son sustratos respiratorios o son convertidos en azúcares. De tal forma, que éstos pueden ser considerados una fuente de energía y se esperaría que disminuyeran durante la actividad metabólica que se desarrolla durante la maduración (Heredia *et al.*, 1997).

5.4.3. Color

El color es un factor importante dentro de la percepción de la calidad de los frutos frescos durante su vida de anaquel (Radi *et al.*, 2017). El chile jalapeño es consumido tanto en estado inmaduro (verde) como en maduro (rojo), de tal manera que resulta importante evaluar el color en ambos (Mendoza *et al.*, 2015). Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra de alimento, designan: L^* , la luminosidad (0=negro y 100=blanco); a^* , el color rojo (valores positivos) o verde

(valores negativos) y b^* , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos) (Padrón *et al.*, 2012).

5.4.4. Luminosidad

La luminosidad del color percibido de un objeto indica la relación entre la luz que absorbe y refleja sin tener en cuenta la longitud de onda específica involucrada (Lawless & Heymann, 2010). En la figura 24 se muestran los valores de luminosidad obtenidos por el colorímetro destacando un incremento en los valores conforme pasa el tiempo, existiendo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en todos los puntos excepto el día 12 entre el lote "A" y los dos lotes restantes.

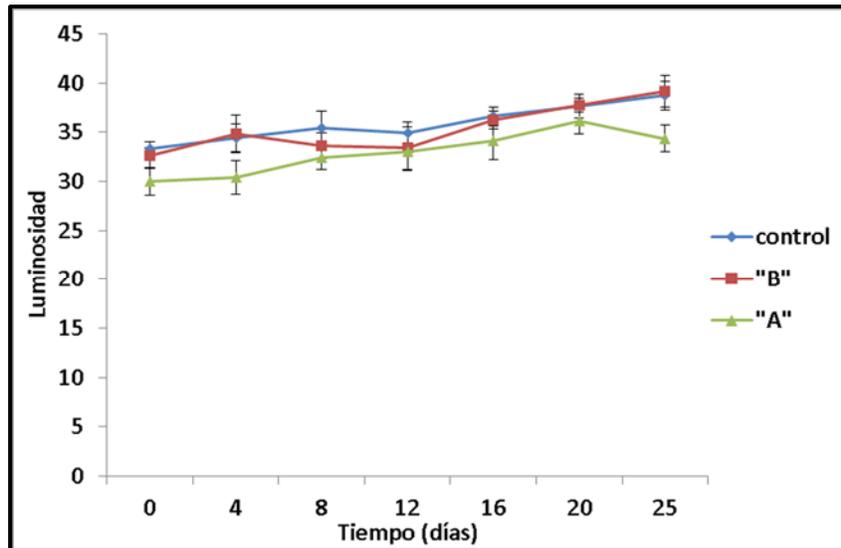


Figura 24. Efecto del recubrimiento en la Luminosidad de chile 'Jalapeño'.

Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

Los valores de los lotes "B" y control se mantuvieron en un rango de $L=33-40$ a lo largo del almacenamiento. En el día 0 el lote "A" presentó un 10% menor luminosidad que el lote control y 8% menos que el lote "B". El lote "A" mantuvo una tendencia ascendente durante la prueba estando los valores en un rango de $L=30-38$ hasta el día 20, donde disminuyó su valor para el final de la prueba a $L=34$,

mientras que los lotes restantes presentaron el mismo comportamiento. El lote control disminuyó su valor en el día 8 y el lote “B” en el día 4 pero ambos lotes continuaron el aumento de la luminosidad en los días posteriores.

En el día 25 el lote “A” presentó 11% menos Luminosidad que el lote control y 12.4% menos que el lote “B”, resultando el lote “B” al final de la prueba con el valor de Luminosidad mayor. Las muestras no presentaron cambio de color visible durante toda la prueba. Los resultados obtenidos por todos los lotes resultaron mayores a los reportados por Mendoza y colaboradores en 2015 donde los chiles jalapeños presentaron valores entre $L=28$ a 35 , esto debido a que los chiles con los que trabajó no estaban recubiertos.

En 2011, Ali y colaboradores utilizaron un recubrimiento a base de quitosano en papaya fresca obteniendo $L=64.4$; mientras que los controles obtuvieron un valor de $L=65.5$, Gómez y colaboradores en 2017 recubrieron fresas frescas con diferentes formulaciones, resultando que los valores de L tuvieron un comportamiento ascendente volviéndose las fresas más brillantes independientemente del tratamiento, sin embargo, el brillo conforme al tiempo fue mayor en las muestras recubiertas, al igual que Davila-Acuña en 2011 logró incrementar la luminosidad en jitomates recubiertos con cera carnauba con respecto a los controles, el lote “B” obtuvo un 1.2% mayor Luminosidad que el lote control, mostrando que el recubrimiento no presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) sobre la luminosidad del chile con respecto al control.

5.4.5. Croma

El croma de un color indica que tanto un color específico se diferencia del gris (Lawless & Heymann, 2010). En la figura 25 se puede observar que los valores de croma de todos los lotes presentan una disminución durante el período del almacenamiento.

