



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**Efecto de diferentes métodos de
desinfección y envasado de epazote y
verdolaga mínimamente procesados**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIEROS EN ALIMENTOS

PRESENTAN:

ELIZABETH GRANADOS BECERRIL

JORGE GUERRA GONZÁLEZ

ASESORAS:

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

M. EN C. SELENE PASCUAL BUSTAMANTE

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
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.**

Efecto de diferentes métodos de desinfección y envasado de epazote y verdolaga mínimamente procesados.

Que presenta la pasante: **Elizabeth Granados Becerril**

Con número de cuenta: **312239390** 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 10 de Octubre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
VOCAL	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Dra. María Olivia Noguez Cordova	
2do. SUPLENTE	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

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

LMCF/javg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
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**

Efecto de diferentes métodos de desinfección y envasado de epazote y verdolaga mínimamente procesados.

Que presenta el pasante: Jorge Guerra Gonzalez
Con número de cuenta: 415111214 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 10 de Octubre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
VOCAL	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Dra. María Olivia Noguez Cordova	
2do. SUPLENTE	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

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

LMCF/cga*

Dedicatoria

A **Dios** por permitirme un cumplir una meta más en mi vida, por la vida la salud y las ganas de seguir con todo lo que me propongo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de estudiar en ella, por el apoyo económico en becas escolares y becas para intercambio internacional por fomentar la cultura, los valores, la autonomía, la educación, la ciencia, por trabajar día a día para ser una de las mejores universidades de América Latina.

A la **Universidad Nacional de Rosario Argentina** y a la **Universidad de Chile** por recibirme en su país y ser parte de mi formación académica como ingeniera en alimentos.

A mis padres **Yenny Becerril** y **Cirino Granados** por su cariño y apoyo, su esfuerzo y dedicación por darme todo lo necesario a lo largo de mi formación académica, por la educación y valores que me han inculcado.

A mi **madre** por sus esfuerzos, cuidados y amor, por inculcarme los valores que me definen hoy en día, por marcarme la importancia de estudiar una carrera profesional, por ser mi amiga incondicional, mi apoyo más grande y mi guía.

A mis hermanos **Evelin** y **Emmanuel** por ser mi más grande inspiración para cumplir mis metas y proyectos, por su amor y su apoyo.

A la **familia Granados Gómez** y la **familia Becerril Vega** por su apoyo, consejos, valores, por celebrar mis logros conmigo y por incentivarme a ser cada día mejor.

A mis amigos desde la infancia **Fernando Jácome, Fernanda Velázquez, Haidee Gómez, Heriberto Gómez, Tania Martínez** por su amistad larga y sincera, por compartir tantos momentos agradables conmigo.

A mis amigos de la universidad **Jessica Martínez, Arturo Arias, Benjamín Quintanar y Fernando Sánchez** por su colaboración académica, por su compañía y amistad a lo largo de la carrera, por tantos buenos momentos. A **Jessi**, por ser mi compañera de vida durante nuestra formación académica por su valiosa amistad.

A mi compañero de tesis y amigo **Jorge Guerra** por la paciencia esfuerzo y dedicación para lograr este objetivo, por su amistad y compañerismo a lo largo de toda la carrera, por esos buenos momentos y experiencias compartidas.

A mis amigos **panameños, argentinos, chilenos y peruanos** por su amistad, por compartirme sus conocimientos académicos y culturales y por su amabilidad.

Elizabeth Granados.

Dedicatoria

Le agradezco a Dios, a la vida y al destino por permitirme cumplir una meta más en mi vida.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de estudiar en esta gran casa de estudios, por formar parte de un crecimiento personal y de la misma manera parte de mi etapa académica. Por todo el apoyo recibido de esta gran institución a lo largo de la carrera y por brindarme la oportunidad de tener una experiencia en el extranjero inolvidable, simplemente gracias por tanto.

A mis padres, **Rocío González** y **Jorge Guerra**, que siempre fueron mi más grande motivación, aliento y apoyo para día con día seguir creciendo personalmente inculcándome valores y una gran educación. Brindándome siempre las herramientas para seguir saliendo adelante. Por su amor, cariño, paciencia, esfuerzo y sus grandes enseñanzas de vida para superarme cada día.

A mi hermana, **Stephanie Guerra**, que siempre fue un ejemplo a seguir, su apoyo y sus consejos que siempre fueron para hacerme mirar más adelante, poniendo los pies en la tierra.

A mi pareja, **Esmeralda Galván** por tenerme la paciencia en días difíciles y así mismo apoyarme en todo momento, por brindarme su cariño y amor incondicional. Por motivarme estando a mi lado compartiendo logros a lo largo de la universidad y en esta etapa de mi vida.

A mi compañera de tesis y amiga, **Elizabeth Granados**, que a pesar de las dificultades que se llegaron a presentar y diferencias durante el desarrollo de esta tesis, logramos estar en el mismo canal, concluir esta etapa en la universidad y formar una gran amistad.

A mis amigos, **Arturo Arias**, **Fernando Sánchez**, **Benjamín Quintanar**, **Israel Saldaña** y **Jessica Lovera** que hicieron de esta etapa de la universidad una gran experiencia y sin duda alguna fue un placer haberlos conocido y formar una gran amistad.

Jorge Guerra.

Agradecimientos

Al Proyecto PIAPI 1805. Aplicación de tecnologías emergentes para la conservación, aprovechamiento y control de la inocuidad de productos vegetales.

El presente trabajo fue financiado por el proyecto IT202419 Aplicación de tratamientos de ultrasonido, campos eléctricos y cocción solar en el procesamiento de productos hortofrutícolas típicos de México.

Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarnos la oportunidad de pertenecer a la comunidad universitaria más grande de América Latina y una de las mejores universidades de México.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** por ser nuestra casa cultural y académica durante nuestra formación como ingenieros en alimentos.

Al Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) al **Taller multidisciplinario de procesos tecnológicos de frutas y hortalizas** por prestarnos sus instalaciones y equipos para el desarrollo de este proyecto.

A las docentes **Dra. María Andrea Trejo Márquez, M. en C. Selene Pascual Bustamante y Dra. Adela Lira Vargas** por su apoyo, asesoría tiempo y dedicación para el desarrollo de este proyecto, por sus consejos académicos y personales que nos llevaron al intercambio estudiantil y a la titulación.

A **los sinodales I.B.Q. Saturnino Maya, M. en C. Ma. Gpe. Amaya, Dra. Ma. Olivia Noguez**, por su compromiso, responsabilidad y tiempo dedicado en la revisión y del presente trabajo.

A **los docentes de la carrera de Ingeniería en Alimentos**, por su esfuerzo y dedicación por compartir sus conocimientos y hacer de los alumnos personas capaces de ejercer su profesión, por promover la autonomía, la libertad de cátedra y el carácter laico de la enseñanza.

Elizabeth Granados y Jorge Guerra.

**ÍNDICE GENERAL**

INDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Generalidades de la verdolaga	4
2.1.1 Origen e historia	4
2.1.2 Taxonomía y morfología	4
2.1.3 Composición química y valor nutrimental	6
2.1.4 Importancia económica	6
2.1.4.1 Producción nacional	6
2.1.5 Usos de la verdolaga	7
2.1.5.1 Medicinal	7
2.1.5.2 Alimento	8
2.2 Generalidades del epazote	9
2.2.1 Origen e historia	9
2.2.2 Taxonomía y morfología	9
2.2.3 Composición química y valor nutrimental	11
2.2.4 Importancia económica	11
2.2.4.1 Producción nacional	11
2.2.5 Usos del epazote	12
2.2.5.1 Medicinal	12
2.2.5.2 Alimento	12
2.3 Productos mínimamente procesados (PMP)	13
2.3.1 Definición	13
2.3.2 Proceso de elaboración de un producto mínimamente procesado (PMP)	14
2.3.3 Métodos de desinfección de un PMP	17
2.3.3.1 Plata coloidal	17
2.3.3.2 Radiación UV-C	19
2.3.3.3 Ultrasonido	21



2.3.3.4 Ozono	24
2.3.4 Envasado de un producto mínimamente procesado (PMP)	26
2.3.4.1 Métodos de envasado para un producto mínimamente procesado	27
2.3.4.2 Materiales de empaque	29
2.3.4.3 Tereftalato de polietileno (PET).....	30
2.3.4.4 Poliestireno (PS).....	31
2.3.4.5 Tipos de envases.....	31
2.3.4.6 Almacenamiento de productos vegetales	32
2.3.4.7 Vida útil de los productos vegetales	34
2.3.4.8 Legislación de los PMP.....	35
3. OBJETIVOS	38
3.1 Objetivo general.....	38
3.2 Objetivo particular 1	38
3.3 Objetivo particular 2	38
3.4 Objetivo particular 3	38
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	40
4.1 Cuadro metodológico.....	40
4.2 Material biológico.....	41
4.3 Elaboración de verdolaga y epazote mínimamente procesado y evaluación de las condiciones de desinfección	41
4.4 Descripción del proceso de elaboración de verdolaga y epazote mínimamente procesados.....	41
4.5 Selección del mejor método de desinfección.....	44
4.6 Evaluación del efecto del tipo de envase en verdolaga y epazote mínimamente procesado	44
4.7 Métodos analíticos	44
4.7.1 Parámetros físicos	44
4.7.1.1 Determinación de color	44
4.7.1.2 Determinación de pérdida de peso	45
4.7.2 Parámetros fisicoquímicos	45
4.7.2.1 Determinación de pH.....	45
4.7.2.2 Determinación de acidez	45
4.7.3 Parámetros químicos	46
4.7.3.1 Determinación de fenoles totales.....	46



4.7.3.2 Determinación de capacidad antioxidante.....	46
4.7.3.3 Determinación de clorofila.....	47
4.7.4 Parámetros microbiológicos.....	48
4.8 Análisis estadístico.....	48
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1. Caracterización de verdolaga y epazote.....	50
5.2. Efecto de diferentes métodos de desinfección en verdolaga y epazote mínimamente procesados.....	53
5.2.1. Evaluación de parámetros físicos.....	53
5.2.1.1. Evaluación de la variación de color.....	53
5.2.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos.....	55
5.2.2.1. Evaluación de la variación de pH.....	55
5.2.2.2. Evaluación de la variación de acidez.....	57
5.2.3 Evaluación de parámetros químicos.....	58
5.2.3.1. Evaluación de la presencia de concentración de fenoles totales.....	58
5.2.3.2. Evaluación de la presencia de concentración de capacidad antioxidante.....	59
5.2.3.3. Evaluación de la presencia de clorofila total.....	61
5.2.4. Evaluación de parámetros microbiológicos.....	62
5.2.4.1. Evaluación de la variación de coliformes totales.....	63
5.2.4.2. Evaluación de la variación de mesófilos aerobios.....	64
5.2.4.3. Evaluación de la variación de mohos y levaduras.....	65
5.3 Evaluación del efecto de la combinación de los métodos de desinfección de la verdolaga y epazote mínimamente procesados con diferentes envases sobre los diferentes parámetros.....	68
5.3.1 Evaluación de pérdida de peso.....	68
5.3.2 Evaluación de parámetros químicos.....	70
5.3.2.1. Evaluación de la concentración de fenoles totales.....	70
5.3.2.2. Evaluación de la concentración de capacidad antioxidante.....	72
5.3.3.3. Evaluación de la concentración de clorofila total.....	73
5.3.3. Evaluación parámetros microbiológicos.....	74
Conclusiones y recomendaciones.....	78
Referencias.....	81

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Producción de verdolaga en México.....	7
Figura 2. Producción de epazote en México.....	11
Figura 3. Diagrama de proceso de elaboración para un PMP	17
Figura 4. Efecto de radiación UV-C en ADN del microorganismo	21
Figura 5. Fenómeno de cavitación inducido por ondas ultrasónicas asociadas a la expansión e implosión de las burbujas.	23
Figura 6. Mecanismo de acción ozono en pared celular de microorganismo.....	25
Figura 7. Envases más utilizados con atmosferas protectoras.....	31
Figura 8. Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos.....	32
Figura 9. Diagrama de proceso PMP.....	43
Figura 10. Evaluación de la variación de color en verdolaga y epazote mínimamente procesados	54
Figura 11. Evaluación de la variación de pH en verdolaga y epazote mínimamente procesados	56
Figura 12. Evaluación de la variación de acidez en verdolaga y epazote mínimamente procesados	57
Figura 13. Evaluación de la variación de la presencia de la concentración de fenoles totales en verdolaga y epazote mínimamente procesados.....	58
Figura 14. Evaluación de la variación de la presencia de capacidad antioxidante en verdolaga y epazote mínimamente procesados	60
Figura 15. Evaluación de la variación de la presencia de clorofila en verdolaga y epazote mínimamente procesados	62
Figura 16. Evaluación de la variación de la presencia de coliformes totales en verdolaga y epazote mínimamente procesados	63
Figura 17. Evaluación de la variación de la presencia de mesófilos aerobios en verdolaga y epazote mínimamente procesados	65
Figura 18. Evaluación de la variación de la presencia de mohos y levaduras en verdolaga y epazote mínimamente procesados	66
Figura 19. Evaluación de la pérdida de peso en verdolaga y epazote mínimamente procesados envasados en PET y PS a 4°C durante 9 y 12 días.	69
Figura 20. Evaluación de la degradación de la presencia de la concentración de fenoles totales en verdolaga y epazote mínimamente procesado envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.....	71
Figura 21. Cambio de concentración de capacidad antioxidante en verdolaga y epazote mínimamente procesado envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.	72
Figura 22. Cambio en la concentración de clorofila en verdolaga y epazote mínimamente procesados envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.....	73



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la verdolaga.....	5
Tabla 2. Morfología de verdolaga (<i>P. Oleracea</i>).	5
Tabla 3. Composición química de verdolaga (<i>P. Oleracea</i>).	6
Tabla 4. Principales usos de la verdolaga.....	9
Tabla 5. Clasificación taxonómica del epazote.	9
Tabla 6. Morfología del epazote.....	10
Tabla 7. Composición química del epazote.....	11
Tabla 8. Principales usos del epazote.	13
Tabla 9. Efecto del ultrasonido de alta potencia en la inactivación microbiana.	22
Tabla 10. Métodos de envasado para un PMP.....	28
Tabla 11. Aplicaciones de los diferentes plásticos en la industria alimenticia.....	29
Tabla 12. Condiciones de proceso para cada método de desinfección.....	42
Tabla 13. Caracterización fisicoquímica, química y microbiológica de verdolaga y epazote.	50
Tabla 14. Parámetros microbiológicos de los diferentes métodos de desinfección aplicados en verdolaga y epazote mínimamente procesados con respecto al control en el tiempo mínimo de desinfección a 15 minutos.	67
Tabla 15. Contenido de coliformes totales, mesófilos aerobios y hongos y levaduras de verdolaga envasado en PET y PS.	75
Tabla 16. Contenido de coliformes totales, mesófilos aerobios y hongos y levaduras de epazote envasado en PET y PS.....	75



Resumen





RESUMEN

La verdolaga y epazote son hortalizas endémicas de México con un amplio volumen de producción, sin embargo, existen pocos o nulos productos industrializados de estas hortalizas. Su consumo es limitado, debido a que se atribuye una alta carga microbiana y por la complejidad de su preparación como un platillo cotidiano.

Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de métodos de desinfección en combinación con ozonificación en agua y su envasado sobre los parámetros de calidad, microbiológicos y químicos de verdolaga y epazote mínimamente procesados.

La verdolaga y el epazote fueron sometidos a las operaciones de: selección, limpieza, lavado, desinfección, pesado, envasado y almacenamiento. Los tiempos de desinfección para el método químico (plata coloidal), UV-C, Ultrasonido y Ozono fueron 15, 25 y 35 minutos, su influencia se evaluó en los parámetros físicos (color), fisicoquímicos (pH y acidez), químicos (contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila) y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras) de la verdolaga y epazote.

El método de desinfección por radiación UV-C fue el que mostró tener una mayor efectividad en cuanto a la disminución de microorganismo presentes en las hortalizas, además de preservar la calidad del producto, por lo que se eligió como método de desinfección previo al proceso de envasado así mismo, el tiempo no mostró tener efecto; por lo que se estableció el mínimo de 15 minutos. En la segunda etapa la verdolaga y el epazote mínimamente procesados fueron envasados en dos materiales: tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS) y se evaluó el efecto en los parámetros químicos (contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila), y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras) y el porcentaje de pérdida de peso de las hortalizas. A partir de la evaluación de los parámetros anteriormente mencionados, se observó que no hubo efecto en cuanto al envasado en PS y en PET para verdolaga y epazote mínimamente procesados. Por lo que se concluye que se puede utilizar cualquiera de estos dos plásticos para el empaquetado de estas hortalizas mínimamente procesadas.



Introducción





1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas los hábitos de alimentación humana han cambiado. El actual ritmo de vida, con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y dispuestos para consumir, como los productos mínimamente procesados (PMP), denominados comercialmente de la “cuarta gama” de la alimentación. La oferta y demanda de éstos ha aumentado notablemente en países industrializados, por lo cual ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías emergentes y sostenibles para garantizar la calidad de un PMP, así como la seguridad alimentaria.

En el procesado mínimo industrial en fresco, la única etapa que consigue disminuir la contaminación microbiana inicial es el lavado-desinfección con hipoclorito sódico. Para el caso de desinfección en hogares se utiliza el método químico (plata coloidal). Sin embargo el constante uso de estos métodos de desinfección químicos causa daños a la salud tales como argüiría (Secretaría de Salud, 2015).

Por otra parte el desarrollo de PMP ha contribuido a fomentar el consumo de frutas y hortalizas que no son consumidos cotidianamente debido al tiempo y complejidad que lleva desinfectarlos y o prepararlos.

Las operaciones como pelado y cortado generan daños en el tejido vegetal que conllevan la posibilidad de desarrollo microbiano (García, 2008). Durante la elaboración de un PMP, la única etapa que consigue disminuir la contaminación microbiana es la desinfección, la cual pretende reducir la mayor carga microbiana del producto, y obtener un producto microbiológicamente seguro.

Actualmente distintos métodos de desinfección como Irradiación UV-C, el uso de Ozono, Ultrasonido, entre otros están siendo aplicados en PMP con propósito de sustituir los métodos químicos.

Así mismo el envase limita el movimiento de los gases dentro y fuera de este debido a sus permeabilidades selectivas a O₂ y al CO₂, y esto depende del material y condiciones en las que se envase y almacene el producto en fresco (Steiner *et al.*, 2006).

Por lo que este proyecto tiene como objetivo evaluar el efecto de la desinfección de verdolaga (*Portulaca oleracea*) y epazote (*Chenopodium ambrosoidae*) aplicando un método Químico, UV-C, Ultrasonido, y Ozono, en combinación con Ozono en agua.



Antecedentes





2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de la verdolaga

2.1.1 Origen e historia

En América del norte existen indicios de la antigüedad de esta planta. Se recuperaron semillas de verdolaga dentro de la “cueva de sal” en una zona arqueológica cerca de Kentucky, E.U. y con la técnica del radiocarbono determinó una edad aproximada de 1000 años a.C., por lo cual se cree que su explotación en América también es muy antigua, dado que se conocían sus propiedades medicinales y alimenticias (Chapman *et al.*, 1974). Algunas fuentes históricas posteriores a la conquista española han documentado la presencia de la verdolaga y su uso comestible en América del norte. Sobre todo los relatos de los colonizadores franceses en Estados Unidos de América (Halsted, 1889).

Los diferentes nombres locales con los que los descendientes de las antiguas culturas conocen a la verdolaga por ejemplo: graviol (quechchi), paxlac (quiché), xukul (maya), mixquilit (nahuatl), x’pul cac (totonaco), matac’ani (otomí), Sa’luchi chamo (raramurí) (Mares, 1999; Martínez *et al.*, 2001).

El género *Portulaca* comprende 100 especies principalmente de regiones tropicales o subtropicales de ambos hemisferios; en América se reportan una quinta parte del total del número de especies. Las especies que se reportan para México son: *P. mexicana* Wilson, *P. pilosa* L., *P. umbraticola* Kunth, *P. retusa* Engelm. *P. oleracea* L., *P. guanajuatensis* G. Ocampo.

La “Verdolaga” (*Portulaca oleracea* L.) es una planta comestible que se distribuye en las regiones templadas y tropicales del mundo. A pesar de que la verdolaga en Estados Unidos de Norteamérica es considerada como una maleza; en otros países, como México y algunos países del Este del Mediterráneo, es consumida como verdura en sopas y ensaladas (Mera, Castro y Bye, 2010).

2.1.2 Taxonomía y morfología

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una planta anual, herbácea, suculenta, con hábito de crecimiento decumbente o erecto, glabra o casi glabra, de 5 a 40 cm de largo. En la Tabla 1 se muestra su clasificación.



Tabla 1. Clasificación taxonómica de la verdolaga (*P. Oleracea*).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Traqueobionta (plantas vasculares)</i>
Superdivisión	<i>Spermatophyta (plantas con semillas)</i>
División	<i>Magnoliophyta (plantas con flor)</i>
Clase	<i>Magnoliopsida (dicotiledóneas)</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>

Fuente: Mera y Bye (2010).

Esta planta se reproduce por auto fertilización, las semillas se forman en una cápsula con una tapa que sólo se abre en condiciones soleadas de mayo a septiembre (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

Tabla 2. Morfología de verdolaga (*P. oleracea*).

Partes	Características
<p>Raíz</p> 	<p>La raíz principal se divide en raíces primarias y estas, a su vez vuelven a subdividirse. La raíz principal alcanza un gran desarrollo con relación a las secundarias y pueden penetrar en el suelo hasta una profundidad de 1.20 m.</p>
<p>Tallo</p> 	<p>Presenta tallos cilíndricos a veces rojizos, ramificados, con las ramas extendidas radialmente. En los nudos de los tallos se pueden formar raíces adventicias, al estar en contacto con la superficie del suelo.</p>
<p>Hojas</p> 	<p>Las hojas son alternas en ocasiones opuestas, obovado-cuneadas a espatuladas, de 0.5 a 3 cm de largo, por 0.2 a 1.5 cm de ancho, ápice redondeado o truncado, base cuneada.</p>
<p>Flores</p> 	<p>Las flores son actinomorfas amarillas sésiles, solitarias o agrupadas, con 5 pétalos de 3 a 5 mm de largo y se pueden presentar en grupos de 2 a 3.</p>
<p>Semillas</p> 	<p>Las semillas negras, granular-tuberculadas, de aproximadamente 1 mm de ancho, son reniformes y mantienen su germinación de 8 a 10 años.</p>
<p>Frutos</p> 	<p>Los frutos son cápsulas de 5 a 9 mm de largo. Los sépalos son ovados a orbiculares, de 2.5 a 4.5 mm de largo y de ancho, algo aquillados.</p>

Fuente: Calderón (2001).



2.1.3 Composición química y valor nutrimental

El análisis bromatológico reportado indica que la verdolaga es una fuente importante de fibra, proteína, carbohidratos, potasio y magnesio, como se muestra en la Tabla 3 (Aberoumand, 2008).

Tabla 3. Composición química de verdolaga (*P. Oleracea*).

Componente	%
Agua	91.6
Proteína	1.7
Lípidos	0.4
Carbohidratos totales	3.8
Fibra	0.9
Cenizas	1.6

Fuente: Laganés (2005).

Estudios recientes revelan su alto contenido en ácido oxálico, ácido linoléico (LA), Alfa linoléico (ALA) y Araquídico precursores de ácidos grasos omega 3, que muestran mayor presencia en las hojas (Omara-Alwala *et al.*, 1991).

P. oleracea tiene un gran potencial en el desarrollo de nuevas fuentes vegetales de ácidos grasos omega 3. Como fuente considerable de aceites omega 3, puede aportar beneficios a la salud, especialmente en dietas vegetarianas y es un excelente sustituto del pescado (Yan *et al.*, 2012).

2.1.4 Importancia económica

2.1.4.1 Producción nacional

Debido a su característica de arvense o maleza, la distribución de la verdolaga es muy amplia y se puede encontrar por todo el territorio nacional mexicano. Aun cuando su uso cotidiano se encuentra restringido a la zona centro del país. Es posible identificar su consumo en otras regiones étnicas del país.

El cultivo se realiza en los meses de otoño-invierno (octubre-marzo). En el estado de Morelos principalmente, por la factibilidad del riego y el uso de invernaderos la época de cultivo en ocasiones se extiende hacia el mes de abril. La verdolaga como algunos otros quelites se cultivan en superficies pequeñas o son de recolección.



Estadísticas oficiales del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportaron que para el 2017 la superficie nacional destinada para la producción de verdolaga ascendió a 448 ha, de las que se cosechó el 100 % con una producción total del 4,975 t (11.09 t ha⁻¹) y con un valor de producción de poco más de 18 MDP (Figura 1). En México existen dos regiones bien definidas como productoras de verdolaga como hortaliza: la región chinampera de Xochimilco y la de Cuautla, Morelos, donde se cultiva variedades criollas desde hace muchos años (Mera *et al.*, 2010).

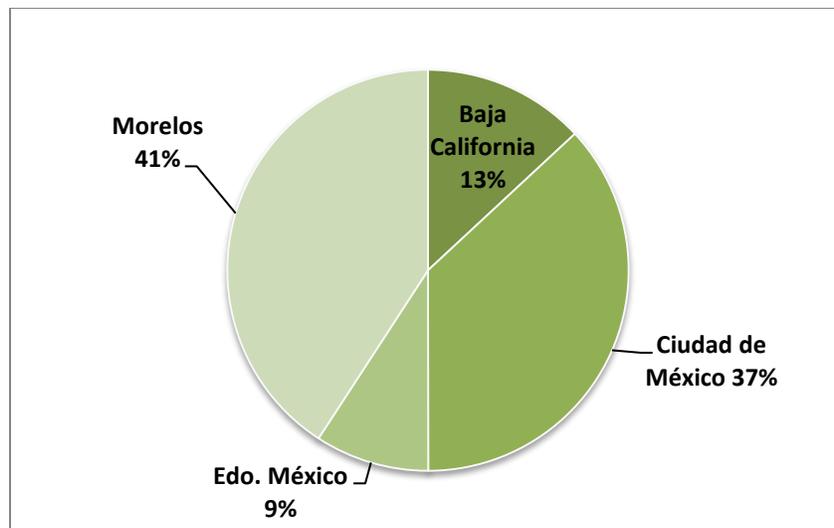


Figura 1. Producción de verdolaga en México.

Fuente: SIAP (2017).

Algunos de los principales países productores de verdolaga son: Sudán, Turquía y México (Grubben y Denton, 2004).

2.1.5 Usos de la verdolaga

2.1.5.1 Medicinal

Portulaca oleracea es bien conocida en la medicina tradicional en numerosos países, estando incluida en la farmacopea China, donde es usada como febrífugo, diurético, antiséptico, antiespasmódico y vermífugo (Xiang *et al.*, 2005).



La verdolaga es recomendada para problemas digestivos, tales como: infecciones intestinales, estreñimiento, parasitosis (Argueta *et al.*, 1994).

Contiene abundantes catecolaminas, noradrenalina y dopamina, que han demostrado ser los principales componentes bioactivos; la noradrenalina es un modulador del sistema inmunitario y posee propiedades anticancerígenas (Chen *et al.*, 2003). La verdolaga posee en su composición polisacáridos que inhiben el crecimiento de las células cancerosas del carcinoma cervical, esta sustancia podría ser utilizada como un potencial agente terapéutico contra el cáncer (Zhao *et al.*, 2013)

Por otra parte las semillas de *P. oleracea* pueden ser una ayuda efectiva y segura en el tratamiento de la diabetes tipo 2, ya que provocan un notable efecto hipoglucémico e hipolipídico y reduce la resistencia a la insulina, lo que posiblemente es debido a su contenido en ácidos grasos poli-insaturados, flavonoides y polisacáridos (El-Sayed, 2011).

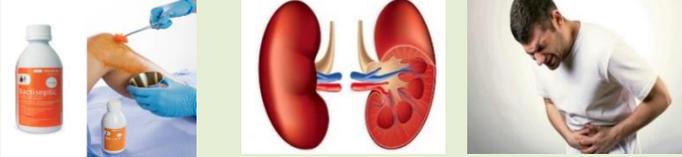
Estudios farmacológicos han demostrado las propiedades analgésicas y anti-inflamatorias del extracto en fresco de *P. oleracea* sativa (Chan *et al.*, 2000) y se ha demostrado el efecto anticonceptivo que produce el consumo de extracto de *P. oleracea*, este extracto podría usarse para desarrollar anticonceptivos sin efectos secundarios y de bajo coste (Londonkar y Nayaka, 2013). A pesar de su valor nutritivo para la dieta humana, la aceptación de la verdolaga como verdura está limitada por el contenido de ácido oxálico y los efectos nocivos de esta sustancia para la salud. Un elevado consumo de ácido oxálico puede favorecer la formación de cálculos renales y carencias de hierro y calcio (Palaniswamy *et al.*, 2002).

2.1.5.2 Alimento

En México, tradicionalmente la verdolaga se consume cocida, hervida o bien se prepara con carne de cerdo o pollo en una salsa de chile verde y tomate. Es muy común encontrarla en los meses de abril a septiembre en los mercados locales o regionales del país, incluyendo algunos centros comerciales. Suele prepararse en tamales, agua, y algunos guisos tales como verdolaga con chile guajillo y camarón, agua de verdolaga, mole de verdolaga, pastes de verdolaga entre otros (Tabla 4).



Tabla 4. Principales usos de la verdolaga (*P. oleracea*).

Principales usos verdolaga	
Medicinal	<p>Dolores estomacales, diurético, antiséptico, etc.</p> 
Gastronomía	<p>Variedad de platillos como tamales, empanadas, agua etc.</p> 

Fuente. Paredes *et al.*, (2015) y Quintanilla (2018).

2.2 Generalidades del epazote

2.2.1 Origen e historia

El epazote (*Chenopodium ambrosioides*) es una planta herbácea natural de América y México. Su cultivo se ha extendido a Estados Unidos, Sudamérica y algunos países del Mediterráneo, especialmente Francia.

Se piensa que se trata de una planta mexicana, ya que tiene un nombre derivado del náhuatl (*epazotl*, hierba olorosa), se utiliza desde tiempos prehispánicos y es el país donde más se usa (Piñero, 2014).

2.2.2 Taxonomía y morfología

Chenopodium ambrosioides es una planta herbácea, natural de América Central que crece hasta una altura alrededor de 100 cm. Es una planta aromática, perenne, pubescente, con el tallo usualmente postrado (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación taxonómica del epazote (*Chenopodium ambrosioides*).

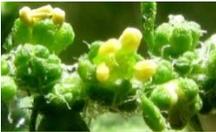
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Subdivisión	<i>Spermatophyta (plantas con semillas)</i>
División	<i>Magnoliophyta (plantas con flor)</i>
Clase	<i>Magnoliopsida (dicotiledóneas)</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Caryphyllales</i>

Fuente: Vibrans (2009).



La morfología del epazote se describe en la Tabla 6, siendo una planta semi silvestre muy utilizada en la gastronomía mexicana.

Tabla 6. Morfología del epazote (*Chenopodium ambrosioides*).

Partes	Características
<p>Raíz</p> 	<p>La raíz principal se divide en raíces primarias y estas, a su vez vuelven a subdividirse.</p>
<p>Tallo</p> 	<p>La planta tiene un fuerte olor, poco agradable. Posee tallos ramificados Simple o ramificado.</p>
<p>Hojas</p> 	<p>Las hojas son ovales y dentadas. Hipocótilo cilíndrico, de 8 a 20 mm, con o sin pelos; cotiledones sésiles, lineares, de 3.5 a 13 mm de largo y 0.5 a 1 mm de ancho, sin pelos; sin epicótilo; hojas opuestas pecioladas, oblongas a lanceoladas, de 3 a 10 cm de largo por 1 a 5 de ancho, gradualmente reducidas hacia la parte superior, subenteras o sinuado-dentadas.</p>
<p>Flores</p> 	<p>Sus flores nacen en racimos sésiles, dispuestas en panícula piramidal, con o sin hojas interpuestas; perianto de 1 mm de largo, glanduloso.</p>
<p>Semillas</p> 	<p>Semilla horizontal o vertical, de unos 0.7 mm de diámetro, con el margen obtuso, negra, brillante y lisa.</p>
<p>Frutos</p> 	<p>Fruto circular de casi 1 mm de ancho, envuelto por el perianto, pericarpio delgado que se desprende fácilmente, glanduloso.</p>

Fuente: Espinosa y Sarukhán (1997).



2.2.3 Composición química y valor nutricional

El epazote, crudo contiene vitaminas tales como Vitamina C (3,6 mg), Vitamina B-9 (215 mg) o Vitamina A (57 mg). Además de macronutrientes, los cuales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Composición química del epazote (*Chenopodium ambrosioides*).

Componente	%
Agua	89.88
Proteína	0
Lípidos	0.52
Carbohidratos totales	7.40
Fibra	0.81
Cenizas	1.39

Fuente: Anónimo (2013).

2.2.4 Importancia económica

2.2.4.1 Producción nacional

La producción anual en México supera las mil toneladas; esta planta florece en el otoño e invierno, además es excelente cultivo para huerto de traspatio o familiar, ya que se adapta a varios tipos de clima, desde cálido hasta seco y templado (Agro, 2017). En México el mayor estado productor es Puebla, seguido de Tlaxcala y Estado de México (Figura 2).

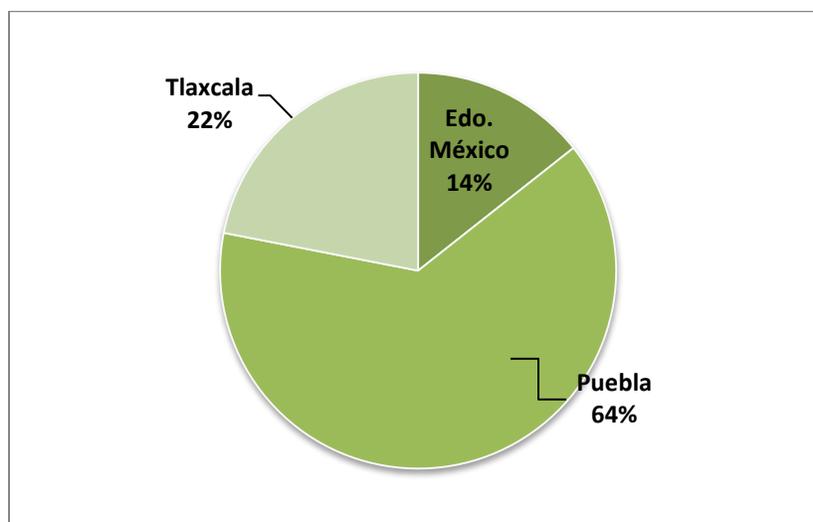


Figura 2. Producción de epazote en México.

Fuente: SIAP (2017).



2.2.5 Usos del epazote

El epazote se utiliza por sus propiedades medicinales y como planta aromática en la gastronomía (Tabla 8).

2.2.5.1 Medicinal

El epazote es una planta empleada en la medicina tradicional; la infusión de sus hojas se administra como remedio contra; bronquitis, curar heridas, dolor muscular, flujo vaginal y dolores estomacales; además se le atribuyen propiedades vermífugas. Durante las primeras décadas del siglo XX, el aceite esencial de *C. ambrosioides* era uno de los antihelmínticos de mayor distribución en humanos, perros, gatos, caballos y cerdos. (Gibson, 1965, Quinlan *et al.*, 2002).

El aceite esencial de *C. ambrosioides* ha encontrado un gran uso como antihelmíntico para ganado, sobre todo en países en desarrollo (Ketzis *et al.*, 2002).

2.2.5.2 Alimento

En la cocina mexicana juega un papel muy importante ya que mejora el sabor de los alimentos, por esta razón se utiliza como condimento para diversos platillos como los frijoles, el pescado, el maíz, en algunas sopas, en quesadillas, entre otros (Ramírez, Reyes y Valdés, 2002). La infusión de la planta por vía oral se utiliza para tratar parasitosis gastrointestinales de los animales domésticos.



Tabla 8. Principales usos del epazote (*Chenopodium ambrosioides*).

Principales usos Epazote				
Medicinal	Dolor estomacal, desparasitante, cólicos entre otros.			
Gastronomía	Quesadillas, caldos y consomés			
Industrial	Productos deshidratados, en hojuela y en polvo			

Fuente: Elaboración propia con información de Gómez (2008) y anónimo (2018).

Tanto la verdolaga como el epazote son ejemplos de hortalizas que pueden ser procesadas comercializadas para su consumo en fresco.

2.3 Productos mínimamente procesados (PMP)

2.3.1 Definición

Estos productos presentan características organolépticas y nutricionales similares a las frutas y hortalizas frescas y la ventaja es de ser fáciles de utilizar por el consumidor. Su mínimo procesamiento consiste en operaciones de clasificación, lavado, pelado, reducción de tamaño, etc., por lo cual se comercializan como productos para consumo directo o para preparaciones culinarias rápidas. Esas características hacen que el tiempo de elaboración no resulte un obstáculo para incorporar o aumentar la proporción de vegetales en la dieta.



Además de su inocuidad es fundamental garantizar sus características organolépticas y nutricionales. Por esto es necesario definir un proceso en el cual se controlen y minimicen todos aquellos factores que afectan o provocan cambios negativos sobre la estructura, propiedades sensoriales, nutricionales y microbiológicas de los vegetales.

El daño sobre la calidad de los PMP aumenta durante el procesamiento principalmente debido a la ruptura del tejido vegetal por daños mecánicos, es decir, durante las operaciones de pelado y cortado, que pueden acelerar procesos fisiológicos naturales.

Esa ruptura desencadena procesos bioquímicos y físicos, que pueden provocar la degradación del color, textura, sabor y aroma del producto, como también alteración microbiológica (Parzanese, 2017).

2.3.2 Proceso de elaboración de un producto mínimamente procesado (PMP)

El primer aspecto a considerar para el procesado mínimo en fresco de un producto hortofrutícola consiste en una adecuada selección del cultivo y, posteriormente, de la variedad idónea.

El procesado mínimo comprende distintas operaciones unitarias que, de forma general, se pueden resumir en las siguientes: selección del cultivo a procesar, elección del grado de madurez óptimo, clasificación, acondicionamiento, lavado del producto entero, deshojado, pelado, cortado, lavado y desinfectado. Una vez que los productos se procesan, se empaquetan en bolsas selladas o en bandejas cubiertas con plásticos, con o sin atmósfera modificada para, posteriormente, ser almacenados y transportados bajo refrigeración (Wiley, 1994).

Las etapas de elaboración de un PMP son:

- **Recepción**

La calidad de la materia prima se evalúa para determinar si es posible ser procesada, es importante conocer las buenas prácticas agrícolas a fin de asegurar la inocuidad de la producción final. En esta etapa es fundamental realizar una inspección visual para controlar características como color, olor, textura, temperatura de llegada, y otras.



- **Selección**

Una vez recibida la materia prima en la planta de elaboración se procede a su clasificación en grupos de calidad, se seleccionan las hortalizas de acuerdo al color, tamaño y apariencia en general relacionados con el buen estado de éstas.

El objetivo de esta operación es obtener un producto final que cumpla con un estándar de calidad uniforme al momento de su comercialización. Consiste en realizar una selección y clasificación relacionadas con diversos factores: tamaño, forma, color, firmeza, magulladuras, superficies cortadas, alteración y solidez.

Los productos de descarte, que no sean aptos para ser procesados mínimamente podrían ser utilizados, para otros fines según corresponda. La selección y clasificación de frutas y hortalizas puede ser realizada en forma mecánica o manual.

- **Lavado**

Tiene el fin de eliminar la suciedad, restos de tierra, contaminantes físicos y reducir la carga microbiana. Se hace un segundo lavado con agua potable con la finalidad de disminuir carga microbiana. Y se deja escurrir la hortaliza durante un par de minutos para eliminar exceso de agua del lavado, a esto se le llama primer secado.

En algunos casos resulta efectivo realizar operaciones de separación mediante gravedad, flotación, escurrido o inmersión. Es recomendable que la temperatura del agua sea de 4°C aproximadamente para mantener el producto frío.

Es una etapa crítica del proceso, ya que su resultado influye directamente en la inocuidad y vida útil del producto final. Su objetivo es enfriar los vegetales luego de la etapa de corte y eliminar los exudados celulares que se producen tras esa operación y que pueden favorecer el crecimiento microbiano, por lo que se emplea abundante agua.

- **Desinfección**

Esta operación facilita el control de la carga microbiana durante el procesado y dilución de fluidos celulares liberados durante las etapas de corte. Es una etapa crítica del proceso ya que influye directamente en la inocuidad y vida útil del producto final.



- **Secado**

Para evitar la proliferación de mohos y bacterias en la superficie húmeda de las frutas ya lavadas se procede a un secado a temperatura ambiente mediante escurridores.

- **Envasado**

Está destinado a proteger el producto terminado de daños físicos, químicos o microbiológicos durante su almacenamiento, distribución y comercialización. Generalmente se requiere de material plástico con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una alta humedad dentro del envase y evitar la pérdida de agua del producto.

Los dos tipos de envases más utilizados son los preformados y los que se forman, llenan y sellan en un equipo de envasado automático. Un factor importante en la elección del material de envase es su permeabilidad, ya que esto determinará cómo se modificará la atmósfera en el interior del envase.

- **Almacenamiento**

El rango de temperatura empleado es a temperatura de refrigeración de entre 10 y 12 °C, aunque es recomendable estar entre 0 a 4°C, ya que las bajas temperaturas deben permitir la inhibición del desarrollo microbiano.

Los alimentos mínimamente procesados, al incluir operaciones que alteran la integridad del tejido del producto, pueden inducir a un estrés deteriorativo. Consecuentemente se da inicio al pardeamiento enzimático, ablandamiento del tejido, la pérdida de peso, el desarrollo indeseable de olores y sabores.

Es fundamental que el depósito donde se almacenan los PMP posea óptimas condiciones de limpieza e higiene y cuente con un sistema de refrigeración que evite el deterioro del producto. En la distribución y comercialización al igual que durante el almacenamiento, se debe garantizar la integridad de la cadena de frío (Sebastián, 2017).

En la Figura 3 se muestra el proceso de elaboración de un producto mínimamente procesado.

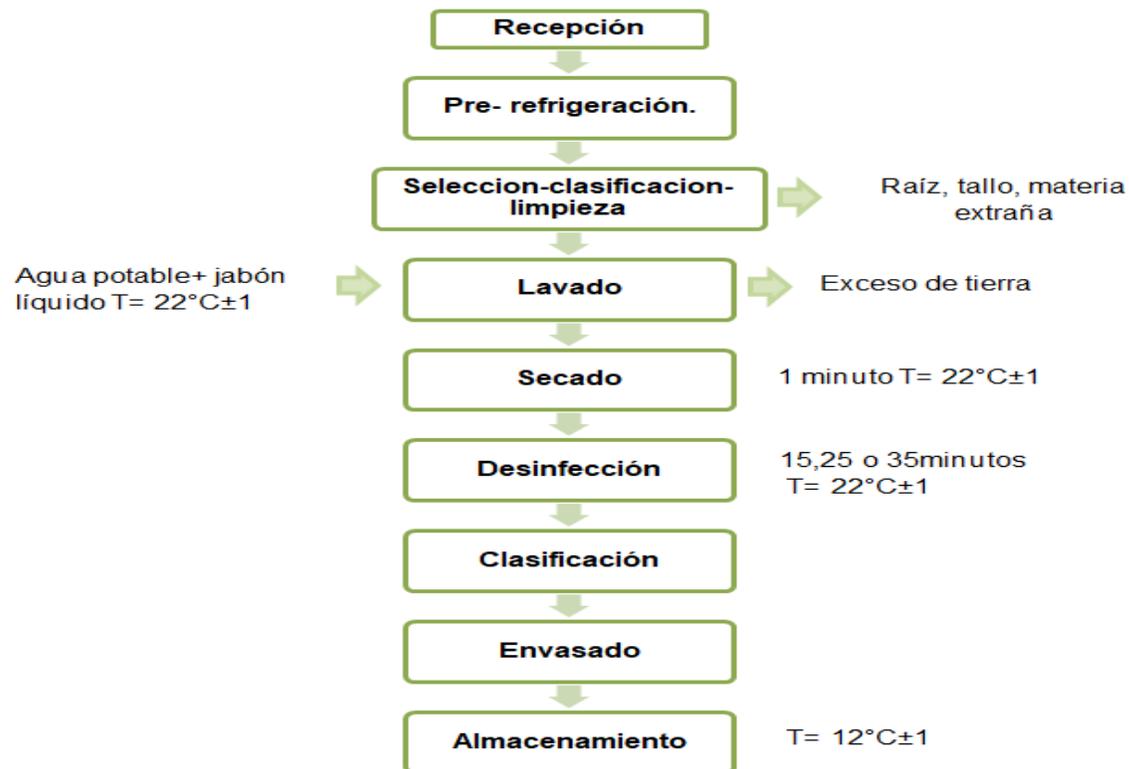


Figura 3. Diagrama de proceso de elaboración para un PMP.

Fuente: Elaboración propia recuperado de Contreras (2014).

2.3.3 Métodos de desinfección de un PMP

2.3.3.1 Químico (plata coloidal)

Este tipo de plata consiste en una combinación de partículas metálicas de plata y una cubierta proteica, y puede ser fácilmente producida, simplemente agregando agua a un polvo a base de plata proteica, el cual es vendido por varias compañías de productos químicos. Esta tecnología de producción tiene más de 100 años de antigüedad (Secretaría de Salud, 2015).

La plata en su forma coloidal es eficaz para eliminar diversas bacterias. El término coloide se refiere a una sustancia que consta de partículas ultrafinas que no se disuelven sino que permanecen suspendidas; estas partículas son más grandes que la mayoría de las moléculas, pero tan pequeñas que no son visibles a simple vista. La plata coloidal (Pc) se compone de partículas de plata muy pequeñas cargadas eléctricamente, que varían de 1 a 10 nm de diámetro y están suspendidas en agua destilada (Jiménez, 2006).



La efectividad de la plata coloidal contra bacterias, hongos y virus se ha mostrado repetidamente en test de laboratorio. En la medicina alternativa se usa frecuentemente como antibiótico natural. Las microscópicas partículas de plata suspendidas en agua son capaces de destruir hasta los microbios más resistentes a los antibióticos.

La plata coloidal, al contrario que los antibióticos convencionales, no destruyen la flora intestinal benéfica, lo que estimula la proliferación de hongos como la *Candida albicans*, causa de la Candidiasis crónica.

Se ha demostrado que la Plata coloidal no sólo mata ciertas bacterias, hongos y virus e incluso células tumorales, sino que también estimula el crecimiento del hueso y promueve la curación de heridas, incluso en pacientes con serias quemaduras. La acción de la plata es específica a ciertas estructuras celulares. Cualquier célula que no posee una pared químicamente resistente se ve afectada por la acción de la plata, incluso las bacterias y otros organismos sin paredes celulares, como por ejemplo, los virus extracelulares (Gómez, 2015).