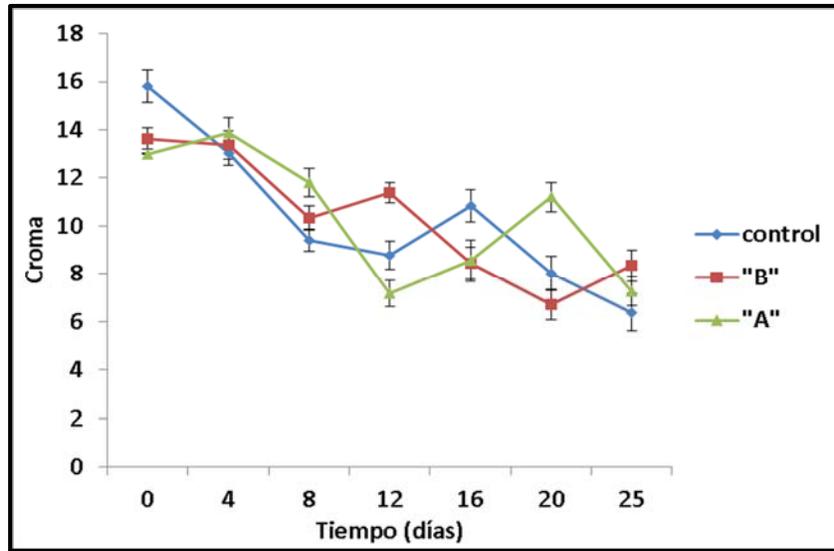


Figura 25. Efecto del recubrimiento sobre Croma de chile 'Jalapeño'.

Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

En la figura 25 se observa que todos los lotes presentaron un comportamiento similar donde los valores de croma tuvieron una tendencia a disminuir estando los valores en un rango de C* entre 15.83 a 6.39 pero aumentaron en el día 8 para el lote "B", el día 12 para el lote control y lote "A", observando que los valores a los que aumentaron croma se encuentran en un rango de C* entre 10.85 a 11.82. En el día 25 se observa que el croma del lote "B" fue mayor que el lote control y se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambos lotes, no así entre los lotes "A" y "B" donde no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$); al igual que no la hubo entre los lotes control y "A". Al final de la prueba los lotes "A" y "B" presentaron un Croma mayor al lote control.

Mendoza *et al.* (2015) reportaron Croma para los chiles verdes que utilizaron, presentando estos datos un comportamiento similar estando dentro de un intervalo de C*=12.9 a 17.8.

5.4.6. Tono

El color de un objeto puede variar en tres dimensiones, una de estas es llamada Hue, este es típicamente lo que el consumidor refiere como el color del objeto (Lawless & Heymann, 2010). El valor de ángulo matiz también refleja los diferentes estados de maduración (Mendoza *et al.*, 2015). La figura 26 muestra que los valores de tono de todos los lotes presentan un descenso durante el período del almacenamiento.

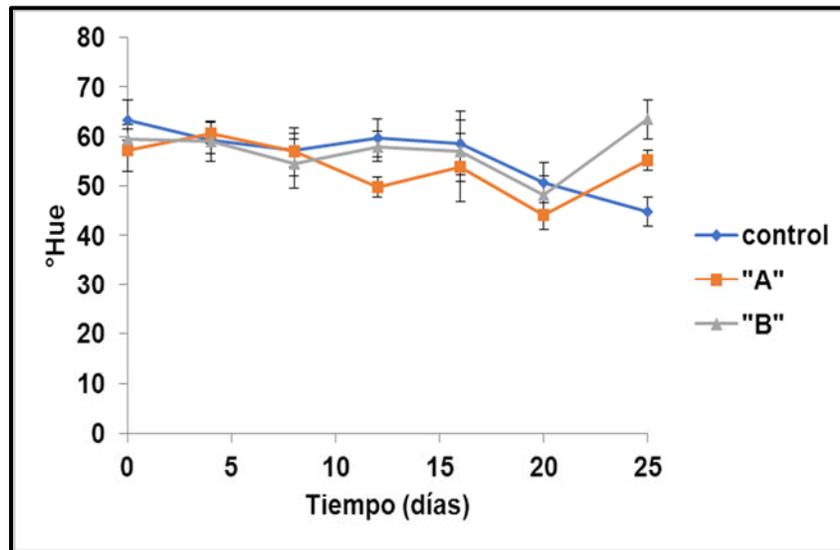


Figura 26. Efecto del recubrimiento sobre °Hue de chile 'Jalapeño'.

Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

En la figura 26 se observa que sólo se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) los días 12 y 25. En el día 0 el lote control presentó un valor de °Hue de 63; siendo éste el más alto en comparación que los otros dos lotes, 9.6% mayor que el lote "A" y 6% mayor que el lote "B" sin existir diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el tono. En el día 20 el lote control sigue reportando el valor más alto de °Hue (50.68); siendo 13% mayor que el lote "A" y 5.1% mayor que el lote "B" sin existir diferencia significativa ($p \leq 0.05$). El lote "B" fue el que presentó el valor mayor al final de la prueba siendo de °Hue (63) 29.3% mayor con respecto al lote control y 13.2% mayor que el lote

“A”, esto sugiere que cuando la permeabilidad al vapor de agua es menor, la pérdida de humedad en la superficie puede ser la responsable por el oscurecimiento observado (Chiralt, 2002). Los valores de los lotes “A” y “B” se comportan igual a los reportados por Mendoza *et al.*, (2015) donde los resultados de °Hue sufren una disminución pero al final de la prueba presentan un incremento, lo que se refleja visualmente como el cambio de color de verde a rojo. El área en la que se encuentran los valores en el día 25 es la transición de verde-amarillo, seguida de amarillo-rojo lo que se interpreta como una consecuencia de la maduración de los chiles. Este último es el resultado de la acumulación de diferentes carotenoides en los cromoplastos durante la maduración. Los pigmentos rojos predominantes son capsantina y capsorubina, los naranja y amarillos son luteína, β -caroteno (provitamina A), zeaxantina, violaxantina y la anteraxantina (Paran *et al.*, 2007).

5.4.7. Pérdida de peso

La pérdida de peso de la mayoría de los frutos y vegetales frescos, es consecuencia directa de la disminución en su contenido de humedad (Aguilar, 2005). El efecto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado que causa una disminución significativa del peso y a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo su turgencia (FAO, 2008).