Puesto que las células de los mamíferos tienen un recubrimiento completamente diferente en sus células, la plata no tiene efecto alguno sobre ellas. Para los humanos, la plata en su forma coloidal tiene una toxicidad prácticamente nula, 10 mL por día contienen menos plata que el límite estipulado por la Organización Mundial de la Salud. La plata se excreta fácilmente del cuerpo, principalmente a través de la orina (Pelczar *et al.*, 1982; Hansen, 2003).

Imágenes de microscopia electrónica de transmisión muestran daños a la membrana celular y algunos elementos del citoplasma. Aunque aún no se ha podido descifrar si la plata tiene uno o varios blancos de ataque, se cree que su alta reactividad con compuestos de azufre la hace reaccionar con enzimas, las cuales contienen este elemento, localizadas en la membrana. Dado que la membrana es la responsable de la respiración y del control de intercambio de materiales con el medio ambiente, esto conlleva a que la membrana pierda permeabilidad, la bacteria entonces no es capaz de efectuar procesos de respiración y eventualmente muere (Morones, 2009).



Trabajos de investigación que se enfocaron en el estudio de la respiración de las bacterias al ser expuestas a compuestos de plata muestran congruencia con los mecanismos previamente reportados. La plata al interactuar con la membrana interrumpe con la cadena respiratoria, y colapsa la fuerza motriz de electrones a través de ésta, lo cual acaba con la producción de ATP y sus fuentes de energía (Holt y Bard, 2005).

Para que los iones de plata sean tóxicos para las bacterias, éstos deben interactuar de manera directa con las células microbianas. Esta interacción afecta el crecimiento y el metabolismo de las bacterias al interferir con la asimilación de los nutrientes esenciales o alterar las características fisicoquímicas del medio ambiente.

Una gran variedad de factores, como la composición de la pared celular y el sistema de transporte, determinan la entrada de los iones a la célula (Cano, 2011).

2.3.3.2 Radiación UV-C

Los rayos UV son ondas electromagnéticas de corta longitud de onda y por lo tanto de mayor frecuencia y energía que la luz visible. Se extienden desde los 100 nm hasta los 400 nm. A pesar de estar fuera del espectro de luz visible por nuestros ojos (380 a 780 nm), es posible reconocer un fluorescente de UV debido a un colorante que llevan incorporado.

- ***Clasificación de la radiación ultravioleta***

La radiación UV consiste en rayos UV-A, UV-B y UV-C, según su longitud de onda.

- La radiación UV-A tiene longitud de onda larga (entre 320 y 400 nm). Constituye el 98% de la radiación UV contenida en la radiación solar. Puede atravesar la capa de ozono, el vidrio y la dermis profunda de la piel.
- La radiación UV-B tiene longitud de onda media (de 290 a 320 nm). Causa el mayor daño inmediato a la piel en la forma de bronceado. Es la principal causa de cáncer de piel. Se puede reducir notablemente a su paso en las nubes y en los lentes y ropa.



- El tipo C tiene longitudes de onda corta (de 200 a 290 nm). Son los más cortos y los potencialmente más dañinos de los rayos UV. Estos son absorbidos por la estratosfera gracias a la capa de ozono. Sin embargo, existen lugares del planeta donde, debido a la contaminación, esta protección ya no es segura. Se usa para el tratamiento del agua, ya que la radiación UV de 253.7 nm es la que tiene mayor capacidad germicida. Cuando están expuestos a la luz del sol, se eliminan los gérmenes, las bacterias y los hongos. Este es un proceso natural de desinfección. Sin embargo, puede usarse más eficientemente aplicando la radiación UV de forma controlada. La desinfección con rayos UV es un proceso físico, se usa principalmente en piscinas y plantas de tratamiento de agua (Ponce, 2005).

No deja efecto residual, por lo que no se puede determinar en el agua la cantidad aplicada en forma fácil. El potencial de las reacciones con UV para producir subproductos orgánicos es insignificante ya que las intensidades requeridas para la desinfección con UV son menores que las que se requieren para causar efectos fotoquímicos. Sin embargo, dosis elevadas de UV pueden oxidar materia orgánica y formar, potencialmente, esos subproductos.

La radiación UV penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares, produciendo mutaciones en su ADN que resultan letales en los organismos unicelulares y que sin serlo de forma instantánea en otro tipo de organismos sí puede provocar su debilitamiento o detener su reproducción (Figura 4). Las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas mueren al contacto con la luz. El ADN de las células de los microorganismos absorbe la máxima cantidad de UV cuando la longitud de onda de los rayos UV es de 254 nm. Esto hace que las células sean más susceptibles a sufrir alteraciones (Ponce, 2005).

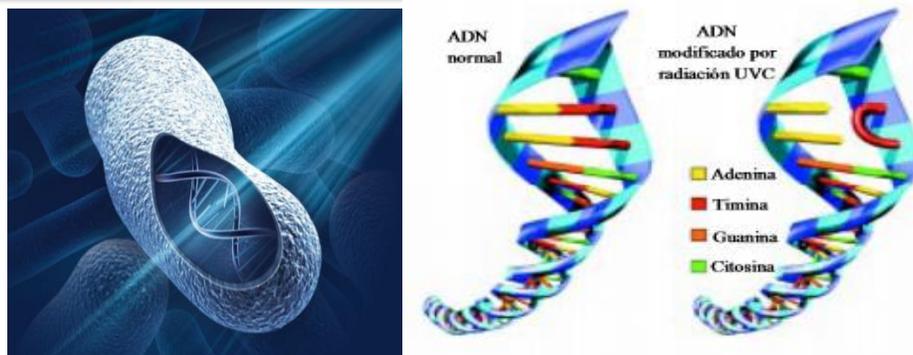


Figura 4. Efecto de radiación UV-C en ADN del microorganismo.

Fuente: Tecnología ultravioleta (2013).

2.3.3.3 Ultrasonido

Cuando se habla de ultrasonido se refiere a ondas de presión con frecuencia entre 20kHz (kilohercio) y 10MHz (megahercio) aplicadas sobre un medio líquido. Según las aplicaciones se dividen en dos grupos: los que modifican al alimento (ultrasonido de alta potencia o ultrasonido de potencia) y los que dan información de cómo se está llevando el proceso (ultrasonido de baja potencia) (Butz y Tauscher, 2002; Hughes y Nyborg, 1962).

Los ultrasonidos de alta potencia utilizan frecuencias del rango entre 20 y 100 kHz (Piyasena *et al.*, 2003). La efectividad de este tratamiento se ve afectada por los factores intrínsecos relacionados con el mismo equipo de ultrasonidos (frecuencia, longitud de onda, la amplitud de la onda, la energía ultrasónica y la consecuente intensidad) (Pingret *et al.* 2013).

Para aumentar su efectividad se pueden combinar simultáneamente con presión y/o temperatura (Awad *et al.*, 2012). Los mecanismos de acción producidos por los ultrasonidos se muestran en la Tabla 9.



Tabla 9. Efecto del ultrasonido de alta potencia en la inactivación microbiana.

Efecto	Mecanismo	Aplicación
Cavitación	Efecto micro-mecánico de continua formación y ruptura de burbujas microscópicas inducidas por altas temperaturas (5000 °C) y presiones (500 MPa).	Procesos de desinfección, lisis celulares e inactivación enzimática.
Formación de radicales libres	Sonólisis del agua produce iones (OH ⁻) y (H ⁺) y peróxido de hidrógeno.	Inactivación microbiana y enzimática.
Comprensión y expansión	Micro corriente acústica.	Inactivación microbiana y enzimática.
Fuerzas de cizalla y eclosión intracelular	Disrupción de las células y disminución del grosor de paredes celulares.	Lisis celular, inactivación enzimática y efecto antimicrobiano.
Generación de energía calórica y mecánica	Propagación de la onda decrece con la distancia al ser aplicado en el material. Esta energía que es absorbida se traduce en calor.	Inactivación microbiana

Fuente: Piyasena *et al.*, 2003).

Durante el proceso de sonicación, las ondas longitudinales son creadas cuando la onda sónica pasa a través del medio líquido y crea alternativamente regiones de cambio de presión (compresión y expansión). En estas regiones se produce la cavitación, que causa un efecto bactericida debido a la formación y a la ruptura de las burbujas de gas microscópicas (Figura 5).

Si la onda sonora suministrada no es suficiente para retener la fase de gas en la burbuja se produce una condensación rápida y provoca choques micro mecánicos que conllevan a un aumento de temperatura y presión, un cambio en los componentes estructurales y en las funciones celulares hasta el punto de producirla lisis o la muerte celular (Pingret *et al.*, 2013; Awad *et al.*, 2012; Pineda., 2012).

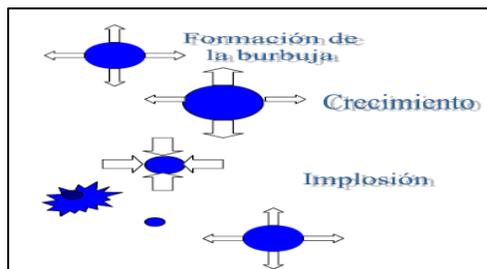


Figura 5. Fenómeno de cavitación inducido por ondas ultrasónicas asociadas a la expansión e implosión de las burbujas.

Fuente: Chaveste (2006).

La eficacia del tratamiento de ultrasonido depende del tipo de bacterias. Las esporas son relativamente resistentes a los efectos y es por ello que se necesitaran periodos más largos de tratamiento para obtener un producto más seguro o aplicar más presión, temperatura o algún producto que produzca alguna variación de pH.

Otros efectos a considerar importantes en la reducción microbiana por ultrasonidos son el colapso de las burbujas que producen incrementos de temperatura (5000 °C) y presión (500 MPa) en puntos localizados y la sonólisis que forma radicales libres muy oxidantes (Pineda., 2012; Piyasena *et al.*, 2003).

La susceptibilidad al ultrasonido puede variar entre diferentes microorganismos. Las bacterias gram negativas son más susceptibles a la inactivación que las gram positivas ya que estas poseen una pared celular mucho más gruesa.

Por lo general, las bacterias más largas o más grandes son más sensibles, posiblemente, por la mayor superficie de contacto (Gao *et al*, 2014; Pineda, 2012).

La tasa de mortalidad es altamente dependiente de la frecuencia de ultrasonido, amplitud de la onda y el volumen de concentración bacteriana. Frecuencias alrededor de 20 kHz son eficientes en la inactivación microbiana, pero las esporas y las bacterias gram positivas resisten más a esta frecuencia.

En la actualidad, los ultrasonidos son investigados en combinación con otras tecnologías en alimentos líquidos como zumos y leche, para intentar alcanzar la letalidad microbiológica de una pasteurización y sin llegar a degradar las características organolépticas. Sin embargo, en la industria alimentaria el uso de ultrasonidos se puede encontrar en diferentes procesos (Ginés, 2014).



2.3.3.4 Ozono

En 2001 la U.S. Food and Drug Administration (FDA) aprobó la normativa del uso de ozono como aditivo de alimentos, durante su procesamiento o almacenamiento. Sin embargo muchas industrias ya habían comenzado a investigar las aplicaciones de este gas, e incluso las habían puesto en práctica. Por esto, actualmente existen procesos de limpieza y desinfección, así como técnicas de conservación, en los más diversos sectores alimentarios que incluyen al ozono, los cuales son sumamente efectivos y presentan importantes ventajas.

Debido a su inestabilidad y elevado poder oxidante, el ozono actúa rápidamente rompiendo dobles enlaces y anillos aromáticos. Por ello, se lo utiliza como agente desinfectante en distintas aplicaciones, la más difundida es el tratamiento de aguas y en la desinfección de aire en distintos tipos de ambientes cerrados (posee acción microbicida y desodorizante). El tratamiento con ozono retrasa en un 20 ó 30% la maduración de muchos vegetales, lo que permite la prolongación de su vida útil. Esto se debe principalmente a la acción del ozono sobre el etileno, compuesto orgánico que actúa en el inicio de la maduración de frutas y verduras (Alimentos Argentino, 2018).

El ozono actúa sobre los microorganismos patógenos oxidándolos a otros compuestos que ya no forman la pared celular, por lo cual se incrementa la permeabilidad y puede ocasionar la lisis celular. Además una vez que penetró la célula, el ozono daña los constituyentes de los ácidos nucleicos (ARN y ADN), como consecuencia, los microorganismos no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como lo hacen frente a otros agentes desinfectantes.

El ozono ataca la pared celular de las bacterias, y rompe además su actividad enzimática al actuar sobre los grupos sulfhídricos en ciertas enzimas (Figura 6). A partir de este momento la bacteria pierde su capacidad de degradar azúcares y producir gases. La muerte de la bacteria puede ser debido a los cambios en la permeabilidad celular, posiblemente seguido de una lisis celular (Liangji, 2003).

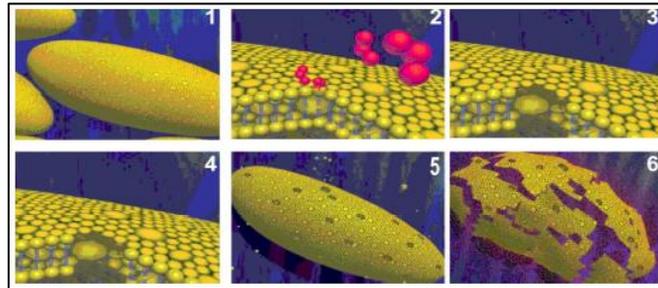


Figura 6. Mecanismo de acción ozono en pared celular de microorganismo. Donde 1: Célula 2: Iones de plata, 3 y 4: Iones de plata adheridos a pared celular 5: Destrucción pared celular 6: Lisis celular.

Fuente: Ozono 21 (2009).

- **Generación de ozono**

Debido a la breve vida media del ozono (tanto en fase gas como en solución acuosa) no permite su almacenamiento ni distribución, por lo cual debe ser generado in situ. El ozono gaseoso puede resultar irritante para las vías respiratorias; así como para la vista.

Es por esto que debe ser controlado y eliminado del ambiente donde se genera, ya que aproximadamente de un 10 a un 20% de lo que se aplica al agua se desprende en forma de gas y se mezcla con el aire. Para aquello se utilizan destructores que se encargan de desintegrar la molécula de ozono, y de obtener posteriormente oxígeno. Existen varios métodos para destruir el ozono, entre los cuales, se destacan el térmico y el catalítico (Alimentos Argentinos, 2018).

El uso potencial del ozono en la industria de frutas y verduras depende del hecho de que como agente oxidativo, es 1.5 veces más fuerte que el cloro y más efectivo para un espectro más amplio de microorganismos que el cloro y otros desinfectantes.

El ozono mata bacterias como *Escherichia coli*, *Listeria* y otros patógenos de alimentos mucho más rápido que los desinfectantes tradicionalmente usados, como el cloro y está libre de residuos químicos (Liangji, 2003).

Las frutas y vegetales frescos se lavan primero con agua ozonizada, el agua de lavado puede recuperarse y tratarse con una combinación de ozono y filtración.



El agua de lavado tratada está libre de bacteria, color y sólidos suspendidos, se puede reciclar para reducir el uso de agua. A diferencia de los sistemas de lavado basados en cloro, la descarga de agua residual por un proceso de ozonización está libre de residuos químicos, asunto relacionado con el ambiente y la contaminación de agua (Anónimo, 1998).

El ozono también puede destruir pesticidas y residuos químicos, como subproductos clorinados. El ozono gaseoso es un sanitizante fuerte y agente fumigante que se puede usar para sanitizar alimentos en almacenes y durante el transporte para prevenir bacterias, hongos y levaduras en la superficie de alimentos y para controlar insectos.

Puede eliminar sabores no deseados producidos por bacterias y destruir químicamente al gas etileno disminuyendo así el proceso de maduración provocado por éste, lo que permite una distribución más amplia (Liangji, 2003).

2.3.4 Envasado de un producto mínimamente procesado (PMP)

Los envases utilizados para los alimentos han ido cambiando a través de los años como respuesta a factores sociales, tales como el crecimiento de la población, la urbanización, la necesidad de evitar pérdidas y desperdicios de alimentos, la incorporación de la mujer al trabajo, el comercio internacional, la creciente preocupación por la higiene y por el consumo de alimentos naturales, el deterioro del medio ambiente, etc.

Estas situaciones han ido cediendo paso a los nuevos materiales industriales como papel, vidrio, hojalata, plásticos, en una progresiva evolución tecnológica, hasta llegar a la situación actual, caracterizada por una amplia y variada oferta de materiales y diseños (Giraldo, 1999).

Se considera como envase a cualquier recipiente adecuado que está en contacto directo o indirecto con el producto, para protegerlo y conservarlo, facilitando su manejo, transportación, almacenamiento y distribución (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo 2009).



Los envases tienen la característica de estar destinados al consumidor final bajo manejo de volúmenes relativamente pequeños. Un empaque debe proteger y contener el producto desde lugar y tiempo de manufactura al punto de consumo. Los envases transparentes son útiles desde el enfoque de publicidad porque permiten proveer la información requerida por el consumidor al tiempo que permiten que éste vea el producto que está comprando. Y más importante, minimiza la deshidratación del producto, la cual es una causa principal del deterioro de los PMP (Brackett, 1994).

El uso de películas poliméricas en los empaques de productos frescos se ha practicado por varias décadas para proteger los frutos y vegetales de contaminantes ambientales, así mismo se utilizan envases perforados para reducir la pérdida de humedad durante el almacenamiento y traslado mediante la reducción de la deficiencia de vapor de agua entre el producto y el medio (Artés, 2006).

2.3.4.1 Métodos de envasado para un producto mínimamente procesado

Los plásticos son materiales susceptibles de moldearse mediante procesos térmicos, a bajas temperaturas y bajas presiones. Presentan una serie de propiedades físicas y químicas muy útiles en la producción, envase y embalaje de multitud de productos, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos. Las materias plásticas son sustancias orgánicas caracterizadas por su estructura macromolecular y polimérica. De acuerdo a su composición química tendrán diferentes propiedades de las cuales derivan sus aplicaciones (Giraldo, 1999).

En la Tabla 10 se describen los diferentes métodos de envasado aplicados a productos mínimamente procesados.



Tabla 10. Métodos de envasado para un PMP.

Método de envasado	Características
<p>Tradicional</p> 	El sistema de envasado actúa como una barrera limitante entre el producto y el medio exterior de manera que se eviten contaminaciones cruzadas con alimentos, manipuladores o el ambiente.
<p>Al vacío</p> 	El producto se empaqueta en un material con baja permeabilidad al oxígeno y el aire es evacuado para sellar inmediatamente el producto.
<p>Atmósferas modificadas</p> 	La atmósfera que rodea el producto dentro del empaque sufre modificaciones por cuestiones metabólicas o por manipulación externa.
<p>Atmósferas controladas</p> 	Se monitorea la concentración de gases que se utiliza para la modificación de la atmósfera, regulándose durante el periodo de almacenamiento.

Fuente: García *et al* (2006).

Sin importar la técnica de envasado, el empaque debe cumplir con las siguientes funciones con el fin de conservar o preservar la calidad del producto durante el mayor tiempo posible (Almaguer, 2001).

- ✘ Prevenir la pérdida de producto por filtración, derrame o hurto.
- ✘ Proteger el contenido de fuerzas externas de origen físico, mecánico y biológico durante el almacenamiento, distribución y venta.
- ✘ Preservar el contenido y prevenir de manera directa o indirecta la descomposición química o disminución de la calidad del producto contenido.
- ✘ Facilitar el llenado y cerrado del envase y proveer de una estructura correcta de cierre.
- ✘ Soportar condiciones térmicas a las cuales sea sometido el producto tanto en su producción como en su período de postproducción.
- ✘ Proveer una apariencia, color, textura y diseño deseable y que a la vez permita el correcto etiquetado del producto
- ✘ Proveer un nivel mínimo o aceptable de interacción entre el producto contenido y el envase.



2.3.4.2 Materiales de empaque

Los plásticos son materiales susceptibles de moldearse mediante procesos térmicos, a bajas temperaturas y bajas presiones. Presentan una serie de propiedades físicas y químicas muy útiles en la producción, envase y embalaje de multitud de productos, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos. Las materias plásticas son sustancias orgánicas caracterizadas por su estructura macromolecular y polimérica. De acuerdo a su composición química tendrán diferentes propiedades de las cuales derivan sus aplicaciones (Giraldo, 1999).

De acuerdo a su composición química tendrán diferentes propiedades de las cuales derivan sus aplicaciones (Tabla 11).

Tabla 11. Aplicaciones de los diferentes plásticos en la industria alimenticia.

Tipo / Nombre	Características	Usos / Aplicaciones
Tipo 1. Polietileno Tereftalato (PET).	Baja permeabilidad a los gases y excelente transparencia.	Laminaciones y envases para bebidas, envases al vacío.
Tipo 2. Polietileno de alta densidad (PEAD).	Comparado con el PEBD es más firme, menos transparente, menos resistente a las grasas y presenta más baja permeabilidad al vapor de agua.	Envases para lácteos y bolsas de supermercado.
Tipo 3. Cloruro de polivinilo (PVC).	Material flexible con una alta conductividad. Presenta buena barrera a los gases y moderada al vapor de agua.	Películas flexibles para envasado de carnes, fiambres y verduras.
Tipo 4. Polietileno de baja densidad (PEBD).	Presenta una moderada permeabilidad al vapor de agua pero una alta permeabilidad al oxígeno.	Bolsa de todo tipo y para envasadoras automáticas.
Tipo 5. Polipropileno (PP).	Más duro y de mejor resistencia que el PEAD. Su permeabilidad al vapor de agua y a los gases está entre el PEAD y el PEBD.	Película / Film para alimentos, snacks y golosinas.
Tipo 6. Poliestireno (PS).	Polímero de estireno monómero.	Envases para yogurt, helados, además de bandejas y vasos.
Tipo 7. Materiales coextruídos o laminados.	Materiales compuestos fabricados con distintas resinas.	Envases para sistemas al vacío y atmosferas protectoras.

Fuente: Elaborado a partir de: Giraldo (1999) y Secretaria de Sustentabilidad (2016).



Las limitaciones que presentan los materiales plásticos para el uso en los empaques son (Giraldo, 1999):

- ✖ Baja resistencia a los rayos ultravioleta
- ✖ Baja resistencia a temperaturas elevadas
- ✖ Deterioro en la superficie
- ✖ Resistencia variable a la abrasión
- ✖ Flamabilidad
- ✖ Orientación
- ✖ Deformación térmica
- ✖ Menor vida de anaquel

Los materiales de los envases en estudio son PET y PS y a continuación se describen sus principales características y aplicaciones.

2.3.4.3 Tereftalato de polietileno (PET)

El PET, también conocido como tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato, o por sus siglas en inglés PET, (polyethyleneterephthalates), es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, otros (Adhesivos, 2012).

El PET provee un gas fuerte y una barrera contra la humedad, haciéndola una opción popular para las botellas plásticas de bebidas, salsas, aderezos de ensalada, bandejas de comida para microondas y paquetes para comida. Las botellas hechas con PET no se rompen por su composición, es un producto maleable y pesan alrededor de la décima parte de su homólogo de vidrio (Mundo plástico, 2015).



2.3.4.4 Poliestireno (PS)

El poliestireno es un plástico versátil usado para fabricar una amplia variedad de productos de consumo. Dado que es un plástico duro y sólido, se usa frecuentemente en productos que requieren transparencia, tales como envases de alimentos y equipos de laboratorio.