Al final de la prueba los chiles de los tres lotes presentaron una pérdida de peso, el lote control obtuvo una pérdida de peso promedio de 5.5%, el lote “A” un promedio de 5.8% y finalmente el lote “B” con un promedio de 4%. En la Figura 27 la pérdida de peso mostró una tendencia ascendente en todos los lotes, existiendo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) del lote “B” con los demás lotes a partir del día 12. En el punto final (25 días) el lote B presentó un porcentaje de pérdida de peso de 28.6% menos en comparación al lote control y 32% menos con respecto al lote “A”. Las películas de alginato de sodio tienen menor resistencia al agua que las películas formadas con otros polisacáridos (Domínguez y Jiménez, 2012); sin embargo, la formulación con menor concentración de alginato de sodio, formulación “B”, fue capaz de presentar un menor porcentaje de pérdida de peso con respecto al lote control,

contrario al lote "A" que presentó una pérdida de peso 5 % mayor al lote control puesto que contenía mayor concentración de alginato de sodio.

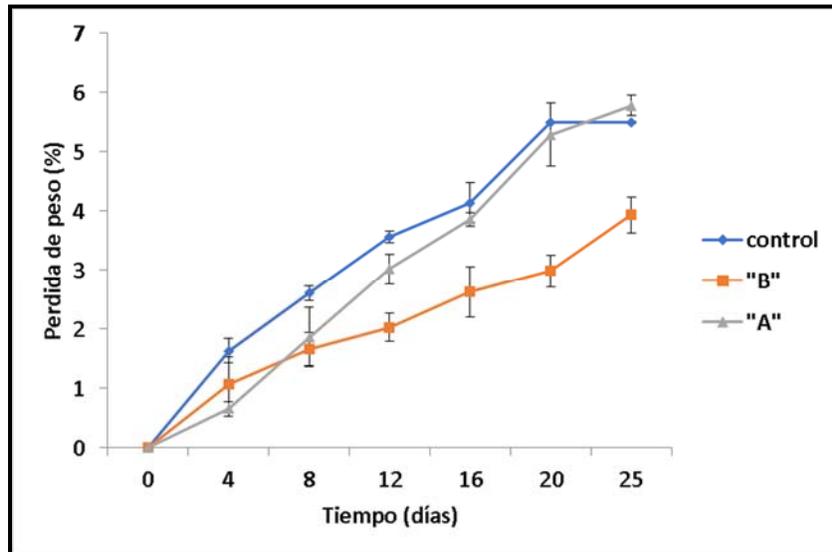


Figura 27. Efecto del recubrimiento en la pérdida porcentual de peso de chile 'Jalapeño'. Donde "A": los chiles con la formulación del recubrimiento con 2% de alginato de sodio y 1.5% de glicerol y "B": los chiles con la formulación del recubrimiento que contiene 1% de alginato de sodio y 0.75% de glicerol.

Los alginatos y carrageninas son altamente hidrofílicas por lo que presentan únicamente una limitada barrera contra la humedad. Sin embargo son buenas barreras contra grasas y aceites, también son buenas barreras contra el oxígeno y pueden proveer protección contra la oxidación lipídica (Tavassoli *et al.*, 2016).

Los resultados obtenidos en este experimento concuerdan con lo que menciona Villalobos y colaboradores en el 2009, donde los recubrimientos deben actuar como barrera para la transferencia de masa, creando así una atmósfera interna en el producto, protegiéndolo de reacciones de deterioro como lo son las reacciones oxidativas, el intercambio de gases, la reducción de la humedad y la disminución de la tasa de respiración. Debido a que los resultados obtenidos de calidad de chile jalapeño en el lote "B" no alteraron significativamente los parámetros de pH, °Brix y

además resultó ser el que menor porcentaje de pérdida de peso presentó, se empleará esta formulación para las pruebas *in vivo*.

5.5. Estudio de la inhibición de crecimiento de *Salmonella typhi* en Chile 'Jalapeño' utilizando un recubrimiento comestible adicionado con extracto de cebolla morada.

Para la prueba de reto de inhibición microbiana se diseñaron 4 lotes de chiles, utilizando la formulación de 1% de alginato de sodio, 0.75% de glicerol y adición del extracto de cebolla morada para los lotes que se recubrieron, etiquetando al primero como lote control (testigo), el cual contenía solamente chiles jalapeños lavados y desinfectados, el siguiente lote fue el lote Chile + recubrimiento, éste contenía chiles recubiertos, el tercer lote que se utilizó fue el lote Chile + *Salmonella*, inoculando con pequeñas gotas por zona específica con 100µL y por último el lote Chile + recubrimiento + *Salmonella*, siendo el lote que determinará si el recubrimiento adicionado con extracto de jugo de cebolla es capaz de inhibir el crecimiento de *Salmonella typhi* en chiles jalapeños contaminados. La duración de la prueba fue de 72 horas y se muestreó cada 12 horas, comenzando desde la hora 0 y se realizó el conteo en placa a las 24 horas de muestrear.

En la hora 0 hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$), ya que los lotes sin infectar no presentaron crecimiento bacteriano, mientras que el lote Chile + *Salmonella* presentó una concentración de 160 UFC / mL, así mismo el lote Chile + recubrimiento + *Salmonella* presentó una concentración de 445 UFC / mL, siendo 64 % mayor el crecimiento del lote recubrimiento *Salmonella* en comparación con el no recubierto (Figura 28). Esto puede deberse probablemente a la humedad que aún contenía el recubrimiento promoviendo el crecimiento de la bacteria en el punto inicial de la prueba, transcurrido el tiempo antes del segundo punto (12 horas) el recubrimiento estaba completamente seco y por acción del extracto de cebolla morada la bacteria no logró continuar su crecimiento. El crecimiento y proliferación de *Salmonella typhi* está vinculado a las condiciones de vida del sustrato ya que necesita requerimientos para su desarrollo especialmente exigentes en términos de

agua disponible, temperatura o pH del medio en el que se halla (Gimmer, 2009). Investigaciones del Imperial College de Londres reportan que *Salmonella* produce flagelos para adherirse a los frutos maduros y para desplazarse sobre la superficie de éste, no así en los frutos verdes (Chavarrías, 2012).