Cuando se combina con varios colorantes, aditivos y otros plásticos, el poliestireno se usa para hacer electrodomésticos, electrónicos, repuestos automotrices, juguetes, macetas y equipamiento para jardines, entre otros. El poliestireno también se fabrica en forma de material espumoso llamado poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS), valorado por sus propiedades de aislamiento y acolchado (Humanidades, 2019).

2.3.4.5 Tipos de envases

Los envases más extendidos en el envasado en atmósfera protectora se fabrican con materiales poliméricos y se dividen en dos categorías:

- ✗ Envases flexibles. A este grupo pertenecen los envases o bolsas tipo “almohada”, que tienen una soldadura longitudinal y dos transversales en los extremos, y los tipo “saco o sobre”, con los cuatro lados sellados.
- ✗ Envases rígidos. En esta segunda categoría los envases constan de dos componentes. El inferior puede tener distintas formas (copa, cuenco, etc.) aunque generalmente se trata de una bandeja o barqueta sobre la que se deposita el alimento. El otro componente es una película flexible que sirve para cubrirlo

En la Figura 7 se muestran diferentes tipos de envases.

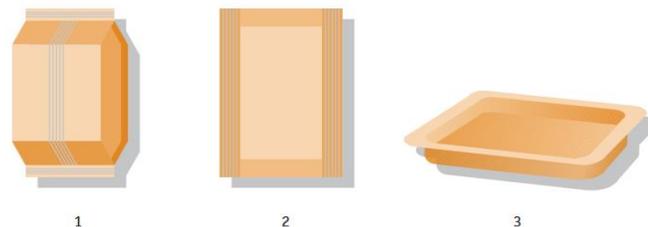


Figura 7. Envases más utilizados con atmosferas protectoras. (1). Bolsa tipo almohada, (2). Bolsa tipo sobre y (3). Barqueta.

Fuente: García *et al.*, (2006).



De acuerdo a las características de un PMP se ha elegido envasar la verdolaga y el epazote en una barqueta elaborada de PET, una con cubierta del mismo material y otra con cubierta de PS.

2.3.4.6 Almacenamiento de productos vegetales

Tanto el almacenamiento de vegetales frescos en cámaras controladas como su envasado en atmósfera modificada se realizan, en general, con una baja proporción de oxígeno combinada con una alta concentración de dióxido de carbono. Al tratarse de alimentos metabólicamente activos la composición de este ambiente gaseoso varía con el tiempo. Debido a su actividad respiratoria estos productos consumen O_2 y producen CO_2 y vapor de agua. El incremento de su vida comercial así como el mantenimiento de su calidad dependen de la capacidad para restablecer la atmósfera protectora inicial.

Otros factores que contribuyen a preservar la calidad de las frutas y hortalizas son la temperatura y la humedad relativa cuyos valores se fijan de acuerdo a las exigencias del producto almacenado. Por ejemplo, a temperaturas bajas disminuye la velocidad de las reacciones de deterioro y se incrementa la duración del alimento.

En el envasado en atmósfera modificada de vegetales frescos y mínimamente procesados también se combinan un pequeño volumen de oxígeno y una gran proporción de dióxido de carbono además de nitrógeno. La concentración de estos gases en el espacio de cabeza del paquete varía debido al metabolismo respiratorio de estos productos (Figura 8). En este caso, los cambios se compensan con la difusión de gases a través del material de envasado hasta establecer una atmósfera en equilibrio. En ella, la cantidad de oxígeno que consume el vegetal se recupera con el O_2 del exterior mientras que el exceso de CO_2 y el vapor de agua liberados en la respiración sale del envase (García *et al.*, 2006).

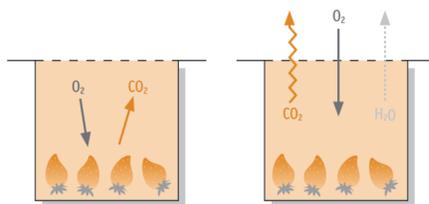


Figura 8. Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos.

Fuente: García *et al.*, (2006).



Para ello, las películas poliméricas deben tener una permeabilidad adecuada a la tasa de respiración del vegetal. Con frecuencia, estas películas están micro perforadas para facilitar el paso de los gases. Además, se someten a un tratamiento antivaho que evita la condensación de vapor de agua de la respiración del producto en su superficie. Junto a los gases habituales se utilizan otros gases protectores (argón, óxido nitroso) en el envasado con resultados excelentes.

También se incluyen en el material de envasado o en el propio paquete dispositivos que regulan la composición de la atmósfera interna: absorbedores de oxígeno, de dióxido de carbono, de etileno, generadores de CO₂, etc. Por último, el envasado de los vegetales frescos y productos de IV gama bajo una atmósfera modificada incrementa su vida útil hasta los 6-7 días frente a los 2-3 días que presentan cuando se envasan en aire.

Las tecnologías de envasado en atmósfera protectora (EAP) se aplican a productos de diversa naturaleza (vegetales, carnes, pescados, lácteos, etc.) Cuentan con una larga trayectoria en la conservación de determinados alimentos como los derivados cárnicos, el café y los snacks y resultan muy adecuados para los alimentos frescos y mínimamente procesados y los platos preparados. Implican la eliminación del aire contenido en el paquete seguida o no de la inyección de un gas o mezcla de gases seleccionado de acuerdo a las propiedades del alimento. Estos sistemas de envasado generan un ambiente gaseoso óptimo para la conservación del producto donde el envase ejerce de barrera y aísla, en mayor o menor grado, dicho ambiente de la atmósfera externa. (García *et al.*, 2006).

Por otra parte en el envasado en atmósferas modificadas, las frutas frescas continúan respirando después de haber sido cosechadas; esto significa que el contenido de carbohidratos en los frutos como sustrato de la respiración se verá implicado en un proceso oxidativo. Los productos de dicho proceso serán CO₂, agua y energía en forma de calor. La tasa de respiración es altamente afectada por la temperatura, así como por las concentraciones de CO₂ y O₂ (Balla y Farkas, 2006). Es por eso que para aumentar la vida de anaquel de los productos, se debe controlar principalmente la liberación de gases (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) a la atmósfera a una temperatura determinada.



Cuestión que en general se hace por medio de películas plásticas con diferentes permeabilidades a los gases de interés para controlar la tasa de respiración de los frutos durante su almacenamiento.

Para ello la adición de gases como Dióxido de Carbono altamente soluble en agua y lípidos. Su concentración debe ser controlada ya que a altas concentraciones puede alterar el sabor del producto por la formación de ácido carbónico. Presenta efectos inhibitorios en bacterias siendo las Gram-negativas más sensibles a este gas que las bacterias Gram-positivas. Argón y otros gases nobles, su función es similar a la del nitrógeno; sin embargo, debido a su peso molecular, son gases más pesados que el nitrógeno por lo que el efecto inerte y la eficiencia de inactivación son mejores (Yuan *et al.*, 2009).

Una atmósfera modificada puede ser creada ya sea pasivamente o activamente. Una atmósfera pasiva es creada a partir de la evolución de la respiración del producto dentro de un envase herméticamente sellado, es decir a partir del consumo de O₂ y la producción de CO₂; por lo que es importante que se elija adecuadamente el film de acuerdo a su permeabilidad a los gases de la respiración para que se adecuen a las características de respiración del producto y de esta manera alcanzar una atmósfera de equilibrio apropiada para el mismo. Los envases activos se crean generando un ligero vacío en el empaque para reemplazar la atmósfera propia con una mezcla programada de CO₂, O₂ y N₂, de manera que se genere una atmósfera de equilibrio más rápidamente que con una atmósfera pasiva (Martínez, 2012).

El avance en la tecnología de empaque ha permitido a los procesadores de alimentos proveer a los consumidores con alimentos más frescos y saludables; sin embargo, una vez que el producto es distribuido, es difícil determinar si la seguridad del producto seguirá manteniéndose una vez que llegue al consumidor final.

2.3.4.7 Vida útil de los productos vegetales

El principal factor limitante de la vida útil de los vegetales frescos es su actividad metabólica que continua después de la recolección. Los procesos de respiración, transpiración y la producción de etileno deben controlarse exhaustivamente para prolongar



el estado óptimo de maduración de estos alimentos hasta su consumo. Si estas reacciones progresan demasiado las frutas y hortalizas maduran en exceso y disminuye de forma considerable su calidad.

En hortalizas es más frecuente la proliferación de bacterias mientras que en las frutas predominan las alteraciones causadas por mohos y levaduras. Además de los microorganismos, pueden aparecer insectos que dañan la integridad de los vegetales durante el periodo de almacenamiento cuando no se han sometido previamente a un tratamiento adecuado. Los productos mínimamente procesados y de IV gama se deterioran a mayor velocidad comparados con los vegetales en piezas enteras. La respiración y otros procesos metabólicos se aceleran como resultado de su manipulación, la superficie expuesta al aire adquiere una tonalidad oscura debido a las reacciones de pardeamiento, los tejidos se reblandecen, hay pérdida de aromas, etc. (García *et al.*, 2006).

2.3.4.8 Legislación de los PMP.

Hasta el momento, no existe una regulación nacional que trate acerca de los productos mínimamente procesados, ya sean estos de origen vegetal o de alguna otra procedencia, por lo que se requiere de la referencia de organizaciones como el Codex Alimentarius y la comisión de regulación Europea.

De acuerdo al Diario Oficial de la Unión Europea, en la comisión de regulación (EC) No 2073/2005 publicada el 15 de noviembre de 2005, acerca de los parámetros microbiológicos para productos alimentarios, indica los criterios que deben tomarse en cuenta para productos hortofrutícolas listos para ser consumidos:

- Criterio de seguridad: el producto es satisfactorio si hay ausencia de *Salmonella* en 25 g del producto.
- Criterios de higiene del proceso: el producto es satisfactorio si presenta menos de 100 UFC/g de *E. coli* y es aceptable si hay ente 100 y 1000 UFC/g.

Dentro del Codex Alimentarius, existen dos códigos estandarizados que hacen referencia a los productos frescos y mínimamente procesados de origen vegetal (Codex Alimentarius, 1997, 2003).



- CAC/RCP 53-2003, (Código de prácticas de higiene para frutas y vegetales frescos). Trata de temas directamente relacionados con la producción como son: higiene ambiental, higiene de la materia prima, sanitización de la planta de procesamiento, mecanismos de control de amenazas, etc.
- CAC/RCP 44-1995, (Código de prácticas para el envasado y transporte de frutos y vegetales frescos). Si bien trata del envasado de productos en frescos también se incorporan prácticas útiles aplicadas a los productos mínimamente procesados, como es el caso del pre-enfriamiento del producto al momento de la cosecha y los lineamientos con los que debe cumplir el medio de transporte.



Objetivos





3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes métodos de desinfección, Químico, UV-C, Ultrasonido, y Ozono, en combinación con Ozono en agua en parámetros de calidad y microbiológicos de verdolaga (*Portulaca oleracea*) y epazote (*Chenopodium ambrosoidae*) mínimamente procesados almacenado en dos tipos de envase (PS y PET) que permita alargar su vida útil y aumentar su comercialización.

3.2 Objetivo particular 1

Caracterizar verdolaga y epazote física (color), fisicoquímica (pH y acidez), química (contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila) y microbiológicamente (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras), mediante el empleo de pruebas analíticas para conocer sus características como materia prima.

3.3 Objetivo particular 2

Evaluar el efecto de diferentes métodos de desinfección Químico, UV-C, Ultrasonido, y Ozono, en combinación con Ozono en agua sobre verdolaga y epazote determinando los parámetros físicos (color), fisicoquímicos (pH y acidez), químicos (contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila) y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras), para determinar que método de desinfección es más eficiente.

3.4 Objetivo particular 3

Determinar la vida útil de verdolaga y epazote y mínimamente procesada, almacenada en dos tipos de envase hechos de PS y PET que permita extender su tiempo de vida útil a partir de los parámetros químicos (contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila) y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras) para seleccionar el envase que prolongue su vida útil.



Metodología experimental

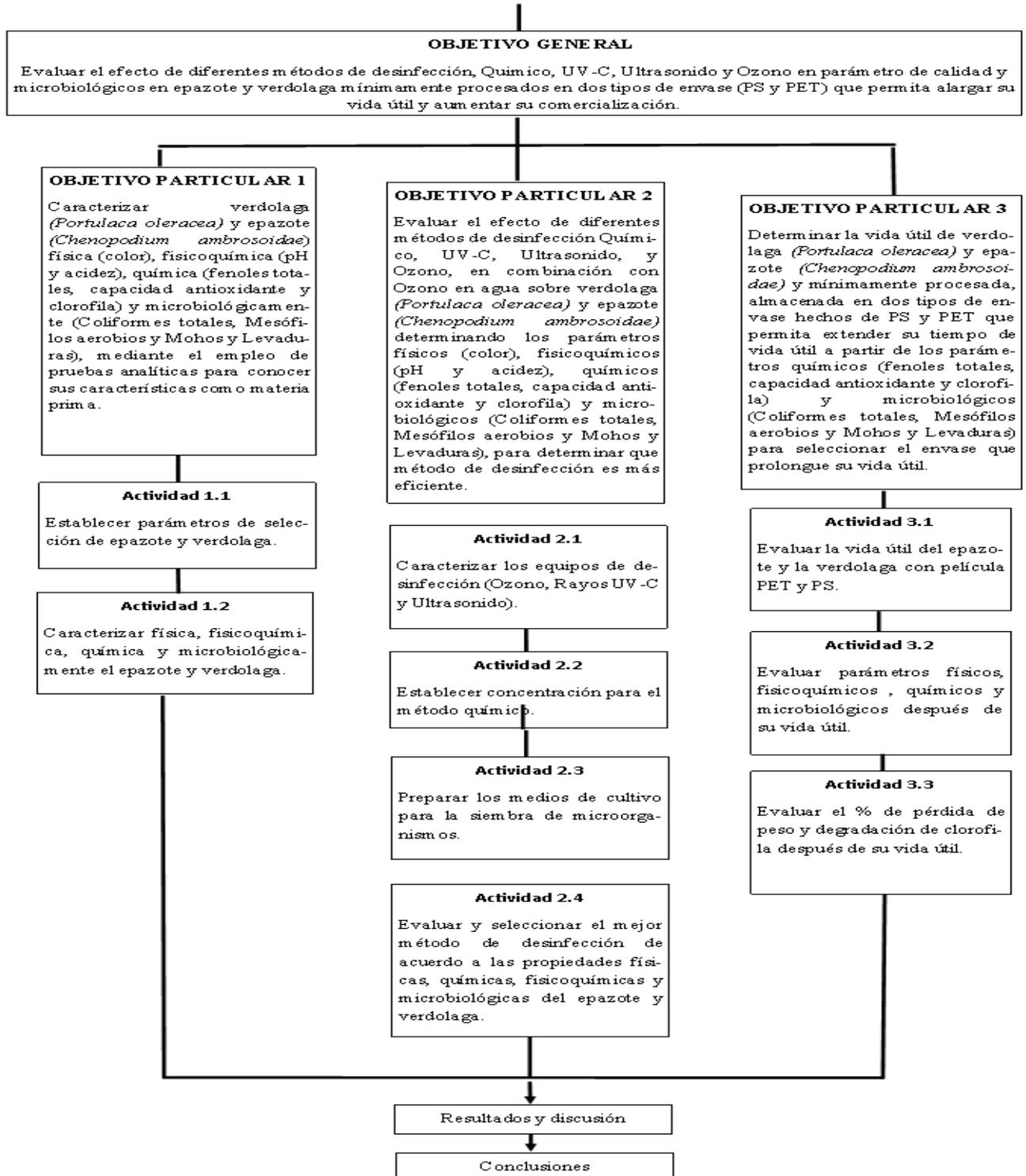




4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1 Cuadro metodológico

EFICIENCIA DE DESINFECCIÓN POR RAYOS UV-C, OZONO, ULTRASONIDO Y QUÍMICO PARA EL ENVASADO DE EPAZOTE Y VERDOLAGA MÍNIMAMENTE PROCESADO





4.2 Material biológico

La verdolaga (*Portulaca oleracea*) y el epazote (*Chenopodium ambrosioides*) se adquirieron en el mercado del Carmen de Cuautitlán Izcalli Estado de México y fueron trasladados al Laboratorio de Postcosecha de productos vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM.

4.3 Elaboración de verdolaga y epazote mínimamente procesado y evaluación de las condiciones de desinfección

Para la evaluación del tiempo de desinfección primero se llevó a cabo el proceso de desinfección de epazote y verdolaga como productos mínimamente procesados a una temperatura de 10-12°C en una área previamente desinfectada, se evaluaron diferentes tiempos de desinfección: 15, 25 y 35 minutos para cada tratamiento de: UV-C con una longitud de onda de 235.91 mW/cm², ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz, ozono con una concentración de 150 mg/h y método químico añadiendo 1.5mL por cada litro de agua; cada uno en combinación con ozono en agua utilizando una concentración de 180 mg/h por un intervalo de tiempo de 6 minutos. En la Figura 9 se muestra el diagrama para epazote y verdolagas como un producto mínimamente procesado.

El material que se utilizó para el procesamiento de ambas hortalizas se lavó con solución de jabón, y agua potable, y posteriormente fueron esterilizados en autoclave a 1 atm durante 15 minutos. Los envases empleados fueron irradiados con UV-C por 10 minutos con una lámpara germicida Sankyo Denky G15 T18.

4.4 Descripción del proceso de elaboración de verdolaga y epazote mínimamente procesados

- **Selección y limpieza**

En esta parte se seleccionó la hortaliza como materia prima, se separó toda materia extraña que estuviera adherida a la materia prima; así como cualquier hoja o tallo que se encontró en mal estado.



Para el caso de la verdolaga se separaron las raíces del tallo y para el epazote se deshojó del tallo, únicamente seleccionando las hojas medianas y grandes que se encontraron en buen estado.

- **Lavado**

Un primer lavado con agua potable se realizó para cada hortaliza, a temperatura ambiente para disminuir y retirar contaminantes provenientes del campo y materia extraña que no se eliminó en la etapa anterior.

- **Primer Desinfección**

La primera desinfección se llevó a cabo utilizando un ozonificador de agua con una concentración de 180 mg/h durante el periodo de 6 minutos sumergiendo en agua las hortalizas en un bidón de vidrio.

- **Segunda desinfección**

En esta etapa se evaluaron las diferentes tecnologías emergentes como son: Radiación UV-C, Ozono, Ultrasonido y un método alternativo al uso de agua clorada como es el método comercial de desinfección con plata coloidal. Cada método de desinfección se evaluó en tres periodos de tiempo: 15, 25 y 35 minutos (Tabla 12).

Tabla 12. Condiciones de proceso para cada método de desinfección.

Método de desinfección	Condiciones del método de desinfección
Químico	1.5 mL/L
UV-C	235.91 mW/cm ²
Ultrasonido	40 kHz
Ozono	150 mg/h

- **Ecurrado**

Un escurrado se realizó para retirar la mayor cantidad de agua residual en cada hortaliza para que en la siguiente etapa no tuviera un efecto.

- **Envasado**

En esta etapa se utilizaron dos tipos de envase, PET y PS. Para el caso de PET se utilizó un envase tipo cartera y para PS se utilizó una tarrina con un film de este material.



Para envasar epazote se pesaron 50g de esta hortaliza y para verdolaga se utilizaron 150g para cada envase.

- **Almacenado**

Las dos hortalizas envasadas se almacenaron a una temperatura de 4 °C utilizando una incubadora durante 15 días.

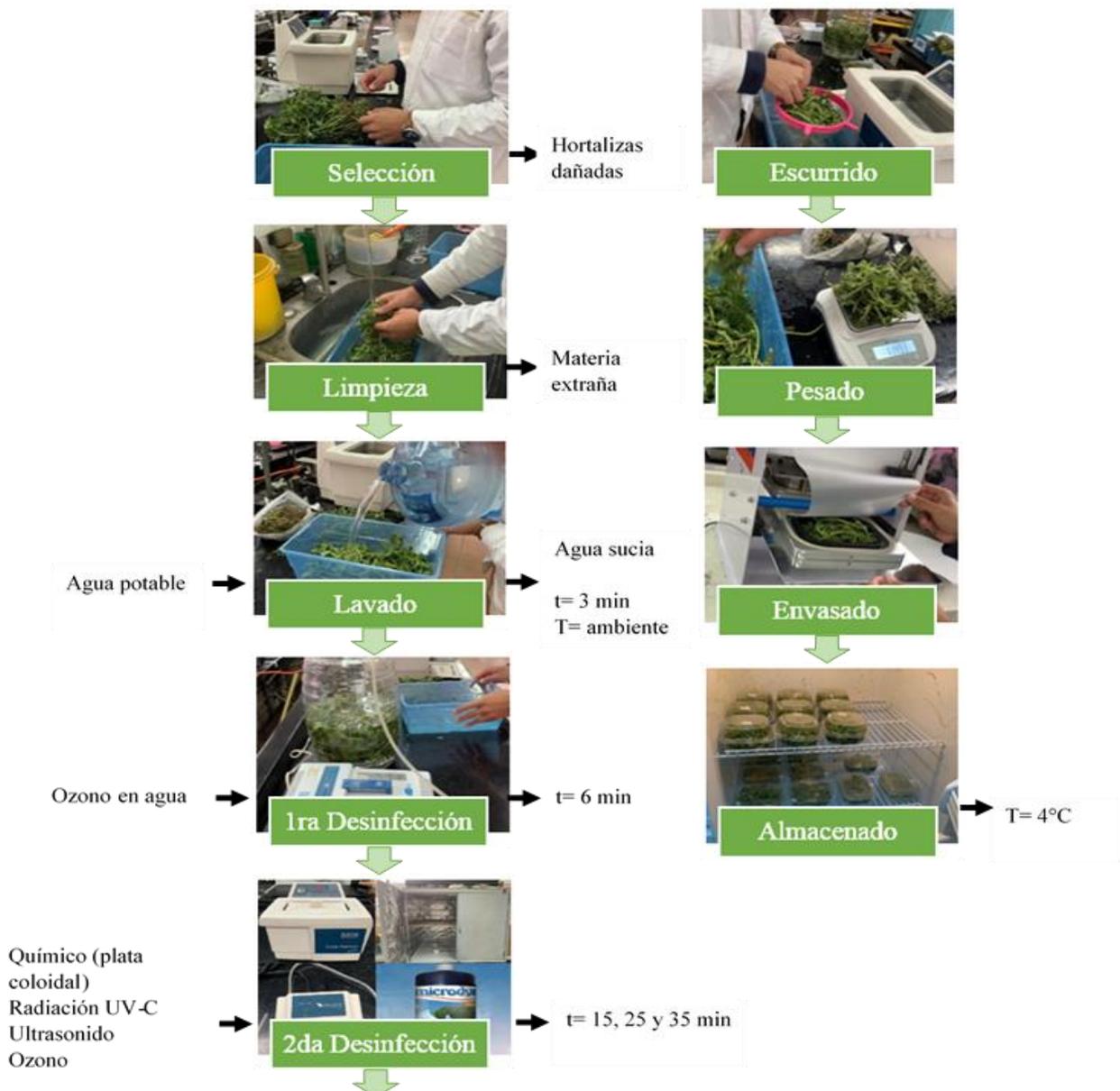


Figura 9. Diagrama de proceso PMP.



4.5 Selección del mejor método de desinfección

El mejor método de desinfección se seleccionó con base en los resultados obtenidos en el conteo en placa para coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras, puesto que el que disminuyó en mayor cantidad la carga microbiana se consideró el mejor método de desinfección, esto tomando en cuenta a partir de una disminución de dos escalas logarítmicas. Con ello también se establecieron 15 minutos de operación con $O_3 + UV-C$.