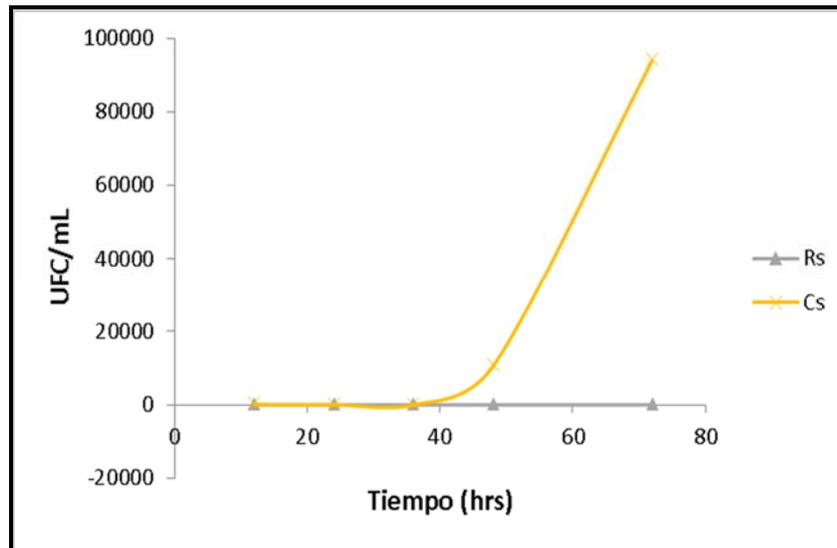


Figura 28. Crecimiento de *Salmonella typhi* sobre chile 'Jalapeño'.

Rs = Chile + Recubrimiento + *Salmonella*; Cs = Chile + *Salmonella*.

En el segundo punto (12 horas) el lote chile + *Salmonella* presentó solamente una concentración de 50 UFC / mL, esto debido a que la bacteria no podía adaptarse a las condiciones nutrimentales de las que disponía; sin embargo, reanudó su crecimiento en el punto de las 48 horas con una concentración de 10.6×10^3 UFC / mL, mostrando un crecimiento logarítmico a partir de este punto.

Los lotes tratados con el recubrimiento adicionados con 257 ppm de extracto de cebolla morada inhibieron efectivamente el crecimiento de *Salmonella typhi* a partir del segundo punto de la prueba (12 horas), lo que lo convierte en una opción viable ya que se emplea una matriz de recubrimiento de bajo costo. En la tabla 10 se presentan los valores de las UFC durante la prueba, mostrando los valores de cada lote junto con su réplica (Tabla 12).

Tabla 12. Conteo de UFC para la prueba *in vivo* de chiles Jalapeños inoculados con *Salmonella typhi*.

Lote	Tiempo (horas)					
	0	12	24	36	48	72
Chile (Control)	0	0	0	0	0	0
Chile (Control)	0	0	0	0	0	0
Chile + recubrimiento	0	0	0	0	0	0
Chile + recubrimiento	0	0	0	0	0	0
Chile + <i>Salmonella</i>	10	10	0	0	8×10^2	1.32×10^3
Chile + <i>Salmonella</i>	8.8×10^2	0	0	0	1.44×10^3	5.6×10^2
Chile + recubrimiento + <i>Salmonella</i>	3.56×10^3	0	0	0	0	0
Chile + recubrimiento + <i>Salmonella</i>	0	0	10	0	0	0

Los lotes no infectados (control) no presentaron crecimiento de microorganismos durante toda la prueba, lo que garantiza que la carga microbiana de estas pruebas fue únicamente la del proceso de inoculación. La principal causa de deterioro de los alimentos es el ataque por diferentes tipos de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos) (Rodríguez, 2011).

Los resultados obtenidos de los lotes de chiles recubiertos fueron satisfactorios al final de la prueba y se confirma su capacidad de los flavonoides de la cebolla para inhibir el crecimiento de bacterias.

Conclusiones

- La variedad de cebolla morada resultó ser la que contenía una concentración de polifenoles tres veces mayor en comparación con la variedad blanca, presentando una concentración de 11.7 mg de Ácido Gálico / g de extracto comparado a los 3.8 mg de Ácido Gálico / g de extracto obtenidos por la cebolla blanca.
- El método de extracción directa fue el más efectivo logrando una concentración hasta cuatro veces más con un valor de 8.84 mg de Ácido Gálico / g de extracto que por el método de extracción asistida por ultrasonido presentando una concentración de 1.9 mg de Ácido Gálico / g de extracto.
- El extracto de cebolla fue capaz de inhibir completamente el crecimiento de la bacteria desde la concentración de 127 ppm durante las pruebas *in vitro*, presentando radio del halo de inhibición de 4 mm, consecuentemente mientras mayor fue la concentración de extracto mayor fue el diámetro del halo de inhibición logrando un radio del halo de inhibición de 10 mm utilizando la concentración de 257 ppm.
- En las pruebas *in vivo* el extracto adicionado al recubrimiento en chile 'Jalapeño' logró inhibir el crecimiento de *Salmonella typhi*, a pesar del crecimiento que presentó uno de los lotes debido a no estar completamente seco.
- Los valores de pH y sólidos solubles totales no aumentaron significativamente debido al proceso de maduración del chile por lo que el recubrimiento retrasó efectivamente este proceso.
- La calidad final de los chiles no sufrió un impacto desfavorable debido al recubrimiento, más bien lo ayudó a presentar un mayor brillo y tiempo de conservación, puesto que el lote recubierto con la formulación de Alginato de

Sodio al 1% y 0.75% de Glicerol presentó una pérdida de peso notablemente menor al lote control, por lo que se concluye que el extracto de cebolla morada adicionado en un recubrimiento comestible resulta ser una opción viable y efectiva para mantener la inocuidad de alimentos.

Recomendaciones

El extracto de cebolla morada adicionado a un recubrimiento comestible sobre chile jalapeño presentó unos resultados que podrían complementarse con las siguientes recomendaciones:

- Comprobar el efecto antimicrobiano del extracto de cebolla morada sobre otros microorganismos responsables de enfermedades transmitidas por alimentos más comunes como lo son *Staphylococcus aureus*, *E. coli* O157:H7, *Campylobacter spp* y *Norovirus*.
- Evaluar el contenido de polifenoles en el extracto de cebolla, específicamente de quercetina, mediante técnicas analíticas que permitan su cuantificación exacta como cromatografía líquida de alta resolución HPLC.
- Evaluar más parámetros que determinan la calidad final de los frutos recubiertos, como lo es la firmeza, la respiración y la acidez, así como un análisis químico proximal para comprobar que no hay un cambio en la composición química original del producto, así como para saber el grado de migración de los compuestos, si es que ocurre.
- Evaluar el efecto del extracto de cebolla morada adicionado a otra matriz como lo son los lípidos siendo menos hidrofílica por lo que puede conservar mejor el producto.

Bibliografía

- Acosta A.; Gaviota J.; Galmarini C. (1993). Producción de semilla de cebolla (*Allium cepa* L.). Mendoza, AR. Editora Gráfico EEA. 83 p.
- Agro Waste (2012) . Fecha de consulta: Marzo del 2017. Disponible en: <http://www.agrowaste.eu>
- Aguado M., Nuñez M., Bela A., Okulik N., Bregni C. (2013). Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de un extracto etanólico de *Aloysia polystachya* (Griseb.) Mold. (*Verbenaceae*). Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 44 (3), 46-51.
- Aguilar M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de maestría en tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional. Instituto de Tecnología Avanzada.
- Aguirre E., Muñoz V. (2015). El chile como alimento. *Ciencia, volumen* (66), 16-23.
- Ali, A.; Muhammad, M., Sijam K.; Siddiqui, Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemicals characteristics of Eksoyika II Papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. Food Chemistry 124: 620-626.
- Álvarez C.F. (2004). Obtención, caracterización y optimización del proceso de extracción de semilla de mango. Tesis Licenciatura. UNAM. Facultad de Química. México, D. F.
- Alzamora, S.M. (1997). Preservación. Alimentos conservados por factores combinados. En: J.M. Aguilera (Ed.). Temas en tecnologías de Alimentos.1. México. CYTED. IPN. P. 45-48.
- Azcoytia C. (2017). Historia de la cebolla. Consultado en Enero del 2018. Disponible en: <https://www.historiacocina.com/historia/articulos/cebolla.htm>
- Badui S. (2013). Química de los alimentos. Quinta edición. Pearson. México.
- Barton Behravesh C, Mody RK, Jungk J, (2008) Outbreak of *Salmonella Saintpaul* infections associated with raw produce. N Engl J Med 2011; 364:918–27.
- Beristain S., Palou E., Lopez A. (2012). Bacteriocinas: antimicrobianos naturales y su aplicación en los alimentos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 2, 64–78.
- Beuchat, L.R. y Golden, D.A. (1989). Antimicrobials occurring naturally in foods. Food Technol. 43(1): 134-142.

-
- Botanical-online. (2018). Flavonoides de la cebolla: Quercetina. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <https://www.botanical-online.com/medicinalesquercetina.htm>
- Britania Lab (2012). Medios de cultivo. Consultado el 18 de Febrero del 2017 Disponible en: <http://britannialab.com.ar/esp/productos/b02/lactosadocaldo.htm>
- Calva, E. (2000) *Salmonella typhi* y la fiebre tifoidea: de la biología molecular a la salud pública. Instituto de Biotecnología, UNAM, México.
- Cañizares A., Laverde D., Puesme, R. (2003). Crecimiento y desarrollo del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, Estado Monagas, Venezuela. UDO Agrícola, 3(1), 34–38.
- Carrión A. y García C. (2010). Preparación de extractos vegetales: determinación de eficiencia de metódica. Tesis de Licenciatura de Bioquímica y Farmacéutica. UC. Ecuador.
- CDC (2006) Multistate Outbreak of E. coli O157 Infections, November–December 2006 (Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta), www.cdc.gov/ecoli/2006/december/121406.htm, accessed 2007.
- 15.
- CDC- Centers for Disease Control and Prevention (2010). Escherichia coli O157:H7, general information. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: http://www.cdc.gov/nczved/divisions/dfbmd/diseases/ecoli_o157h7/index.html
- CDC, (2011). Estimaciones sobre enfermedades transmitidas por alimentos en países miembros de la FAO 2011, Datos y estadísticas. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <http://www.cdc.gov/gyts/spanish/Datos/wdfdtgui/EnfermedadesAlimentos/>
- Chavarrías M. (2012). *Salmonella* y la madurez de la fruta. Grupo Eroski. España. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: <http://www.costumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-tecnologia/2012/05/02/209120.php>
- Chien, P., Sheu, F., Yang, F. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78, 225 – 229.
- Chiralt, A. (2002). Cambios en las propiedades ópticas durante el procesado de vegetales. Actas del 2º Congreso Español de Ingeniería de Alimentos [cd-rom].