4.6 Evaluación del efecto del tipo de envase en verdolaga y epazote mínimamente procesado

El efecto de envase de tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS) tipo barqueta se evaluó en cada hortaliza. Para el envasado se utilizaron proporciones diferentes, siendo que para epazote 50g y verdolaga 150g de acuerdo a las características físicas de cada una durante 12 días a 4°C. Para determinar el efecto del envase se evaluaron los parámetros químicos (contenido total de fenoles totales, capacidad antioxidante y cuantificación de clorofila) y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras); seleccionando el envase que prolongó su vida útil.

4.7 Métodos analíticos

4.7.1 Parámetros físicos

4.7.1.1 Determinación de color

La determinación del color en epazote y verdolaga mínimamente procesados se llevó a cabo con un espectrofotómetro (Konica Minolta CM-600d) mediante el sistema Hunter L^*a^*b . El parámetro L mide la luminosidad o brillantez de la muestra, que representa la luminosidad desde la reflexión nula ($L=0$) hasta la reflexión difusa perfecta ($L=100$), se obtiene como una medida directa del espectrofotómetro, a mide la tonalidad de color verde a rojo y b las tonalidades de azul a amarillo.

Tres hojas de cada hortaliza se cortaron para tomarles lecturas de acuerdo a la escala Hunter L^*a^*b (Caamal *et al.*, 2011).



Con base en los datos de L, a y b (McGuire, 1992; Moreno-Pérez *et al.*, 2006) se calculó la diferencia de color para cada hortaliza después del proceso de desinfección.

4.7.1.2 Determinación de pérdida de peso

Para su determinación se registraron los cambios de peso de cada muestra en el día correspondiente a la evaluación con respecto al peso inicial de su almacenamiento (Márquez-Villacorta *et al.*, 2012) haciendo uso de una balanza digital (OHAUS Scout Pro). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso.

4.7.2 Parámetros fisicoquímicos

4.7.2.1 Determinación de pH

Este método se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un potenciómetro (NMX-F-317-S-1978), ya que la fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema. El pH de la verdolaga y el epazote se midió con un potenciómetro manual (HANNA HI 208), por medición directa a temperatura ambiente. Para su determinación se tomó de la muestra filtrada que se preparó para la determinación de acidez.

4.7.2.2 Determinación de acidez

La acidez titulable es el porcentaje de los ácidos contenidos en el producto. La determinación de este parámetro se realizó por medio del análisis conocido como titulación directa, que es la neutralización de los iones hidrógeno del ácido con una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida. El cambio de acidez a la alcalinidad se determina utilizando fenolftaleína como indicador (NMX-FF-011- 1982).

La acidez se determinó con la titulación de 10 mL de muestra previamente preparada, de 10g de muestra macerada más 90 mL de agua y posteriormente filtrada, adicionando dos gotas del indicador fenolftaleína, valorada con NaOH 0.1 N. Los resultados se expresaron como mg de ácido málico en 100g de muestra.



4.7.3 Parámetros químicos

4.7.3.1 Determinación de fenoles totales

Los compuestos fenólicos son oxidados por una mezcla de ácidos fosfotúngstico ($H_3PW_{12}O_{10}$) y fosfomolibdico ($H_3PMO_{12}O_{40}$) conocida como reactivo de Folin-Ciocalteu; los que a su vez son reducidos a óxidos azules de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (MO_8O_{23}), cuya estructura es desconocida. El máximo de absorción se logra a los 765nm. La reacción se produce en medio alcalino.

La intensidad de la coloración azul obtenida es función de la cantidad de fenoles del medio. Este color no es estable y evoluciona en el tiempo. Existe una fase rápida (0– 30 min), conducente a la coloración azul y otra lenta (después de 30 min). Con una evolución a color azul oscuro. Si se toma la precaución de hacer la medición entre 30 y 45 min, el error es pequeño y los valores son reproducibles.

Los resultados de fenoles totales fueron expresados en miligramos de ácido gálico por gramo de producto fresco. El método se basa en la oxido-reducción de la muestra empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu y un medio alcalino conseguido con una solución de carbonato de sodio. La intensidad de la coloración azul de la reacción es determinada a una absorbancia de 765nm (Singleton, 1999). Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por cada gramo de producto fresco.

4.7.3.2 Determinación de capacidad antioxidante

Las evaluaciones antioxidantes frecuentemente son indirectas y por inhibición, donde un agente oxidante llamado inductor generalmente un radical libre, oxida a una molécula monitor (sonda) que sufre un cambio de color y emite luz; la capacidad antioxidante se mide cuando al colocar la muestra a evaluar, la oxidación de la molécula sonda se oxida y con ello el parámetro modificado (Quintanar y Calderón, 2009).

La técnica para la generación del radical catión $ABTS^+$ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid), implica la producción directa del cromóforo $ABTS^+$ verde-azul a través de la reacción entre ABTS y el persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$).



Este presenta tres máximos de absorción a las longitudes de onda de 645, 734 y 815nm. La adición de los antioxidantes al radical pre-formado lo reduce a ABTS. De esta manera el grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical catión ABTS⁺ está determinado en función de la concentración y el tiempo; así como del valor correspondiente usando el Trolox como estándar bajo las mismas condiciones (Re *et al.*, 1999).

Las soluciones utilizadas fueron: Trolox (4 mM), buffer PBS (0.01M) y ABTS, posteriormente se realizó una curva patrón con soluciones del antioxidante Trolox a distintas concentraciones. Las lecturas de cada punto de la curva se realizaron por triplicado tomando 1900 μ L de la solución de ABTS y 100 μ L de cada punto posteriormente se agitó y se dejó reposar por 7 minutos para poder leer en el espectro a 734nm. Finalmente los resultados de capacidad antioxidante se expresaron en milimoles de trolox por gramo de producto fresco.

4.7.3.3 Determinación de clorofila

La diferencia entre las distintas clorofilas existentes (se conocen al menos siete) se encuentran en los sustituyentes que se presentan; así la clorofila "a" (verde azulada) presenta un grupo metilo (-CH₃) en el carbono 3, y la "b" (verde amarillento) un grupo aldehído (-CHO) en la misma posición.

La principal propiedad fisicoquímica responsable de este hecho es la elevada absorbancia que presenta la clorofila en el intervalo de longitudes de onda entre 645 y 663 nm. La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución.

El contenido de clorofila total fue determinado mediante espectrofotometría (Jeffrey y Jumphy, 1975). La extracción del pigmento se llevó a cabo con acetona al 90% las muestras se leyeron a longitudes de onda de 664 y 647nm.



De estos resultados se realiza el cálculo de clorofilas totales en unidades de $\mu\text{g/L}$ de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Clorofilas totales} = \text{Clorofila A} + \text{Clorofila B}$$

Dónde:

$$\text{Clorofila A} = + \frac{(11.93 * \text{Abs a } 664) - (1.93 * \text{Abs a } 647)) * (\text{Vol. de extracto en mL})}{\text{Vol. del filtrado en L}}$$

$$\text{Clorofila A} = + \frac{(20.36 * \text{Abs a } 647) - (5.50 * \text{Abs a } 664)) * (\text{Vol. de extracto en mL})}{\text{Vol. del filtrado en L}}$$

4.7.4 Parámetros microbiológicos

Para el análisis microbiológico se utilizó el método de siembra directa y conteo en placa. El recuento de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras se realizó empleando diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} .

Para mohos y levaduras se usó agar selectivo de Papa Dextrosa a una temperatura de incubación de 25°C por 3 a 5 días, para mesófilos aerobios se usó agar Nutritivo a una temperatura de incubación de 37°C por 24-48 horas y para bacterias coliformes totales se utilizó agar Bilis y Rojo Violeta a una temperatura de incubación de 37°C por 24 horas (NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994). Los resultados se expresaron como logaritmo base 10 de unidades formadoras de colonias por gramo.

4.8 Análisis estadístico

Para el objetivo 2 se analizaron los datos obtenidos mediante un diseño 2k y para el objetivo 3 un diseño completamente al azar (ANOVA), con un nivel de significancia de 0.05, que permitió conocer si existió una diferencia significativa o no entre las variables a través del uso del programa estadístico SPSS (versión 22) for Windows Student.



Resultados y discusión





5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización de verdolaga y epazote

La composición química de las hortalizas varía significativamente según el tipo, procedencia y condiciones edafoclimáticas (Belitz *et al.* 2009).

En la Tabla 13 se muestran los resultados para cada parámetro físico, fisicoquímico, químico, y microbiológico obtenidos experimentalmente de verdolaga y epazote en estudio.

Tabla 13. Caracterización fisicoquímica, química y microbiológica de verdolaga y epazote.

Parámetro	Hortaliza					
	Verdolaga			Epazote		
	L	a	b	L	a	b
Color	37.30	-7.47	19.76	45.56	-7.77	24.36
	±	±	±	±	±	±
	1.00	0.98	1.65	1.71	0.08	1.32
pH	6.22 ± 0.01			8.18 ± 0.02		
Acidez [%]	0.23 ± 0.00			0.17 ± 0.00		
Clorofila [mg de clorofila/g de producto fresco]	29.65 ± 1.37			33.10 ± 4.56		
Fenoles totales [mg ácido gálico/g de producto fresco]	5.34 ± 0.05			15.85 ± 1.24		
Capacidad antioxidante [mmol T/g de producto fresco]	4.84E ⁻² ± 6.31E ⁻⁴			6.9E ⁻² ± 6.57E ⁻⁴		
Coliformes totales [log UFC g ⁻¹]	5.37 ± 0.06			6.52 ± 0.01		
Mesófilos aerobios [log UFC g ⁻¹]	6.03 ± 0.01			6.73 ± 0.03		
Mohos y levaduras [log UFC g ⁻¹]	5.46 ± 0.00			6.59 ± 0.01		

El color desempeña un papel clave en la elección, preferencia y aceptación de los alimentos y puede, incluso, influir en la percepción de otros atributos de calidad, como el sabor. (Cordero, 2013).

En la Tabla 13 se muestran las coordenadas *L*, *a* y *b* las cuales según el espacio de color *L*a*b**, también referido como CIELAB dentro círculo cromático indican una tonalidad de color verde, cabe resaltar que el valor de *a* negativo indica la semejanza del color a tonos verdes, con esto se deduce que ambas hortalizas se encontraban en su estado fresco, siendo aptas para someterse al proceso de elaboración de un PMP.



El epazote tiene una tonalidad de color verde ligeramente más intensa en comparación con el color de la verdolaga aspecto que se atribuye al menor contenido de agua en epazote que en verdolaga (Belitz *et al.*, 2009).

El valor de pH para verdolaga fue menor a lo reportado por Sáenz *et al.* (2018) (7.59 ± 1.82); sin embargo, el valor obtenido experimentalmente muestra estar dentro del intervalo indicado según Holdsworth (1998) para una hortaliza quien reporta valores entre 5 y 8, así mismo el epazote muestra tener un valor dentro de dicho intervalo. El pH de las hortalizas suele estar ligado directamente al tipo de suelo y la reacción de este en el que son cultivadas.

El valor de acidez en ambas hortalizas muestra estar ligado al pH, ambas son ligeramente alcalinas, esto puede estar relacionado con el contenido de ácidos presentes, la capacidad de proliferación microbiana en conservación (valores bajos permitirán una vida de anaquel más prolongada) puesto que actuará a nivel fisiológico en la hortaliza como barrera fisiológica natural frente a la acción microbiana (Navez *et al.*, 1999).

El contenido de clorofila en las verdolagas estudiadas fue mayor en comparación a lo reportado por Núñez (2008), quien encontró 23.88 mg clorofila/g de producto fresco, lo cual puede atribuirse a la procedencia de la verdolaga, las condiciones del suelo, la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, etc. (Reyes *et al.*, 2000).

Actualmente no existen informes cualitativos sobre el contenido de clorofila en epazote, en este estudio se reporta 33.10 mg clorofila/g de producto fresco valor mayor que en verdolaga 29.65 mg clorofila/g de producto fresco; lo cual se atribuye a un mayor contenido de pigmento, reflejado en la tonalidad de color más intensa que la verdolaga.

Los compuestos fenólicos son sustancias orgánicas ampliamente distribuidas en el reino vegetal, se sintetizan como metabolitos secundarios con funciones de defensa, y son en gran medida responsables de las propiedades del color, la astringencia y sabor de los vegetales.



Dentro de los compuestos antioxidantes más importantes presentes en los vegetales se encuentra el grupo conformado por los carotenoides y los fenoles, especialmente los flavonoides y los antocianos, los cuales muestran una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, atribuyéndoseles a su vez un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades tales como: cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas. La ingesta de alimentos ricos en sustancias antioxidantes como vitaminas C y E, carotenoides o compuestos fenólicos, previene o disminuye el desarrollo de estas enfermedades. (Sandoval *et al.*, 2008)

La verdolaga mostró tener un valor de capacidad antioxidante de 32.6 mMT /g de producto fresco; mientras que el epazote 19.58 mMT/g de producto fresco. Comparado con lo reportado por Sáenz *et al.* (2018) los resultados no coinciden, puesto que ellos reportan un valor de 0.074 mMT/g de producto seco para verdolaga; por otra parte mismos autores reportan valores de fenoles totales de 9 mg ac. gálico/g de producto fresco, diferente valor al obtenido en esta investigación (5.34 mg ac. gálico/g de producto fresco). Mercado *et al.*, (2012) reportan un valor de capacidad antioxidante de 1.073 mMT/100g de producto seco para epazote, valor diferente al obtenido en este trabajo y un valor para fenoles totales de 943-1480 mg ac. gálico/g de producto fresco, diferente valor al obtenido en esta investigación (15.85 mg ac. gálico/g de producto fresco).

Lo anterior se atribuye a que tanto fenoles como capacidad antioxidante son propios de cada hortaliza, de acuerdo a sus características fisiológicas y químicas.

La verdolaga presentó una carga inicial de coliformes totales de 5.37 ± 0.06 log UFC/g; mesófilos aerobios 6.03 ± 0.01 log UFC/g y mohos y levaduras 5.46 ± 0.00 log UFC/g. El epazote también mostró tener presencia inicial de coliformes totales de 6.52 ± 0.01 log UFC/g, mesófilos aerobios de 6.73 ± 0.03 log UFC/g y mohos y levaduras 6.59 ± 0.01 log UFC/g, lo cual resulta ser un reto para la efectividad en la etapa de desinfección al ser sometidos al proceso de elaboración de un PMP.



La calidad microbiológica en los PMP es un aspecto particularmente crítico debido a que la exposición de la superficie de corte, favorece la contaminación con bacterias, hongos y levaduras. El daño en los tejidos, con la consecuente disponibilidad de nutrientes, provee condiciones favorables para el desarrollo de patógenos (Rodríguez *et al.*, 2006).

Actualmente en México no hay una norma que regule los límites permitidos para este tipo de productos. Sin embargo, de acuerdo a las normas de la Unión Europea, los límites de tolerancia permitidos para productos mínimamente procesados en el día de su producción son 2 log UFC/g (Vázquez, 2013). Límites que, para la verdolaga y el epazote no cumplen en su caracterización debido a que, el agua utilizada para el sistema de riego no es potable por lo que las cargas microbianas superan estos límites permitidos por la Unión Europea.

5.2. Efecto de diferentes métodos de desinfección en verdolaga y epazote mínimamente procesados

5.2.1. Evaluación de parámetros físicos

Las operaciones unitarias de proceso así como la manipulación del producto procesado previo al envasado y almacenamiento, influyen significativamente en los distintos mecanismos de alteración al provocar cambios fisiológicos, desencadenando estos en procesos físicos y bioquímicos. Los cambios fisiológicos van acompañados de un aumento en la velocidad de respiración y producción de etileno, una pérdida de color, sabor y vitaminas, acelerándose también los procesos de oscurecimiento y ablandamiento del tejido, con la consecuente pérdida de calidad y reducción de la vida de anaquel (Alzamora-Guerrero *et al.*, 2004).

5.2.1.1. Evaluación de la variación de color

El aspecto visual es uno de los factores principales utilizados por el consumidor al momento de comprar un producto; y el color es una parte importante de este, que además se utiliza en muchos estándares de clasificación como criterio de calidad, factor por el cual el consumidor determine su consumo o no (Pereira y León, 2012).



Resultados y discusión

En el caso de productos hortofrutícolas el color depende de la presencia de pigmentos, tales como carotenoides, antocianinas, clorofilas y compuestos fenólicos, los cuales pueden cambiar durante el procesamiento y almacenamiento. Cuando el deterioro del color es visualmente extenso el producto resulta inaceptable, por lo que industrialmente, el color puede ser una característica determinante para el éxito comercial de innumerables productos.

La medición del color se ve afectada por muchos factores tales como: la luminación, el observador, la naturaleza y características de la propia superficie (tamaño de la muestra, su textura y brillo) (Contreras, 2006). En la Figura 10-A se muestra la variación de color en verdolaga (A) mínimamente procesada en donde es posible observar que hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al cambio de color entre tratamientos, donde el tratamiento O_3 + Ultrasonido mostró tener un 75.20% más de variación de color con respecto a tratamiento O_3 + Químico, 53% más que tratamiento O_3 + UV-C y 26.60% O_3 + Ozono, dicho efecto se atribuye a que en el tratamiento de O_3 + Ultrasonido la hortaliza libera pigmentos al sufrir un estrés por las vibraciones del tratamiento. Con respecto al tiempo solo se muestra efecto significativo ($p \leq 0.05$) a los 15 minutos en cada tratamiento.

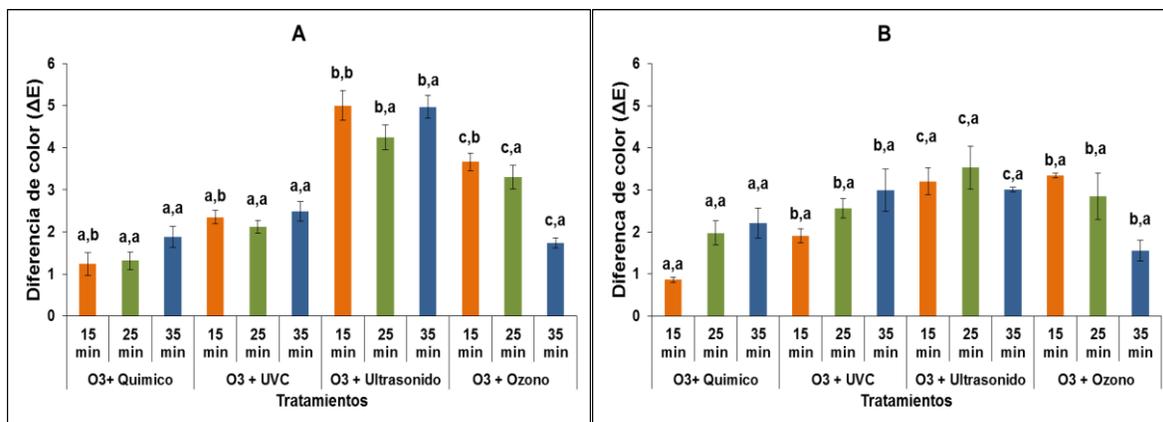


Figura 10. Evaluación de la variación de color en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.



En epazote (Figura 10-B) ocurre el mismo efecto, puesto que hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al cambio de color entre tratamientos, donde el tratamiento O_3 + Ultrasonido mostró tener un 43.9% más de variación de color con respecto a tratamiento O_3 + Químico, 27.48% más que tratamiento O_3 + UV-C y 19.55% O_3 + Ozono, así mismo dicho efecto se atribuye a que en el tratamiento de O_3 + Ultrasonido la hortaliza libera pigmentos al sufrir un estrés por las vibraciones del tratamiento. Con respecto al tiempo tampoco mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) a los 15 minutos en cada tratamiento.

El color más la apariencia da como resultado la apreciación y por tanto una aceptación o un rechazo del consumidor. Aunque estadísticamente muestra diferencia significativa entre tratamientos, la apariencia física resultaría ser aceptable para el consumidor.

5.2.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

Las hortalizas y frutas poseen un valor nutricional importante pues, aportan, vitaminas, antioxidantes, fibra dietética, minerales y otras sustancias bioactivas. Asimismo, proporcionan proteínas y carbohidratos. Estos generadores de salud y efectos nutricionales reducen el peligro de cuantiosas enfermedades y optimizan el bienestar humano. Por lo tanto, los consumidores se preocupan por la calidad de los alimentos que se ofrecen en el mercado, se denota una tendencia en busca de productos saludables y que no representen riesgos para la salud, y que además de esto ofrezcan una mayor frescura a la hora del consumo (Millán *et al.*, 2015).

5.2.2.1. Evaluación de la variación de pH

Los alimentos son llamados ácidos cuando sus valores de pH son menores a 7, los alimentos no ácidos son aquellos que tienen rangos de pH mayores (Martínez, 2011).

En la Figura 11-A se observa que la aplicación de los tratamientos de desinfección sobre la verdolaga provocó un cambio significativo ($p \leq 0.05$) en cuanto al valor de pH obteniendo valores en un intervalo de (5.91-5.65), es decir éste ha disminuido con respecto al control, en O_3 + UV-C y O_3 + Químico mostraron tener una disminución de 5.59%, para el tratamiento O_3 + Ultrasonido un valor de 7.19% y 9.74% en O_3 + Ozono.



Resultados y discusión

El cambio de pH se atribuye al tiempo de residencia de la hortaliza durante la desinfección. Cabe mencionar que los tratamientos sometidos a un tiempo de 15 min mostraron tener un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en comparación a los otros tiempos evaluados.

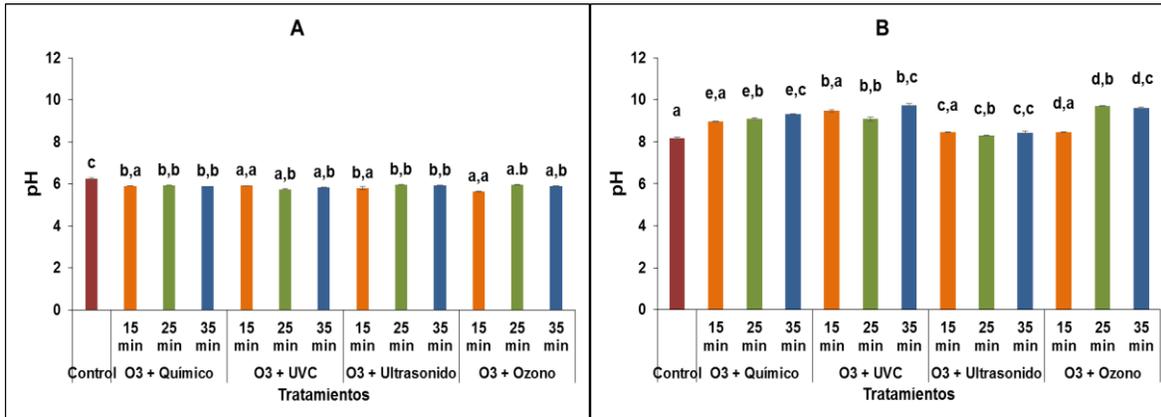


Figura 11. Evaluación de la variación de pH en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.

Con respecto a epazote (Figura 11-B) los tratamientos de desinfección tuvieron un efecto significativo en el cambio de pH, así como el tiempo al que fue sometido cada tratamiento presentando valores en el intervalo de (8.46-9.47) a 15 minutos, (8.29-9.7) a 25 min y (8.42-9.75) a 35 min efecto atribuido al estrés de los tratamientos y el tiempo de residencia de los mismos.

La calidad de la verdolaga y epazote se ve afectada debido a que la radiación UV-C genera daños en el ADN y en el tejido de las hojas como lo menciona (Maharaj *et al.*, 1999; Allende y Artés, 2003; Yaun *et al.*, 2004), ya que en los resultados obtenidos se denota un cambio en los valores de pH y acidez para cada método de desinfección estudiado.

La ozonólisis produce disociación de la molécula de agua en grupos $\text{O}^{\cdot-}$ y H^+ , liberando iones hidrogeniones al medio lo cual hace que disminuya el pH (Koda *et al.*, 1999).



5.2.2.2. Evaluación de la variación de acidez

Los vegetales contienen pequeñas cantidades de ácidos orgánicos que actúan como intermediarios metabólicos que pueden acumularse en forma de vacuolas. La acumulación de ácidos orgánicos imparte un sabor ácido o agrio. Los ácidos predominantes en frutas y hortalizas son el ácido cítrico, ácido málico y ácido tartárico. La acidez total disminuye en la mayoría de las frutas y hortalizas durante la maduración, aunque algunos ácidos concretos pueden aumentar (Fennema, 1995). En el caso de la verdolaga mínimamente procesada se observa (Figura 12-A) que todos los tratamientos mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto al aumento de los valores de acidez es decir, el tratamiento de O_3 + Ultrasonido provocó un aumento de 33.93%, O_3 + UV-C 55.99%, O_3 + Ozono 155.99 % y O_3 + Químico 17.92% más comparada con la verdolaga control, todos a 35 minutos puesto que este tiempo fue el único en mostrar un efecto significativo; mientras que O_3 + UV-C no mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

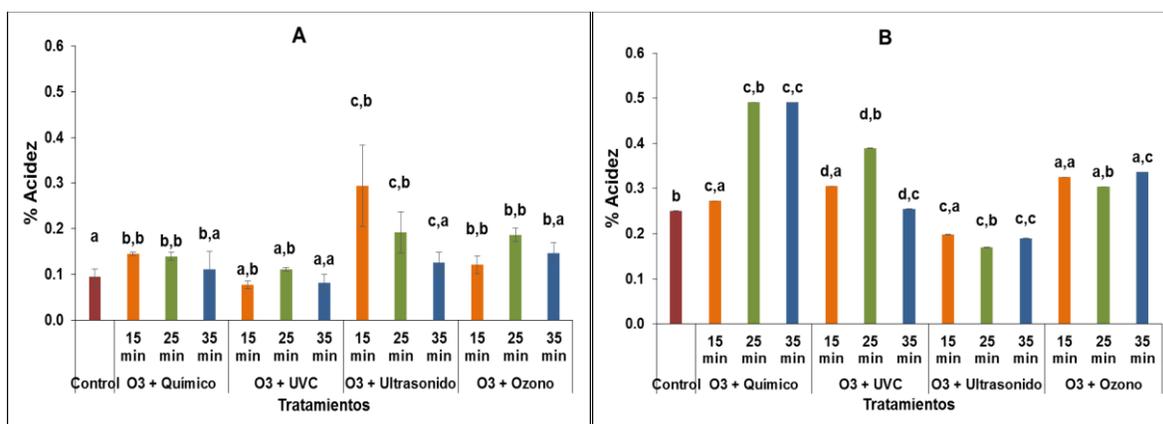


Figura 12. Evaluación de la variación de acidez en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.



En la Figura 12-B se puede observar que todos los tratamientos tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre el valor de acidez para el epazote. El tratamiento O_3 + Ultrasonido provocó una disminución de 24.30% mientras que en el resto de los tratamientos el valor de acidez aumentó, es decir O_3 + Ozono aumentó 34.45 %, en O_3 + UV-C 1.71% y en O_3 + Químico 96.04%.

Resultados que no concuerdan con Boonkorn *et al.*, (2012) quien reporta que el ozono como desinfectante es un método de desinfección que no afecta la acidez titulable de los productos, debido a que son compuestos que no se ven afectados de manera directa por el ozono o sus subproductos. Así mismo concuerda con Pan *et al.*, (2004) quienes reportan que la aplicación de UV-C no afecta de manera significativa la acidez titulable de frutos y vegetales. El cambio en acidez también se le atribuye a los prolongados tiempos de operación y/o métodos de desinfección aplicados.

5.2.3 Evaluación de parámetros químicos

5.2.3.1. Evaluación de la presencia de concentración de fenoles totales

La variación de compuestos fenólicos en hortalizas irradiadas puede estar dado debido a la síntesis de la enzima fenilalanina que da lugar a la formación de fenoles, fitoalexinas y ligninas con capacidad antifúngica (Ryalls *et al.*, 1996).

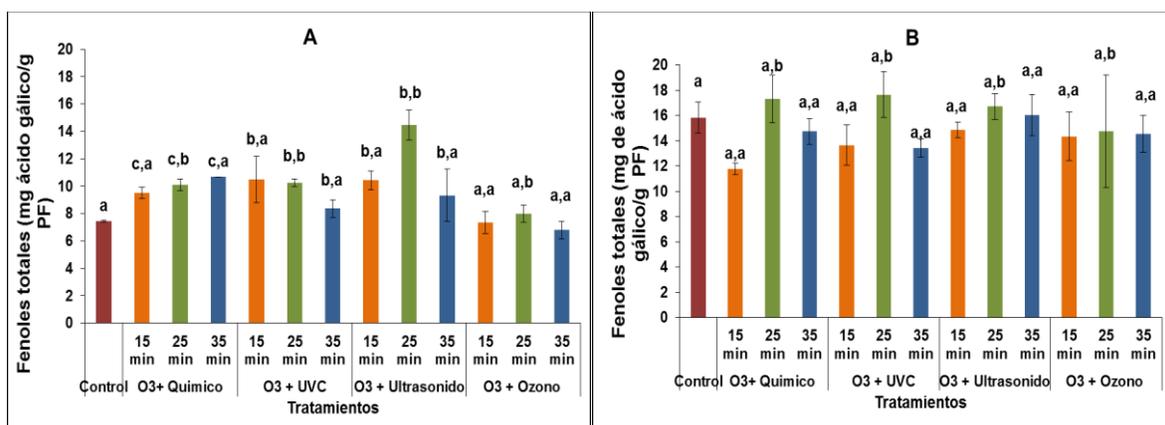


Figura 13. Evaluación de la variación de la presencia de la concentración de fenoles totales en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.



En la Figura 13-A se muestran los resultados obtenidos de fenoles totales en verdolaga, en donde se observa que existe efecto significativo ($p \leq 0.05$) con respecto al control en todos los métodos de desinfección aplicados, es decir, O_3 + Ultrasonido aumento un 95.32%, O_3 + Ozono 7.49 %, O_3 + Químico 36.14%, O_3 + UV-C 37.83% todos ellos con respecto al tiempo de 25 minutos de aplicación, puesto que fue el tiempo con efecto significativo en todos los casos.

La cantidad de compuestos fenólicos en verdolaga aumentó en cada uno de los tratamientos en comparación con la control debido a que tal como lo reporta Zapata *et al.*, (2014), cuando una hortaliza es sometida a operaciones de procesamiento (lavado, desinfección, cortado etc.) esta tiende a aumentar sus compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en respuesta al estrés que se le ha generado.

Mientras que en el epazote (Figura 13-B) se observa que todos los tratamientos tuvieron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con el control solo en el tiempo de 25 minutos en todos los métodos de desinfección aplicados, es decir, O_3 + Ultrasonido aumentó un 5.49%, O_3 + Químico 9.15%, O_3 + UV-C 11.48%, mientras que O_3 + Ozono disminuyó 8.20%.

Dicho efecto puede llegar a presentar mejoras en la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amonía-liasa, que induce la formación de compuestos fenólicos que llega a producir efectos tóxicos para ellos (Domínguez y Parzanese, 2011).

Las operaciones unitarias que generan estrés provocan un efecto diferente en cada hortaliza, de acuerdo a sus características fisiológicas, tal como lo reporta Alonso *et al.*, (2004).

5.2.3.2. Evaluación de la presencia de concentración de capacidad antioxidante

Dentro de los compuestos antioxidantes más importantes presentes en los vegetales se encuentra el grupo conformado por los carotenoides y los fenoles, especialmente los flavonoides y los antocianos, los cuales muestran una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, atribuyéndoseles a su vez un efecto beneficioso en la



Resultados y discusión

prevención de enfermedades tales como: cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Robles *et al.*, 2007).

En verdolaga (Figura 14-A) todos los tratamientos mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto a los valores de capacidad antioxidante, con excepción de ultrasonido, es decir O_3 + Químico ha disminuido 15.05%, O_3 + UV-C 28.04%, O_3 + Ozono y 9.89 % O_3 + Ultrasonido todo esto en el tiempo de 15 minutos puesto que este fue el único en mostrar un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en comparación de los otros dos tiempos de 25 y 35 minutos.

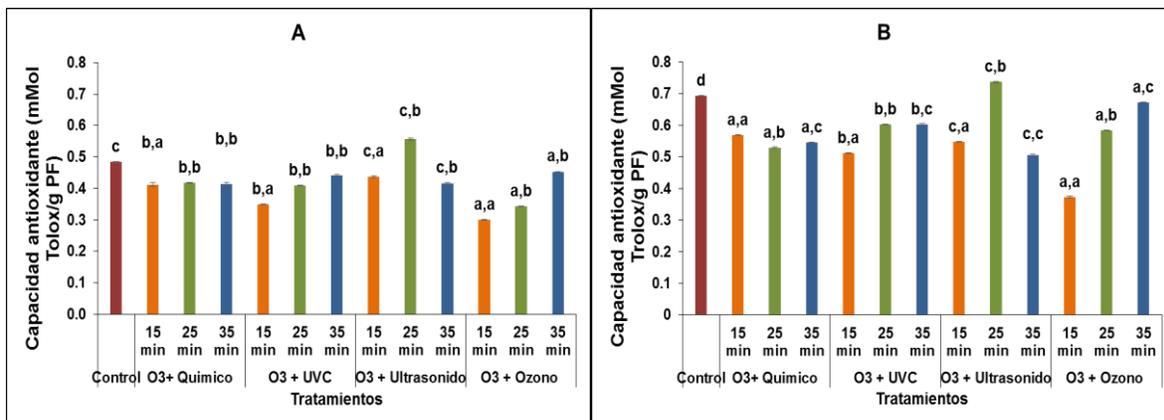


Figura 14. Evaluación de la variación de la presencia de capacidad antioxidante en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.

En epazote (Figura 14-B) todos los tratamientos tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) respecto al control, causando una disminución en la capacidad antioxidante, O_3 + Químico disminuyó en un intervalo de 17.89 - 21.21 %, O_3 + UV-C de 13.13-26.26%, O_3 + Ozono de 2.88-46.17% y O_3 + Ultrasonido de 6.34-26.98% intervalos con respecto a los tiempos de 15, 25 y 35 minutos, los cuales mostraron diferencias significativas.

Resultados que coinciden con Lemoine *et al.*, (2010) quienes han observado que la exposición de vegetales a radiación UV-C puede incrementar la concentración de ésta, pues se observó que tanto los compuestos fenólicos, como la capacidad antioxidante se incrementaron con el tratamiento.



La irradiación UV-C también actúa de manera indirecta al inducir mecanismos de resistencia por acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliamidas (Erkan y Wang, 2001).

La radiación UV-C además de poseer un efecto germicida, también puede alterar algunas de las propiedades como, la actividad y los compuestos antioxidantes y el contenido de terpenos de algunos alimentos (Carrasco, 2009).

La variación de capacidad antioxidante con respecto al resto de los tratamientos se atribuye a que de igual manera que los compuestos fenólicos, tienden a cambiar al someter a operaciones de estrés la hortaliza esto dependiendo a sus características fisiológicas. Ramírez *et al.*, (2004) reportó en un estudio realizado que al someter Brócoli a condiciones de estrés este tiende a disminuir su capacidad antioxidante, mientras que en acelga y repollo aumentó.

5.2.3.3. Evaluación de la presencia de clorofila total

La clorofila, es el pigmento responsable del característico color verde de frutas y verduras, es altamente susceptible a la degradación durante el procesamiento, lo que resulta en cambios de color en los alimentos. Uno de los parámetros más importantes en la calidad de un alimento es su color, está relacionado con la presencia de pigmentos en los tejidos, la clorofila es uno de ellos (Breinholt *et al.*, 1995).

Como se puede denotar en la Figura 15-A en la verdolaga mínimamente procesada se observa que ninguno de los tratamientos de desinfección tuvo efecto significativo ($p \geq 0.05$) en el contenido de clorofila ni por tiempo de aplicación.

El incremento de clorofilas encontrados, puede responder al aumento en la producción de metabolitos secundarios que permiten disminuir la penetración de radiación UV, y proteger a las proteínas asociadas al aparato fotosintético, evitando la degradación de sus pigmentos e incluso aumentar su síntesis (Jansen *et al.*, 1998).

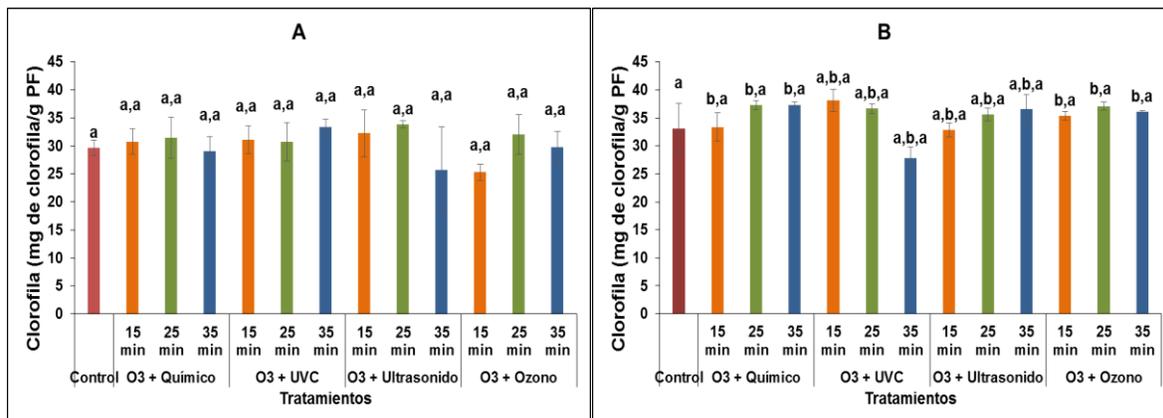


Figura 15. Evaluación de la variación de la presencia de clorofila en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.

Mientras que en el caso del epazote (Figura 15-B) se observa que hubo efecto significativo ($p \leq 0.05$) solo en O₃ + Químico aumentó 0.89% y O₃ + Ozono aumento 6.92% con respecto al epazote control, el tiempo no mostro tener diferencia significativa.

Resultados que no concuerdan con lo reportado por Jansen *et al.*, (1998); quienes mencionan que tratamientos como lo son el UV-C provocan un incremento en el contenido de clorofila, el cual puede responder al aumento en la producción de metabolitos secundarios que permiten disminuir la penetración de radiación UV-B, y proteger a las proteínas asociadas al aparato fotosintético, evitando la degradación sus pigmentos e incluso aumentar su síntesis.

5.2.4. Evaluación de parámetros microbiológicos

La actividad microbiana es la principal causa de deterioro de los alimentos mínimamente procesados y, en la mayoría de los casos, es la responsable de la pérdida de calidad y salubridad (Márquez y Pretell, 2013).

El medio ambiente (suelo, agua, aire) está lleno de microorganismos que de forma natural llegan al producto vegetal y que son parte de su microflora normal, muy pocos de ellos representan un riesgo para la salud, la verdadera contaminación ocurre



cuando estos tienen contacto directo con contaminación fecal o industrial o por contaminación cruzada del personal, insectos o roedores (Buenas Prácticas Agrícolas para Frutas y Hortalizas Frescas, 2002).

5.2.4.1. Evaluación de la variación de coliformes totales

Los coliformes totales son considerados como un indicador de calidad higiénica de los alimentos, ya que un elevado nivel de contaminación por coliformes, son a causa de inadecuadas prácticas de manufactura respecto a la manipulación durante la preparación (Campuzano *et al.*, 2015).

En la Figura 16-A se observa diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en cuanto a la disminución de 1.33 unidades logarítmicas de coliformes totales en verdolaga con el tratamiento de $O_3 + UV-C$ comparado con verdolaga control (sin tratamiento de desinfección). El tratamiento $O_3 + Ozono$ mostró ser el que disminuyó menor cantidad de unidades logarítmicas de 0.32 sin diferencia significativa con respecto al control ($p \leq 0.05$), esto en el tiempo de desinfección de 15 minutos, puesto que los diferentes tiempos de aplicación no mostraron tener un efecto significativo ($p \leq 0.05$).

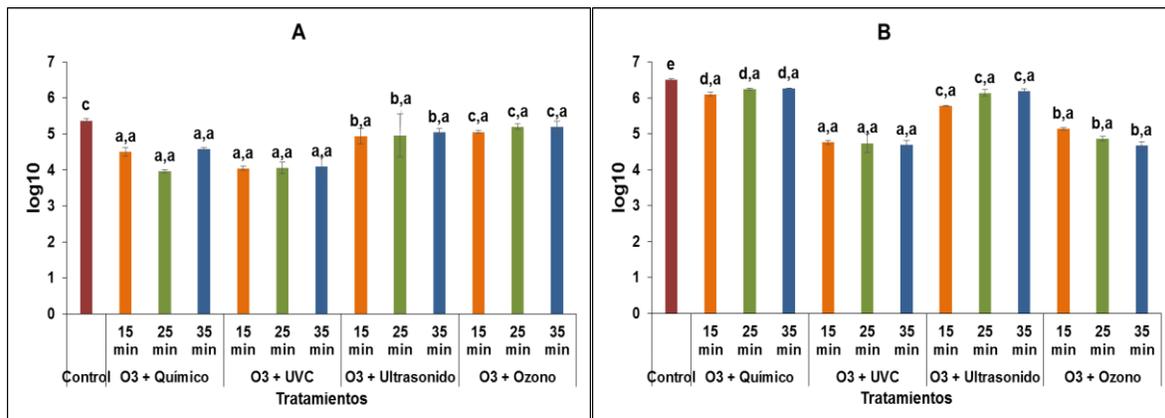


Figura 16. Evaluación de la variación de la presencia de coliformes totales en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.



En el caso de epazote mínimamente procesado (Figura 16-B) se observa que todos los tratamientos tuvieron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), resaltando que el tratamiento $O_3 + UV-C$ mostró ser el método de desinfección más eficiente en cuanto a la reducción mayor de 1.75 unidades logarítmicas en comparación con epazote control. Por otro lado $O_3 + Químico$ resultó ser el que disminuyó la menor cantidad de unidades logarítmicas de 0.41 con respecto al control ($p \geq 0.05$), esto en el tiempo de desinfección de 15 minutos, puesto que los diferentes tiempos de aplicación no mostraron tener efecto significativo ($p \geq 0.05$).

5.2.4.2. Evaluación de la variación de mesófilos aerobios

En este grupo se incluyen todas las bacterias capaces de desarrollarse a $35^\circ C \pm 2^\circ C$ en las condiciones establecidas. En este recuento se estima la microflora total sin especificar tipos de microorganismos, refleja la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima (Campuzano *et al.*, 2015). En la Figura 17-A se observa la evaluación de la presencia de mesófilos aerobios en verdolaga mínimamente procesada, donde se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en cuanto a la disminución de unidades logarítmicas en todos los tratamientos aplicados con excepción de $O_3 + Ozono$. El tratamiento de $O_3 + UV-C$ comparado con verdolaga control (sin tratamiento de desinfección) disminuyó 2.13 unidades logarítmicas, mientras que $O_3 + Ozono$ solamente la reducción 0.25 unidades logarítmicas esto en el tiempo de desinfección de 35 minutos, puesto solo este tiempo tuvo diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

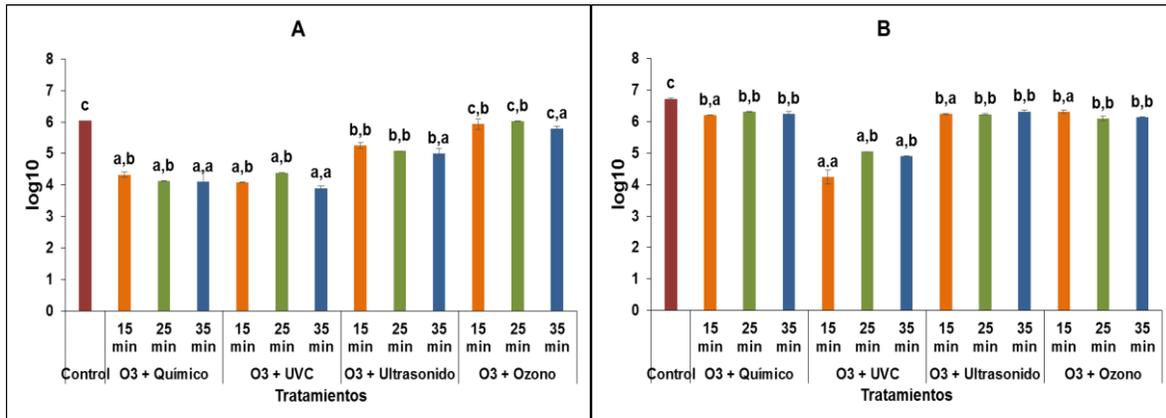


Figura 17. Evaluación de la variación de la presencia de mesófilos aerobios en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.

En epazote mínimamente procesado (Figura 17-B) se observa que todos los tratamientos tuvieron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), resaltando O₃ + Ozono, O₃ + Químico y O₃ + Ultrasonido no tuvieron diferencia significativa entre sí con un intervalo de disminución de 0.53–0.42 unidades logarítmicas, mientras que O₃ + UV-C mostró ser el método de desinfección más eficiente en cuanto a la reducción mayor de 2.49 unidades logarítmicas en comparación con epazote control esto en el tiempo de desinfección de 15 minutos, puesto que este tiempo mostró diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

5.2.4.3. Evaluación de la variación de mohos y levaduras

Estos microorganismos se pueden encontrar ampliamente distribuidos en la naturaleza, formando parte de la flora normal de un alimento o como agentes contaminantes de estos. Un pequeño porcentaje de levaduras aproximadamente un 25% pueden alterar los alimentos causando su deterioro debido a la utilización de carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos, originando un mal olor, alterando el sabor y color en la superficie de los productos contaminados, además de que permiten el crecimiento de bacterias patógenas (Campuzano *et al.*, 2015).



Resultados y discusión

En la Figura 18-A se observa la evaluación de la presencia de mohos y levaduras en verdolaga mínimamente procesada, donde se muestra diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en cuanto a la disminución de unidades logarítmicas los tratamientos O_3 + Químico con un valor de 1.43 y O_3 + UV-C de 1.41 comparado con verdolaga control (sin tratamiento de desinfección) esto en el tiempo de 15 minutos, ya que ninguno de los tiempos de aplicación mostró diferencia significativa ($p \geq 0.05$). Por otra parte los tratamientos O_3 + Ultrasonido y O_3 + Ozono no mostraron diferencia significativa en comparación a verdolaga control.