- Sesión Propiedades físicas. Universitat de Lleida, Lleida.
- Comaposada J., Gou P., Marcos B., Arnau J. (2015). Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 212–219.
 - Conoce hidroponía (2017). Importancia de la producción de chile en México. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: <http://hidroponia.mx/importancia-de-la-produccion-de-chile-en-mexico/>
 - Corrales M., Fernández A., Jung H. Han (2014) Antimicrobial Packaging Systems, *Food packaging* (7) 133-170. Plano, Texas, USA.
 - Creus E. (2004). Compuestos fenólicos. *Ámbito Farmacéutico. Nutrición*. 23, 80–84.
 - Crisosto C. H. (1994). Optimun procedures for ripening stone fruit. *Management of ripening fruit*, 24-25.
 - Díaz R. (2016). Comparación del Efecto de dos Recubrimientos Antimicrobianos Frente a *Salmonella Spp.* para ser aplicado en aguacate Hass. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. UNAM. FESC. México DF. pp 124.
 - Domínguez M., Jiménez M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 110–121.
 - Durango, A. M., Soares, N. F. F., Andrade, N. J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*. (17) 336–341.
 - Dussán S., Ramírez J. I., Hleap J. I. (2017). Conservación de Mango Mínimamente Procesado usando un Recubrimiento Comestible a base de Aceite de Aguacate. *Información Tecnológica*, 28(3), 67–74.
 - European Food Safety Authority. (2014). The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks in 2012. *EFSAJ* 12(2):3547.
 - Falguera V., Quintero J.P., Jimenez A., Aldemar M.J., Albert I. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use, *Food Science & Technology* (22) 299-303.
 - FAO (1972). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food composition

- table for use in East Asia. FAO, Rome.
- FAO (2008). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Manejo poscosecha de frutos tropicales. Consultado en Mayo del 2018. Disponible en: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s01.htm
 - FAO (1999). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Comité de seguridad alimentaria mundial. Importancia de la calidad e inocuidad de los alimentos para los países en desarrollo. Consultado en mayo 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/x1845s.htm>
 - FAO (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012. Disponible en: http://www.cisan.org.ar/articulo_ampliado.php?id=80&hash=e7ede0955332d7ef4cd8339bf15426dd
 - FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: http://www.cisan.org.ar/articulo_ampliado.php?id=80&hash=e7ede0955332d7ef4cd8339bf15426dd
 - Ferraroli's G. (1975). Handbook of flavor ingredients. Vol. 1 New York. CRC Press.
 - Flores S., Famá L., Rojas A.M., Goyanes S., Gerschenson L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. Food Research International, 40(2), 257–265.
 - FND, Financiera Nacional de Desarrollo (2014) Panorama de la Cebolla. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Cebolla.pdf>
 - Fogliano V., Verde V., Randazzo G., Ritieni. A. (1999). Method of measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, 1035-1040.
 - Food Info. (2017) *Salmonella spp.* Wageningen University. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <http://food-info.net/es/bact/salm.htm>
 - García S. A., Nava P. R., J. (2009). El chile jalapeño: su cultivo de temporal en Quintana

-
- Roo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Chetumal, Quintana Roo, México. Folleto Técnico No. 2. 64 p.
- García, V. (2011). Caracterización de subproductos de cebolla como fuente de fibra alimentaria y otros compuestos bioactivos (Tesis doctoral), Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- Gimmer, N . (2009). Contra la resistencia de Salmonella. Consuma seguridad. México. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/06/22/186086.php>
- Gomes M. de S., Cardoso M. das G., Guimarães A. C. G., Guerreiro A. C., Gago C. M. L., Vilas E. V. de B., Antunes M. D. C. (2017). Effect of edible coatings with essential oils on the quality of red raspberries over shelf-life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 929–938.
- Gómez E. (2011). Recubrimientos para frutas y hortalizas. Consultado en Octubre del 2017. Disponible en: https://www.deccopostharvest.com/website/wp-content/uploads/2017/11/recubrimientos_frutas_hortalizas.pdf
- Hassan- Al, Norziah M.H. (2012) Starchegelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers, *Food Hydrocolloids* (26) 108-117.
- Heredia, J., J. Siller, M. Báez, E. Araiza, T. Portillo, R. García, M. Muy. (1997). Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel de supermercado. *Proa. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 41:104-109.
- Herrero A.M. y Romero de Ávila M.D. (2006). Innovaciones en el procesado de Alimentos: Tecnologías no térmicas *Rev. Med. Univ. Navarra* 50 (4): 71-74.
- Holandés. (2017). Guía para conservar chiles y picantes. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: <http://elholandespicante.com/plantas/chiles-y-ajies/como-conservar-chiles-picantes/>
- Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Prodpran T., Tanaka M. (2006). Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. In *Food Hydrocolloids* (Vol. 20, pp. 492–501).
- Jung H. Han (2014) Edible Films and Coatings: A Review, *Innovations in Food*