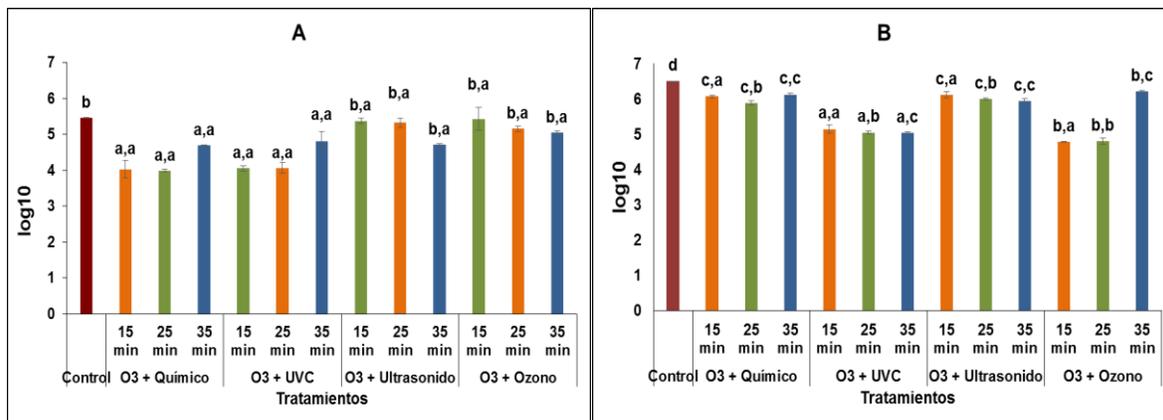


Figura 18. Evaluación de la variación de la presencia de mohos y levaduras en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados con la aplicación de diferentes métodos de desinfección. Las letras minúsculas diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La primera letra corresponde a los tratamientos y la segunda corresponde a los tiempos. Las barras verticales representan la desviación estándar.

En epazote mínimamente procesado (Figura 18-B) se observa que todos los tratamientos tuvieron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), resaltando que O_3 + Ozono disminuyó la mayor cantidad de unidades logarítmicas, es decir 1.8, mientras que O_3 +Ultrasonido no fue el que menor efecto tuvo con un valor de 0.47, mientras que O_3 + UV-C tuvo una reducción de 1.44 unidades, estos valores a 15 minutos, ya que los tiempos de aplicación (15, 25 y 35 min) tuvieron diferencia significativa en todos los tratamientos ($p \leq 0.05$).



A partir de los análisis de resultados obtenidos con respecto coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras para verdolaga y epazote el tratamiento de desinfección que mostró tener un efecto mayor en cuanto a la disminución de unidades logarítmicas de dichos microorganismos es O₃+UV-C, Tal como lo muestra la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros microbiológicos de los diferentes métodos de desinfección aplicados en verdolaga y epazote mínimamente procesados con respecto al control en el tiempo mínimo de desinfección a 15 minutos.

Verdolaga				
Microorganismo [log UFC g⁻¹]	O₃ + Químico	O₃ + UV-C	O₃ + Ultrasonido	O₃ + Ozono
Coliformes Totales	0.87	1.33	0.44	0.32
Mesófilos Aerobios	1.93	2.13	1.04	0.25
Mohos y Levaduras	1.43	1.41	0.08	0.03
Epazote				
	O₃ + Químico	O₃ + UV-C	O₃ + Ultrasonido	O₃ + Ozono
Coliformes Totales	0.41	1.75	0.74	1.38
Mesófilos Aerobios	0.53	2.49	0.49	0.42
Mohos y Levaduras	0.52	1.44	0.47	1.8

Resultados que concuerdan con (Manzocco *et al.*, 2011) quienes afirman que se logró aumentar la resistencia al deterioro microbiano, mediante la reducción de 1 a 2 ciclos logarítmicos en hortalizas al aplicar UV-C; sin embargo, al aumentar el tiempo de exposición y por ende la dosis de radiación, encontraron una menor reducción, ya que los microorganismos desarrollaron resistencia.

Dicho efecto se le atribuye a que la radiación UV-C afecta el ADN de los microorganismos, causando mutaciones mediante la separación de la doble hélice, evitando de esta manera su reproducción (Gardner y Shama, 2000).



Deduciendo así que es el mejor método de desinfección, ya que disminuyó valores cercanos dos escalas logarítmicas su carga microbiana de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos y levaduras.

El componente UV de la luz solar es la causa principal de muerte de microorganismos en el ambiente exterior, donde la velocidad de mortalidad varía entre patógenos, dosis aplicadas y tiempos de exposición; el tiempo puede variar de unos segundos a minutos para producir la muerte de 90 a 99 % de virus o bacterias. Algunas bacterias ambientales y esporas suelen ser más resistentes y sobrevivir a exposiciones mayores. (Maharaj *et al.*, 1999; Allende y Artés, 2003a; Yaun *et al.*, 2004).

Estos datos no solo confirman la eficacia de desinfección con tratamientos de luz UV-C, sino que también indican la capacidad de promover una mayor estabilidad microbiana durante el almacenamiento, lo que lleva un vida útil más larga. En este sentido, algunos países europeos han adoptado criterios microbiológicos específicos. En particular, España, Francia y Alemania han establecido 7 log UFC/g en forma de un límite máximo para el recuento de mesófilos aerobios en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Manzocco *et al.*, 2011).

5.3 Evaluación del efecto de la combinación de los métodos de desinfección de la verdolaga y epazote mínimamente procesados con diferentes envases sobre los diferentes parámetros

5.3.1 Evaluación de pérdida de peso

La vida de anaquel de los productos agrícolas puede verse afectada por varios factores entre los que están la transpiración, marchitamiento, sobre-maduración, problemas fisiológicos indeseables, problemas metabólicos que provoquen un cambio indeseable en la composición, daños por frío, daños mecánicos y patógenos. Dentro de estos, la transpiración o pérdida de agua de un producto fresco, es una de las principales causas de reducción de la vida de anaquel. Una vez separado de la planta madre, se corta el suministro de agua y el producto mantiene su calidad y apariencia con las reservas de agua que tenga al momento de la cosecha (Yehoshua y Rodov, 2003).



Resultados y discusión

En la Figura 19-A se observa el porcentaje de pérdida de peso en verdolaga con envase PET y PS durante su almacenamiento a 4°C en donde se muestra que no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en ninguno de los dos productos envasados, el % de pérdida de peso a lo largo del almacenamiento mostró tener un aumento, con un 3.08% en las verdolagas en PET y 4.27% envasadas en PS. Cabe resaltar que la hortaliza en envase PS mostró un 49.33% de pérdida de peso menor que la envasada en PET hasta el día 7.

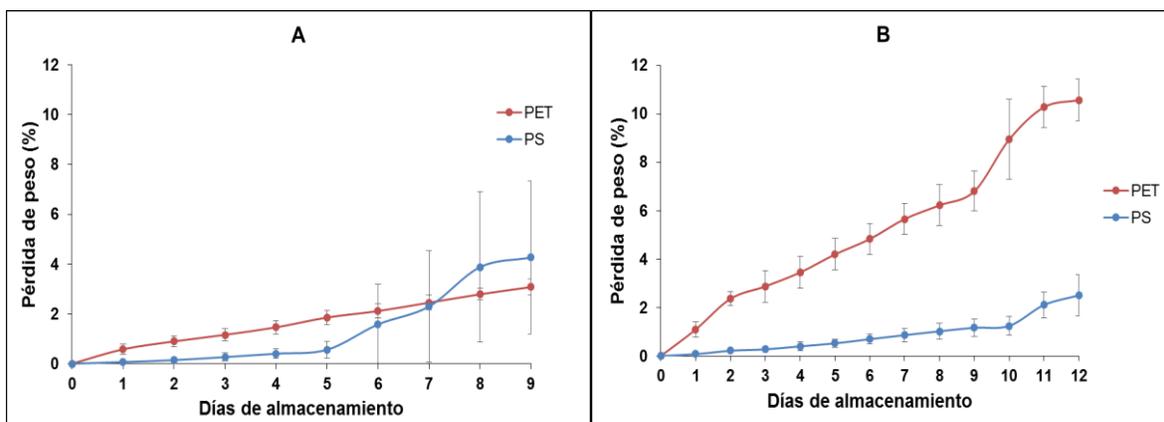


Figura 19. Evaluación de la pérdida de peso en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesado envasados en PET y PS a 4°C durante 9 y 12 días.

En verdolaga no se mantuvo una vida útil de 12 días, alcanzando solo 9 días; lo cual se atribuye a lo reportado por Martin *et al.*, (2006), quienes afirman que a mayor transpiración y respiración, menor tiempo de vida útil de los productos hortofrutícolas.

En el caso de epazote (Figura 19-B) tanto el envasado en PET como el de PS mostraron tener diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al % de pérdida de peso a lo largo de su almacenamiento, observando que en la hortaliza en PET se perdió un 10.57%; mientras que en PS 2.50%, durante 12 días de su almacenamiento.

El comportamiento de % de pérdida de peso en ambas hortalizas se atribuye a lo reportado por la FAO (2012), argumenta que las hortalizas de hoja pierden agua como vapor a través de orificios naturales y áreas dañadas de la superficie. Los orificios naturales incluyen los estomas, que son aberturas muy pequeñas en la piel (epidermis), son los mismos poros a través de los cuales se intercambian otros gases como oxígeno y dióxido de carbono y a través de ellos pierden la mayor parte del agua.



Otra vía natural de pérdida de agua es el tallo, mientras mayor es la superficie expuesta por unidad de volumen más rápida es la tasa de pérdida de agua.

La diferencia en % de pérdida de peso obtenida en cuanto a los envases utilizados depende de factores intrínsecos que afectan la permeabilidad del propio polímero como lo es la estructura química del polímero, el volumen libre, cristalinidad y orientación molecular, así también como propiedades externas como la composición del alimento, la temperatura y la humedad relativa a la que se somete (Huanchi, 2013).

Los resultados obtenidos de % de pérdida de peso en verdolaga y epazote mínimamente procesados son mayores a lo reportado por Piagentini (1999) quien menciona que a los 7 días de almacenamiento el % de pérdida de peso para espinaca mínimamente procesada fue de 0.13% y 0.24% a 14 días.

5.3.2 Evaluación de parámetros químicos

Conforme transcurre el tiempo la calidad microbiológica disminuye, de forma vertiginosa llegando hasta un punto, donde el producto no sea apto para el consumo. Diferentes tipos de pruebas pueden usarse individualmente o de manera combinada para medir la evolución de los alimentos. Como son diferentes análisis químicos (Santos *et al.*, 2009).

5.3.2.1. Evaluación de la concentración de fenoles totales

Causas de estrés como la luz, la temperatura y lesiones, afecta a la fisiología de los productos frescos por desencadenar respuestas que podrían inducir a la acumulación de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios (Kays, 1997).

En la Figura 20-A se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la degradación de la concentración de fenoles totales en verdolaga mínimamente procesada, donde se observa que tanto envasada en PET como en envases de PS; la concentración de fenoles disminuye a lo largo del almacenamiento, sin tener diferencia significativa entre cada envase, es decir envase de PET disminuyó un 3.63% y PS 0.16 % hasta los tres días de almacenamiento, y al final del almacenamiento hubo una pérdida de fenoles totales de 38.58% envasada en PET y 57.98% en PS con respecto al valor inicial.

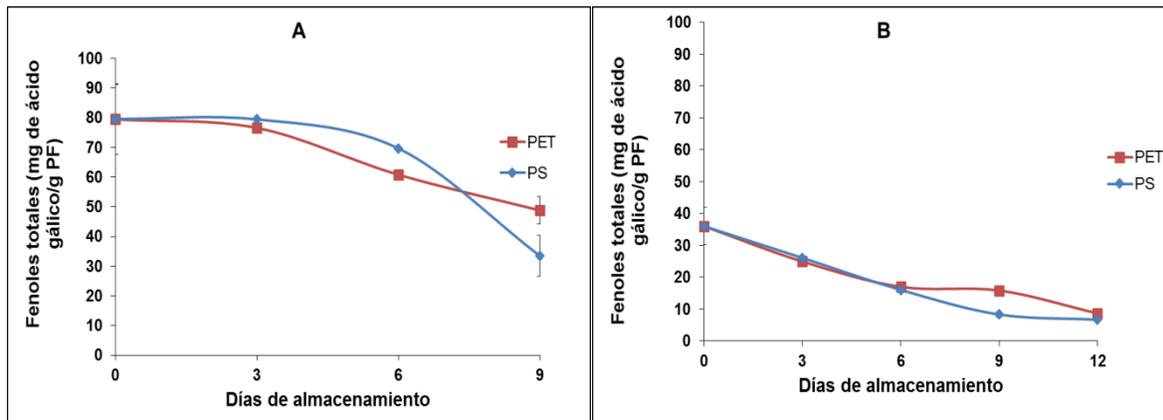


Figura 20. Evaluación de la degradación de la presencia de la concentración de fenoles totales en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesado envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.

En el epazote mínimamente procesado (Figura 20-B) de igual manera es posible observar disminución del contenido de fenoles totales a lo largo del almacenamiento, así mismo ambos lotes envasados mostraron no tener diferencia significativa entre ellos, puesto que el epazote en envase de PET disminuyó un 30.79% y PS 27.60 % hasta los tres días de almacenamiento, y al final del almacenamiento hubo una pérdida de fenoles totales de 76.03% en PET y 81.56% en PS con respecto al valor inicial.

El porcentaje de pérdida de fenoles totales en los primeros tres días con respecto a epazote son valores cercanos a lo reportado por Ruiz *et al.*, (2010) quien menciona que a los dos días de almacenamiento de repollo mínimamente procesado disminuyó un 26% y posteriormente el contenido de fenoles permaneció prácticamente constantes hasta el final de su conservación, caso contrario a lo obtenido en este estudio para verdolaga y epazote mínimamente procesados.

Por otra parte la tendencia de disminución de fenoles totales en ambas hortalizas a lo largo de su almacenamiento son resultados que no concuerdan con Pinheiro (2014) quienes reportan que en tomate mínimamente procesado irradiado con UV-C muestra un aumento de fenoles totales a partir del sexto día de almacenamiento.



5.3.2.2. Evaluación de la concentración de capacidad antioxidante

La FDA (Food and Drug Administration - USA) ha definido a los antioxidantes como sustancias usadas para conservar a los alimentos, retardando la rancidez deteriorante o decoloración debida a la oxidación. En vegetales mínimamente procesados existen numerosos tipos de reacciones oxidativas (Dziezak, 1986).

En la Figura 21-A se observa la degradación de la capacidad antioxidante en verdolaga a lo largo de su almacenamiento tanto envasada en PET como en PS mostraron una disminución de capacidad antioxidante a lo largo de su almacenamiento, sin haber diferencia significativa entre ellos, puesto que en el primer envase disminuyó un 48.48% y en PS 54.54% hasta el día 12 de su almacenamiento.

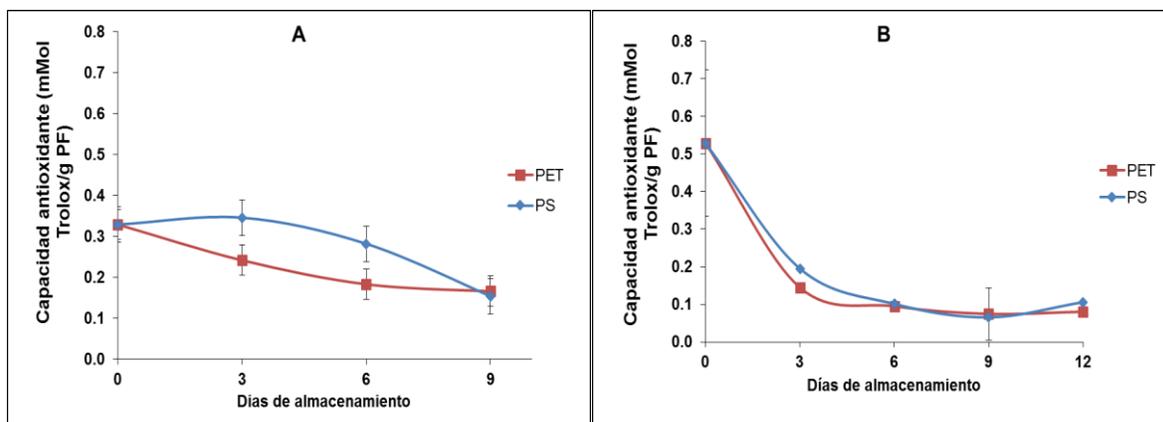


Figura 21. Cambio de concentración de capacidad antioxidante en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesado envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.

En epazote (Figura 21-B) la tendencia muestra ser la misma que para verdolaga para ambos envases, puesto que en el envase de PET disminuyó un 84.90% y en envase de PS 79.24% hasta el día 12 de su almacenamiento.

Lemoine *et al.*, (2010) observaron que la exposición de vegetales a radiación UV-C puede incrementar la concentración de la capacidad antioxidante, dato que no concuerda con lo obtenido en el presente estudio ya que tanto en verdolaga como en epazote el contenido de capacidad antioxidante disminuyó a lo largo de su almacenamiento.



Así mismo Yoplac *et al.*, (2013), reportaron que la radiación UV-C con atmósferas modificadas reduce la producción de etileno, incrementa la concentración de glucosa, y mantiene el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante de las hojas de rúcula mínimamente procesadas conservadas a 5 °C durante 10 días.

La disminución de capacidad antioxidante en ambas hortalizas estudiadas puede atribuirse a que el contenido y estabilidad de estos compuestos depende del cultivar o de la variedad utilizada, condiciones ambientales de cultivo, estado de maduración y tratamientos post-cosecha como son escaldado, cortado, empackado y refrigeración (Luna y Delgado, 2014).

5.3.3.3. Evaluación de la concentración de clorofila total

Son pigmentos responsables del color verde característico de las hortalizas de hojas, altamente susceptibles a la degradación durante el procesamiento, lo que provoca cambios de color en los alimentos (Schwartz y Von Elba, 1983)

Uno de los parámetros más importantes en la calidad de un alimento es su color, está relacionado con la presencia de pigmentos en los tejidos, la clorofila es uno de ellos (Breinholt *et al.*, 1995).

La Figura 22-A muestra la degradación de la clorofila en verdolaga mínimamente procesada en donde se observa que se mantuvo casi constante durante su almacenamiento tanto para la hortaliza envasada en PET como para PS con una disminución de 21.44% en PET y 14.68 % en PS con respecto al valor inicial.

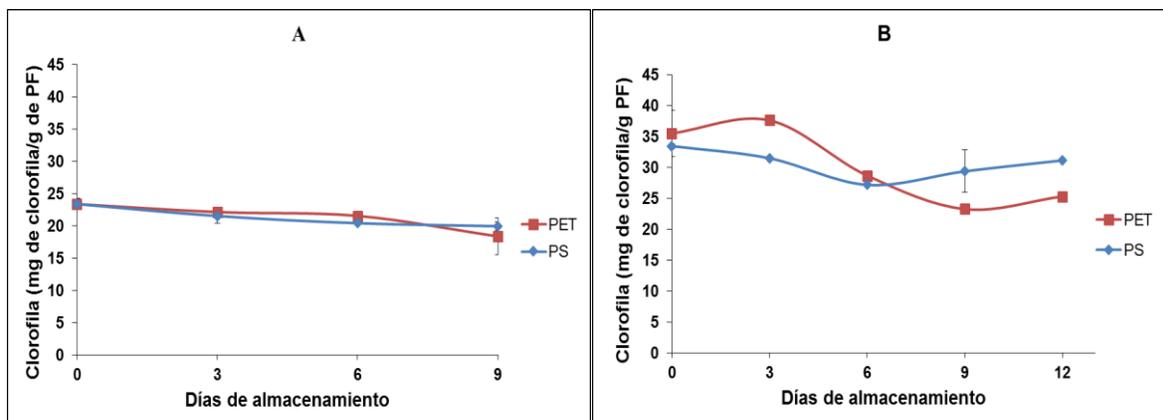


Figura 22. Cambio en la concentración de clorofila en verdolaga (A) y epazote (B) mínimamente procesados envasados en PET a 4°C durante 9 y 12 días.



Con respecto al epazote mínimamente procesado, (Figura 22-B) el contenido de clorofila tendió a disminuir a lo largo de su almacenamiento para ambos envases, sin tener diferencia significativa entre ellos, la disminución fue de 28.71% para PET y de 6.96% en PS.

Datos que no son similares a lo reportado por Piagentini (1999) en el estudio del efecto de tratamiento químico y tipo de envase sobre la retención de clorofila en espinaca, donde menciona una pérdida de 4.83% de clorofila total luego de 14 días de almacenamiento a 4 °C. Asimismo el tipo de envase utilizado (OPP y LDPE) no mostró tener diferencia significativa ($p \geq 0.05$) para la retención de este parámetro.

Por otra parte la tendencia de disminución de los datos obtenidos con respecto a la degradación de clorofila en este estudio es similar a lo reportado por Martínez y Cantwell (2002) en espinaca mínimamente procesada donde reporta que al envasarse en aire tuvo menor pérdida de porcentaje de clorofila que en envases con atmósferas modificadas.

En general la disminución de clorofila a lo largo del almacenamiento de verdolaga y epazote mínimamente procesados puede atribuirse a que durante su almacenamiento en aire o en atmósferas controladas, se ha observado que el efecto sobre el contenido total de clorofila podía relacionarse con la atmósfera, periodo o temperatura de almacenamiento (Pantastico, 1979).

5.3.3. Evaluación parámetros microbiológicos

La principal razón de pérdidas postcosecha es la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos de diversos géneros. Por otro lado, los productos contaminados por bacterias tales como *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. y *Listeria monocytogenes*, pueden causar enfermedades graves a los humanos ocasionando hasta la muerte si no son tratados a tiempo (Ramos *et al.*, 2010).

El crecimiento de los microorganismos se ve favorecido por la ruptura de las paredes celulares en las operaciones unitarias de proceso, y la consiguiente liberación de nutrientes al exterior (Lobo y González, 2003). En la Tabla 15 se muestran los parámetros microbiológicos de las hortalizas envasadas en diferentes materiales.



Tabla 15. Contenido de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras de verdolaga envasado en PET y PS.

DÍA	COLIFORMES TOTALES log UFC g ⁻¹ .		MESÓFILOS AEROBIOS log UFC g ⁻¹ .		HONGOS Y LEVADURAS log UFC g ⁻¹ .	
	PET	PS	PET	PS	PET	PS
0	3.40a	3.40a	3.67a	3.67a	3.07a	3.07a
3	6.04a	6.03a	6.23a	6.23a	5.02a	4.58a
6	6.00a	5.09b	5.19a	6.12b	5.01a	4.53a
9	5.90a	6.08a	INC	INC	INC	INC

Las letras diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre envases.

Como se observa en la Tabla 15 los parámetros microbiológicos evaluados en verdolaga mínimamente procesada, se observa un aumento de alrededor de 3 unidades logarítmicas en coliformes del inicio del almacenamiento al final del mismo, en el caso de mesófilos, hongos y levaduras el incremento se encuentra alrededor de 2 unidades logarítmicas, sin embargo, estos datos son semejantes a los reportados en el apartado 5.2.4, en donde se evaluó la efectividad de los tratamientos de desinfección en la verdolaga, comparando con el control (verdolaga sin desinfectar) presentando que con la desinfección combinada de ozono y UV-C hubo una disminución de alrededor de 2 a 3 unidades logarítmicas, implicando que si hay un efecto de los tratamientos sobre la eliminación de microorganismos presentes en la verdolaga. Cabe destacar que no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por el tipo de envase en el que se almaceno el producto, llegando hasta el día 9 de almacenamiento.

En el caso del epazote se presentan los resultados en a Tabla 16.

Tabla 16. Contenido de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras de epazote envasado en PET y PS.