-
- Packaging (9) 213-255.
- Kumari M., Mahajan H., Joshi R., Gupta M. (2017). Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 42–50.
 - Kurtz J, Goggins J, McLachlan J. (2017). Salmonella infection: Interplay between the bacteria and host immune system. *Immunology Letters* (190) 42-50.
 - La Jornada. (2008). Detectó *Salmonella* en agua de riego y un chile serrano en México, dice la FDA. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2008/07/31/index.php?section=economia&article=026n1eco>
 - Laborde C. J. A., Pozo C. O. (1982). Presente y Pasado del Chile en México. Publicación especial No 85. INIA. México. 80 p.
 - Lawless H.T., Heymann H. (2010). Sensory Evaluation of Food (pp. 283–301).
 - LabM. (2017). Harlequin *Salmonella* ABC Medium. Consultado en Octubre del 2017. Disponible en: <https://www.labm.com/products/harlequin-salmonella-abc-medium.as>
 - León J.S., Jaykus L.A., Moe C.L. (2009). Food safety issues and the microbiology of fruits and vegetables. In: Microbiologically safe foods. Heredia N, Wesley I, García S. (eds). Wiley: Estados Unidos de América. pp. 255- 258.
 - Liao C.H., Cooke P.H., Niemira B.A. (2010). Localization, Growth, and Inactivation of *Salmonella* Saintpaul on Jalapeño Peppers, *Journal of Food Science*.75:M377-M382.
 - López H. (2013). Comportamiento de frutos de chile (*Capsicum annuum*) tipo jalapeño a la desinfección con diferentes sanitizantes en Poscosecha. Tesis de Ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
 - Mani López, García H.S., López Malo A. (2012) Organic acids as antimicrobials to control *Salmonella* in meat and poultry products, *Food Research International*, (45) 713-721.
 - Maqbool, M., Ali A., Ramachandran S., Smith D., Alderson P. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop*

Protection.

- Martínez M., de la Hoz F., Pacheco Ó., Quijada H. (2014) Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), Enfermedades transmisibles. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: <http://www.metrosalud.gov.co/intranet/index.php/documentos/category/533-protocolos>
- Martínez S., González J., Culebras J. M., Tuñón M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, 17(6), 271–278.
- Marzo I. (2010) Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína extracción (Tesis de ingeniero técnico agrícola en industrias agrarias y alimentarias), Universidad Pública de Navarra.
- Medina J. (2008). Cebolla: guía técnica. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo, DO. 64p.
- Mendoza L.G. (2013). Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *annuum*) fresco y seco (Tesis de maestro en ciencias alimentarias), Universidad Veracruzana.
- Mendoza L.G., Mendoza M. R., García O., Azuara E., Pascual L.A., Jiménez M. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXI(3), 229–241.
- Mexicampo (2018). Cebolla, un cultivo con sabor a México. Consultado en Febrero de 2018. Disponible en: <https://www.mexicampo.com.mx/cebolla-un-cultivo-con-sabor-a-mexico/>
- Mingming Guo, Tony Z. Jin, Luxin Wang, O. Joseph Scullen, Christopher H. Sommers (2014) Antimicrobial films and coatings for inactivation of *Listeria innocua* on ready-to-eat deli turkey meat *Food Control* (40) 64-70.
- Mirzoeva, O.K., Grishanin, R.N., Calder, P.C. 1997. Antimicrobial action of propolis and some of its components: the effects on growth, membrane potential and motility of bacteria. *Microbiology Research*. 152: 239–46.
- Monrroy M., Castro T., Fernández F., Mayorga L. (2009) Revisión bibliográfica: Bacteriocinas producidas por bacterias pro bióticas Universidad Autónoma

Metropolitana (5)63-72.

- Montes, A.; Halle, M. (1990). El cultivo de las amarilidáceas, cebolla, ajo y puerro. Zamorano, HN. Escuela Agrícola Panamericana. 47 p.
- Morales M. (2011). Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola, 72.
- Muñoz B., Pérez M.L., Sánchez M.C. (2005). Condimentos del género *Allium* (Liliaceae) como fuente de compuestos bioactivos. *Schironia*, 4, 19-23.
- Nashwa Tarek, Hossam M., Hassan, Sameh M., AbdelGhani, Radwan I., Hammouda Ola (2014) Comparative chemical and antimicrobial study of nine essential oils obtained from medicinal plants growing in Egypt, *Journal of basic and applied sciences* (1) 1-8.
- NMX-F-103-1982 Alimentos. Frutas y Derivados. Determinación de Grados Brix.
- NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en Alimentos. Consultado en Enero del 2018. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4704689&fecha=23/05/1978
- Nur Hanani, J. McNamara, Y.H. Roos, J.P. Kerry (2013) Effect of Plasticizer content on the functional properties of extruded gelatin-based composite films, *Food Hydrocolloids* (31) 264-269.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008). Edible coatings with anti-browning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50, 87–94.
- Padrón C.A., Padrón G.M., Montes A.I., Oropeza R.A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 97–111.
- Pantástico, E.R. (1981). Fisiología de post-recolección. Vol. 1. Ed. Limusa S.A., México. pp. 812-815.
- Paran, I., Ben-Chaim, A., Kang, B. C., Jahn, M. (2007). Capsicums. In: *Vegetables* (pp. 209-226). Springer Berlin Heidelberg.
- Parzanese M. (2009). Películas y recubrimientos comestibles. Alimentos argentinos, tecnología de alimentos. Ficha número 7. Buenos Aires, Argentina. Consultado en Diciembre del 2017. Disponible en

www.alimentosargentinos.gov.ar/.../Ficha_07_PeliculaComestible.pdf

- Pérez-Alemán R., R. Márquez-Meléndez, V. Mendoza-Guzmán, J. Jiménez- castro, I. De la torre, B. Rodríguez-Terrazas, J. Barnard, A. Quintero- Ramos. (2005). Improving textural quality in frozen jalapeño pepper by low temperature blanching in calcium chloride solution. *International Journal Food Science Technology*, 40: 401–410.
- Platt, B.S. 1962. Table of representative values of food commonly used in tropical countries. Medical Research Council, Spec. Rep. Series No. 302, HMSO, London.
- Pontigo A. (2014). Desarrollo de un envase activo con efecto antifúngico y antibacterial para la conservación de papaya maradol. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. UNAM. FESC. México DF. pp 103.
- Prosdócimo F., Batallé M., Sosa N., De Franceschi M., Barrios H. (2011). Determinación in vitro del efecto antibacteriano de un extracto obtenido de quebracho colorado, *Schinopsis lorentzii*. *InVet*, 12(2), 139–143.
- Radi M., Akhavan S., Akhavan H.-R., Amiri S. (2017). The use of orange peel essential oil microemulsion and nanoemulsion in pectin-based coating to extend the shelf life of fresh-cut orange. *Journal of Food Processing and Preservation*, (February 2017), 13441.
- Ramírez J. S. (2016). Extracción de flavonoides totales de la envoltura externa de cebolla roja (*Allium cepa*). *UGCiencia*, 22(1), 119.
- Ramírez L. (2018). Análisis temporal de la pudrición radical rosada de la cebolla (segundo ciclo) en morelos e identificación molecular del agente causal. Tesis de maestro en ciencias en manejo agroecológico de plagas y enfermedades. IPN. Morelos. pp 109.
- Raybaudi R., Tapia M., Mosqueda J. (2012) Películas y recubrimientos comestibles con efecto antimicrobiano, *Ciencia y tecnología de alimentos* (2): 329-362.
- Reís, A. (1982). Manual de oleicultura, cultura e comercialização de hortaliças. São Paulo, BR. Editora Agronômica “Ceres” LTDA, 2da. Edição. 335 p.
- Reveles M.; Velásquez R.; Reveles L. R., Cid J. A. (2014). Guía para producción de cebolla en Zacatecas. Folleto Técnico No. 62 Campo Experimental Zacatecas, CIRNOCINIFAP. Calera, Zacatecas, México. 40 p.

- Rodríguez E. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1), 153–170.
- Rojas M. A., Oms G., Soliva R., Martín O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 4, 875-889.
- Romero R. (2007) *Microbiología y parasitología humana: bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias*, México, Editorial médica Panamericana.
- Ruiz C. (2017). *Enfermedades transmitidas por alimentos*. Dirección general de epidemiología. México. Consultado en Septiembre del 2017. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/225246/3_Enfermedades_Transmitidas_por_Alimentos_-DGE.pdf
- SAGARPA. (2004). PC-011-2004-Pliego de Condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en chile poblano, serrano y jalapeño. Consultado en Marzo del 2018. Disponible en: http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_011_2004_Chile_vsj.pdf
- SAGARPA (2009). *Anuario Estadístico de la producción agrícola*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado en Febrero del 2018. Disponible en: www.sagarpa.com.gob.mx.
- SAGARPA (2014) *Programa Integral de Desarrollo Rural 2014*. Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. Consultado en Febrero del 2017. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/AgriculturaF/CEBOLLA.pdf>
- Sarita, V. (1991). *Cultivos de hortalizas en los trópicos y subtrópicos*. Santo Domingo, DO. Editora Corripio. 622 p.
- SIAP/SAGARPA. (2006). *Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola 2006*.
- SIAP/SAGARPA. (2015). *Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola 2015*.
- SIAP/SAGARPA (2017). *Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola 2017*.

-
- Sotelo D., I., Casas F., N., Camelo M., G. (2010). Borojó (*Borojoa patinoi*): Fuente de polifenoles con actividad antimicrobiana. *Vitae*, 17(3), 329–336.
- Tajkarimi M., Ibrahim S., Cliver D. (2010) Antimicrobial herb and spice compounds in food *Food Control* (21) 1199–1218.
- Tavassoli E., Shekarchizadeh H., Masoudpour M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137, 360–374.
- Torija, M. E., Matallana, M. C., y Chalup, N. (2013). El ajo y la cebolla: de las medicinas antiguas al interés actual. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol.*, 107(1), 29-37.
- Trueba, G. P. (2003). Los flavonoides: Antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 22(1), 48–57.
- Vargas M., Albors A., Chiralt A., González C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 164–171.
- Vargas R.D., Torrescano G.R., Mendoza A., Vallejo B., Acedo B., Sánchez J., Peñalba M., Sánchez A. (2014). Mecanismos Involucrados En La Actividad Antioxidante Y Antibacteriana Del Propóleos. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud Biotecnia*, 16(1), 32–37.
- Vázquez G., E.; Ramírez M., M.; Mata V., H.; Ariza F., R.; Alia T., I. (2015). Atributos de calidad y vida de anaquel del chile serrano. Consultado en Marzo del 2018. Disponible en: <https://www.agmoderna.com/2015/07/30/atributos-de-calidad-y-vida-de-anaquel-del-chile-serrano/>
- Vera M., (2014). Desarrollo de un recubrimiento comestible antimicrobiano en el jitomate tipo Saladette para el control de Salmonella. (Tesis de licenciatura en Ingeniería en Alimentos). Universidad Nacional Autónoma de México. FES Cuautitlán México.
- Vergara C.E.U., Arteaga N. M., Segovia L., Márquez M. (2014) Caracterización epidemiológica de enfermedades transmitidas por alimentos y agua en el estado Mérida en el periodo 2011–2012, *Médula* (22) 5-9.
- Vila J., Álvarez M.J., Buesa J., Castillo J. (2009). Diagnóstico microbiológico de las infecciones gastrointestinales. *Enfermedades Infecciosas Microbiológicas Clínicas* 27: 406-411.

- Villalobos R., Hernández P., Albors A., Chiralt A. (2009), Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices, *Food Hydrocolloids* (23), 526–535.
- Vilte J., Alejandra A., Oropeza D. De, Rosario M., Mariela V. M., Noelia, R. V. (2017). Estudio de las propiedades benéficas en la cebolla (*Allium Cepa* L .) en el Departamento De Tarija Study Of The Beneficent Properties In The Onion (*Allium Cepa* L .) Department Of Tarija, 7–12.