DÍA	COLIFORMES TOTALES log UFC g ⁻¹ .		MESÓFILOS AEROBIOS log UFC g ⁻¹ .		HONGOS Y LEVADURAS log UFC g ⁻¹ .	
	PET	PS	PET	PS	PET	PS
0	5.57a	5.57a	6.16a	6.16a	5.21a	5.21a
3	5.82a	5.72a	6.53a	6.28b	6.24a	5.48b
6	6.34a	6.25b	6.44a	INC	6.36a	6.38a
9	6.26a	6.31b	INC	INC	6.39	INC
12	INC	INC	INC	INC	INC	INC

Las letras diferentes representan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre envases.



En la Tabla 16 se observa al igual que en verdolaga que el epazote mínimamente procesado incrementa en alrededor de 1 unidad logarítmica la presencia de coliformes al día nueve de almacenamiento, en el caso de mesófilos la cuenta se mantiene constante hasta el día nueve de almacenamiento, mientras que en hongos y levaduras hay un incremento de una unidad logarítmica del inicio al día nueve de almacenamiento. Los valores reportados son similares a los reportados en la evaluación de los diferentes métodos de desinfección en donde se observó una disminución de alrededor de 2.5 unidades logarítmicas con respecto al epazote control (sin desinfectar), lo que indica que el tratamiento es efectivo en la inhibición de microorganismos. Sin embargo la carga microbiológica presente en esta hortaliza es demasiado alta para poder inhibirla hasta los valores establecidos por la normativa. En cuanto al tipo de envase se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) siendo el envase de PS en donde se encontró mayor presencia de microorganismos comparado con el envase de PET.

Algunos microorganismos tienen la capacidad de crecer a temperaturas de refrigeración ± 4 °C. Las razones que explican este comportamiento, se podrían atribuir a condiciones genotípicas de los microorganismos; por ejemplo, la mayoría de la flora de tipo mesófilo puede también ser psicrótrofo, es decir, que pueden desarrollarse a temperaturas de refrigeración (Camacho *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006).

Debido a que en México no se cuenta con normas para productos mínimamente procesado se compararon los valores límites establecidos en cuanto a coliformes totales (100 UFC g^{-1} equivalente a 2 UFC g^{-1}) mesófilos aerobios (150,000 UFC g^{-1} equivalente a 5.1 UFC g^{-1}) de ensaladas listas para su consumo por lo que los valores obtenidos en este proyecto no se logran encontrar dentro de estos intervalos, se cuentan con cargas microbiológicas más elevadas (NOM-093-SSA1-1994).

De acuerdo a los resultados obtenidos los conteos microbiológicos fueron altos, superando el límite permitido de 5,7 log UFC g^{-1} para mesófilos aerobios y así también superando el límite permitido de 4,7 log UFC g^{-1} en coliformes totales, para frutas y hortalizas pre-elaboradas listas para su consumo que establece el Reglamento Sanitario de los Alimentos en Chile (Chile. Ministerio de Salud Pública, 1997).



Así mismo para el Real Decreto 3484/2000 de España que establece las normas de higiene para coliformes totales (*E. coli*) es de $10 \cdot 10^2$ UFC g^{-1} y para mesófilos aerobios de $10^5 \cdot 10^6$ UFC g^{-1} de muestra. Teniendo en cuenta estos intervalos, los resultados obtenidos no permiten estar dentro de la legislación Española. (Real Decreto 3484/2000).

Para llevar a cabo estas hortalizas como un producto mínimamente procesado se deben cumplir los intervalos de microorganismos permitidos en normas que aseguren su calidad e inocuidad para su consumo a todo público.



Conclusiones y recomendaciones





CONCLUSIONES

Con base a los resultados anteriores se concluye lo siguiente:

- ✘ El procesar mínimamente tanto a la verdolaga como el epazote es una opción para fomentar su consumo, y facilitar su uso, un proceso de elaboración adecuado es fundamental para asegurar la calidad e inocuidad del producto final, con especial cuidado en la etapa de desinfección.
- ✘ El tratamiento con UV-C combinado con la aplicación de Ozono, fue el que inhibió en mayor cantidad la presencia de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras en verdolaga y epazote, sin importar tiempo de aplicación por lo cual se eligió emplear el menor de tiempo (15 minutos), así mismo cabe resaltar que el tratamiento afectó de forma significativa parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos de ambas hortalizas.
- ✘ En el caso de la verdolaga mínimamente procesada no hubo diferencia significativa entre el envasado en PS y en PET en los parámetros microbiológicos, mientras que para epazote mínimamente procesado si se observó diferencia significativa siendo el producto envasado en PET el de menor presencia de microorganismos, observando que a pesar de que existió disminución de microorganismos con la desinfección propuesta no se alcanzó a llegar a los límites establecidos por las normas nacionales e internacionales.
- ✘ Bajo las condiciones de proceso y almacenamiento establecidas (desinfección Ozono + UV-C durante 15 min envasados en PET o PS) para el procesamiento mínimo de verdolaga y epazote se logró alcanzar un tiempo de almacenamiento de 9 días en el caso de verdolaga y de 12 para epazote en donde el efecto fue menor en las características físicas y químicas durante la vida útil de los productos.



RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, para continuar con la línea de investigación se le recomienda lo siguiente:

- ✘ Evaluar el efecto de los métodos de desinfección en el procesamiento mínimo de verdolaga y epazote provenientes de otras regiones productoras del país para conocer el efecto que tiene su procedencia en la carga microbiana de estas y la complejidad de su desinfección.
- ✘ Evaluar el efecto de diferentes combinaciones de los métodos de desinfección en el procesamiento mínimo de verdolaga y epazote.
- ✘ Realizar un análisis químico proximal para evaluar cambios en la composición química en las hortalizas después de la desinfección.
- ✘ Evaluar el efecto de otros materiales de envase como: polipropileno (PP), polietileno de baja (LDPE) y alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC) y otros films con baja y alta permeabilidad al O₂ sobre parámetros de calidad de la verdolaga y epazote mínimamente procesados.
- ✘ Evaluar el efecto de diferentes métodos de envasado como atmósferas modificadas activas y atmósferas controladas.
- ✘ Evaluar el porcentaje o índice de respiración en los diferentes métodos de envasado como atmósferas modificadas activas y atmósferas controladas para aumentar su vida útil.



Referencias





REFERENCIAS

- ❖ Aberoumand, A. (2008). Nutritional Evaluation of Edible *Portulaca oleracea* as Plant Food. *Food Anal Methods*, 2: 204-207. doi: 10.1007/s12161-008-9049-9
- ❖ Alimentos Argentinos. (2018). Tecnologías para la industria alimentaria ozono en alimentos. Argentina. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_04_Ozono.pdf
- ❖ Alonso, A., Castro, R., Rodríguez, C., Guillén, D., y Barroso, C. (2004). Study of the antioxidant power of brandies and vinegars derived from Sherry wines and correlation with their content in polyphenols. *Food Research International*, 37: 715-721. doi. 10.1016/j.foodres.2004.03.007
- ❖ Allende, A., y Artés, F. (2003) Combined ultraviolet-C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *Food Sci. Technol.* 36:739-746
- ❖ Almaguer, S. (2001). Envase, empaque y embalaje de productos. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/envase-empaque-y-embalaje-de-productos/>
- ❖ Alzamora, S.; Guerrero, S.N.; Nieto A. B.; y Vidales S.L. (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Ed. 95Aguilera J. M. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. pp. 45-88
- ❖ Anónimo, (2018). Epazote: Usos del epazote. México. Recuperado de: <https://www.epazote.org/usos/>
- ❖ Anónimo. (2013). Valor nutricional del epazote o paico. Recuperado de <https://www.botanical-online.com/alimentos/epazote-valor-nutricional>
- ❖ Argueta, V.A., Cano, L.M., y Rodarte, M.E. (1994). Atlas de las plantas en la Medicina Tradicional Mexicana. México D.F. Instituto Nacional Indigenista. 1786 pp.
- ❖ Artés, F. (2006). El envasado en atmosfera modificada mejora la calidad de consume de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7: 61-85.
- ❖ Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., y Youssef, M.M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48: 410-427. Doi: [10.1016/j.foodcont.2012.11.039](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.039)
- ❖ Balla, C.S., y Farkas, J. (2006). Minimally processed fruits and fruit products and their microbiological safety. En Y.H. Hui (Ed.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. pp. 115-128. Oxford, UK: Blackwell.



- ❖ Belitz, H. D., Grosh, W., y Schieberle, P. (2009). *Química de los alimentos*. Heidelberg, Alemania, Springer-Verlag GmbH
- ❖ Boonkorn, O., Gemma, H., Sugaya, S., Setha, S., Uthaibutra, J., y Whangchai, K. (2012). Impact of high-dose, short periods of ozone exposure on green mold and antioxidant enzyme activity of tangerine fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 67: 25-27
- ❖ Buenas Prácticas Agrícolas para Frutas y Hortalizas Frescas. (2002). Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. México.
- ❖ Brackett, R.E. (1994). Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables, in *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Chapman & Hall, New York, pp 269-312.
- ❖ Breinholt, V., Schimerlik, M., Dashwood, R., y Bailey, G. (1995). Mechanisms of Chlorophyllin Anticarcinogenesis against Aflatoxin B1: Complex Formation with the Carcinogen. *Chem. Res. Toxicol*, 506–514.
- ❖ Butz, P., y Tauscher, B. (2002). Emerging technologies: Chemical aspects. *Food Research International*, 35: 279-284.
- ❖ Caamal, I. O., Pereira, F., y Madera, T. (2011). Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas binarias de almidones de *Phaseolus lunatus* L, *Manihot esculenta* Crants Y *Zea mays* L. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 12: 101-109.
- ❖ Campuzano, S., Mejía, D., Madero, C., y Pabón, P. (2015). Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá. *D.C. NOVA*. 13: 81-92
- ❖ Cano, M. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, trichoderma spp. y pseudomona spp. *Una revisión. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14: 15-31.
- ❖ Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *SciELO*, 27: 59-75.
- ❖ Chan, K., Islam, M.W., Kamil, M., Radhakrishnan, R., Zakaria, M.N., Habibullah, M., y Attas. (2000). The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. subsp. *Sativa* (Haw.). *Journal of Ethnopharmacology*, 73: 445-451. doi: 10.1016/S0378-8741(00)00318-4.
- ❖ Chapman, J., Stewart, R.B., y Yarnell, R.A. (1974). Archaeological Evidence for Precolumbian Introduction of *Portulaca oleracea* and *Mollugo verticillata* into Eastern North America. *Economic Botany* 28: 411-412
- ❖ Chaveste, S. (2006). Uso de ultrasonido como técnica alternativa en la desinfección de vegetales. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Atizapán, México.



- ❖ Chen, J., Shi, Y.P., y Liu, J.Y. (2003). Determination of noradrenaline and dopamine in Chinese herbal extracts from *Portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1003: 127–132. Doi: 10.1016/S0021-9673(03)00786-6
- ❖ Codex Alimentarius. (2003). Higiene de los Alimentos-Textos Básicos. Código Internacional recomendado de Prácticas-Principios generales de higiene de los alimentos. FAO/OMS. Roma, Italia. CAC/RCP-1-(1969), Rev.3; 1997.
- ❖ Contreras, J. (2014). Conservación de verdolaga mínimamente procesada proveniente del suelo e hidropónica, desinfectada con un agente a base de compuestos bioactivos. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ❖ Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- ❖ Cordero, G. (2013). *Aplicación del análisis sensorial de los alimentos en la cocina y en la industria alimentaria*. España: Diputación de Sevilla, Fundación Cajazol, Fundación Cruzcampo y SGS. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Gustavo_Cordero_Bueso/publication/262561546_APLICACION_DEL_ANALISIS_SENSORIAL_DE_LOS_ALIMENTOS_EN_LA_COCINA_Y_EN_LA_INDUSTRIA_ALIMENTARIA/links/0a85e537fdb346e28d000000/APLICACION-DEL-ANALISIS-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS-EN-LA-COCINA-Y-EN-LA-INDUSTRIA-ALIMENTARIA.pdf
- ❖ Domínguez, L., y Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Alimentos Argentinos*, 52: 70-76.
- ❖ Dziezak, J.D. (1986). Preservative systems in foods, antioxidants and antimicrobial agents. *Food Technology*, 40: 94-136.
- ❖ El-Sayed, M.I. (2011). Effects of *Portulaca oleracea* L. seeds in treatment of type-2 diabetes mellitus patients as adjunctive and alternative therapy. *Journal of Ethnopharmacology*, 137: 643-651. doi: 10.1016/j.jep.2011.06.020
- ❖ Erkan, M., y Wang, D.T. (2001). UV-C irradiation reduces microbial population and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environ. Exp. Bot*, 45: 1-9.
- ❖ Espinosa, F. J. y Sarukhán, J. (1997). Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- ❖ FAO (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo, Recuperado de <http://www.fao.org/3/x5055s/x5055s02.htm>
- ❖ Fennema, O.R. (1995). Química de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España. pp. 258.



- ❖ Gao, S., Lewis, G., Ashokkumar, M., y Hemar, Y. (2014). Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. *Ultrasonics Sonochemistry*, Science Direct recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417713001454?via%3Dihub>
- ❖ García, D. (2008). Aplicación de la técnica de IV gama para la elaboración de ensaladas. *SciELO*, (61). Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472008000200018
- ❖ García, E., Gago, L., y Fernández, J.L. (2006). Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Recuperado de: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT3_Tecnologias_de_Envasado_en_Atmosfera_Protectora.pdf
- ❖ Gardner, D.W.M., y Shama, G. (2000). Modeling UV-C induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*, 63: 63-70.
- ❖ Gibson, T. E. (1965). Veterinary Anthelmintic Medication. Recuperado de: https://www.academia.edu/4063951/Chenopodium_ambrosioides_and_its_essential_oil_as_treatments_for_Haemonchus_contortus_and_mixed_adult_nematode_infections_in_goats
- ❖ Ginés, E. (2014). Los ultrasonidos como alterativa a la desinfección con hipoclorito: efectos sobre la vida útil en bionato (Ipomoea batatas) mínimamente procesado. (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- ❖ Giraldo, G. (1999). Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- ❖ Gómez, J.R. (2008). Epazote (Quenopodium ambrosioides). Revisión a sus características morfológicas, actividad farmacológica, y biogénesis de su principal principio activo, ascaridol. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 7: 3-9.
- ❖ Gómez, M. (2015). Dieta Metabólica: Plata coloidal, el antibiótico natural. España: Terapia Clark. Recuperado de: <https://www.dietametabolica.es/platacoloidal.htm>
- ❖ Grubben, G. J., y Denton, O. A. (2004). Plant resources of tropical Africa 2. Vegetables. Recuperado de: <http://edepot.wur.nl/417517>
- ❖ Halsted, B. (1889) Our worst weeds. *Botanical Gazette*. Recuperado de <http://jstor.org/stable/2993287>.
- ❖ Hansen, L. D. (2003) Plata coloidal: descubriendo un nuevo producto excitante de los '90. Argentina. Recuperado de http://www.mantra.com.ar/contenido/zona1/frame_coloide.html



- ❖ Holdsworth, S. (1998). Conservación de frutas y hortalizas. Recuperado de https://www.editorialacribia.com/libro/conservacion-de-frutas-y-hortalizas_54285/
- ❖ Holt, K.B., y Bard, A.J. (2005). Interaction of silver (I) ions with the respiratory chain of *Escherichia coli*: An electrochemical and scanning electrochemical microscopy study of the antimicrobial mechanism of micromolar. *Ag. Biochemistry*, 44: 13214-13223.
- ❖ Huanchi, R. (2013). Determinación de la permeabilidad en empaques plásticos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de la Amazona Peruana, Iquitos, Perú. Recuperada <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2449/Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20permeabilidad%20en%20empaques%20pl%C3%A1sticos.pdf?sequence=1&isAllowed>
- ❖ Hughes, D.E y Nyborg, W.L. (1962). Cell disruption by ultrasound. *Science*, 138: 108-144.
- ❖ Humanidades, P. (2019). Definición de Poliestireno. Venezuela. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/poliestireno/>
- ❖ Jansen, M. A., Gaba, V. y Greenberg, B. (1998). Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation. *Trends' Plant'Sci.* 4: 131-135.
- ❖ Jiménez, B.E. (2006). La plata como desinfectante de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un proceso de coagulación-floculación. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ❖ Kays, S. J. (1997). Stress in harvested products. In S. J. Kays (Ed.), *Postharvest physiology of perishable plant products*. pp 335– 407
- ❖ Ketzis, J. K., Taylor, A., Bowman, D. L., Brown, D. L., Warnick, L. D., y Erb, H. N. (2002). *Chenopodium ambrosioides* and its essential oil as treatments for *Haemonchus contortus* and mixed adult-nematode infections in goats. *Small Rumin. Res.*, 44:193-200.
- ❖ Koda, S., Endo, K., Kojima, Y., y Nomura, H. (1999). Effect of power ultrasound on pH change in water saturated with air, oxygen, nitrogen, argon and mixtures. *J-Stage*, 25: 290-293. doi. 10.1252/kakoronbunshu.25.290
- ❖ Lemoine, L., Civello, M., Chaves, R., y Martínez., A. (2010). Influence of a combined hot air and UV-C treatment on quality parameters of fresh-cut broccoli florets at 0°C. *International Journal of Food Science and Technology* 45:1212–1218.
- ❖ Liangji, X. (2003). Uso de Ozono para Mejorar la Seguridad de Frutas y Vegetales Frescos. Recuperado de <http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/Ozono-para-mejorar-la-seguridad-de-frutas-y-vegetales.pdf>
- ❖ Lobo, M.G y González, M. (2003). Productos hortofrutícolas mínimamente procesados. La Laguna. Santa Cruz de Tenerife. pp 220.



- ❖ Londonkar, R.L., y Nayaka, H.B. (2013). Effect of ethanol extract of *Portulaca oleracea* L on ovulation and estrous cycle in female albino rats. *Journal of Pharmacy Research*, 6: 431-436.
- ❖ Luna, M., y Delgado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidante en frutos y producto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18: 51-66.
- ❖ Maharaj, R., Arul, J., y Nadeau, P. (1999) Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. 'Capello') by delaying senescence. *Postharv. Biol. Technol.* 15:13-23.
- ❖ Manzocco, L., Da Pieve, S., y Maifreni, M. (2011). Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12: 13-17.
- ❖ Mares, T. A. (1999). Comida de los Tarahumaras. Cocina Indígena y Popular. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D.F. 512 pp.
- ❖ Márquez, L., y Pretell, C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, 4: 147-161.
- ❖ Martínez, B.E. (2011). Análisis bromatológico del carambolo (*Averrhoa carambola* L.) y determinación de su capacidad antioxidante. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz.
- ❖ Martínez, H. (2012). Avances en investigación y empleo de envases inteligentes y activos para la comercialización de alimentos de frescos. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- ❖ Martínez, M.A., Evangelista, V., Mendoza, M., Morales, G., Toledo, G., y Wong, A. (2001). Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla. Cuadernos del instituto de Biología 27. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. 303 pp
- ❖ Martínez, M., y Cantwell, M. (2002). Cambios de calidad en espinaca almacenada en atmósferas controladas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8: 49-62.
- ❖ McGuire, R. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27: 1254-1255.
- ❖ Mera, L., Castro, D., y Bye, R. (2010). Importancia de la verdolaga en México. Gobierno de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168850/Importancia_de_la_Verdolaga_en_Mexico.pdf
- ❖ Mercado, G., De la rosa, L., Wall, A., López J.A., y Álvarez, E. (2012). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especies consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28: 36-46. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6298



- ❖ Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2009). Guía de envases y embalaje. Lima, Perú: Unión Europea.
- ❖ Moreno-Pérez, E.C., Martínez-Damian, M.T., Reyes-Lopez, D., Perez- Mercado, C. A., Peña-Lomeli, A., y Espinosa-Robles, P. (2006). Intensidad de color y contenido de antocianinas en chile guajillo (*Capsicum annum* L.) *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12: 135-140.
- ❖ Morones, R. (2009, 10 de octubre). El uso de la Plata en los antibióticos del futuro. *Revista Digital Universitaria*. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num10/art69/int69-4.htm>
- ❖ Mundo plástico (2015). Modelos económicos a través de la sustentabilidad. 1° de junio de 2015, Recuperado de <http://www.mundoplastico.net/descargas/MundoPlastico73.pdf>
- ❖ Navez, B., Letard, M., Graselly, D. y Jost, J. (1999). Les critères de qualité de la tomate. *Infos-Ctifl* 155: 41-47.
- ❖ Núñez, G.A. (2008). Efecto tiempos y procesos de cocción en el contenido de clorofila de varias hortalizas. Ciencian UANL. Tesis de licenciatura de Ingeniería en industrias alimentarias. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- ❖ NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Recuperada el 27 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-317-S-1978.pdf>
- ❖ NMX-FF-011-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación. Recuperada el 27 de febrero de 2018. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMF-FF-011-1982.pdf>
- ❖ Omara-Alwala, T. R., Mebrahtu, T., Prior, D. E., y Ezekwe, M. O. (1991). Omega-three fatty acids in purslane (*Portulaca oleracea*). *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 68: 198-199. doi 10.1007/BF02657769
- ❖ Palaniswamy, U.R., Bible, B.B., y McAvoy, R.J. (2002). Effect of Nitrate: Ammonium Nitrogen Ratio on Oxalate Levels of Purslane. *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, p. 453–455.
- ❖ Pan, J.A., Vicente, G., Martínez, A., Chaves, y M., Civello. (2004). Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *J. Sci. Food Agric*. 84: 1831-1838.
- ❖ Pantastico, E.R.B. (1979). Fisiología de la Postrecolección Manejo y, Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales. Ed. Continental, S.A. D.F., México. 663 pp



- ❖ Paredes, D.J., Buenaño, M.P., y Mancera, N.J. (2015). Uso de plantas medicinales en la comunidad San Jacinto del cantón ventanas. *U.D.C.A Act & Div. Cient.*, 18: 39-50.
- ❖ Parzanese, M. (2017). Vegetales mínimamente procesados. Argentina: Alimentos Argentinos. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf
- ❖ Pelczar, Jr. M. J., Reid, R. D., y Chan, E. C. S. (1982) Microbiología. 2a edición en español, McGraw-Hill, México, 395-397 y 790 pp.
- ❖ Pereira, C.A., y León, G.M. (2012). Determinación del color en epicarpios de mango (*Mangifera sp.*) y Plátano (*Musa AAB*) en maduración mediante sistema de visión computarizada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3: 302-318.
- ❖ Piagentini, A. (1999). *Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados*. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- ❖ Pineda, D. (2012). Preservación de los alimentos por ultrasonido. Innovación y desarrollo tecnológico. Ministerio de economía, El Salvador
- ❖ Pingret, D., Sylvie, A., Tixier, F., y Chemat, F. (2013). Degradation during application of ultrasound in food processing. *Food Control*, 31: 593-606. Doi: 10.1016/j.foodcont.2012.11.039
- ❖ Pinheiro, J., Alegría, C., Abreu, M., Goncalves, E., y Silva, C. (2014). Use of UV-C postharvest treatment for extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 5066-5074.
- ❖ Piñero, R. L. (2014). Boletín UNAM. Obtenido de http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2014_304.html
- ❖ Piyasena, P., Mohareb, E., y McKellar, R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound. *International Journal of Food Microbiology* 87: 207–216
- ❖ Ponce, O. (2005). Desinfección con UV. El espectro electromagnético comprende muchos tipos de radiación. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo7.pdf
- ❖ Quinlan, M. B., Quinlan, R.J., y Nolan, J.M. (2002). Ethnophysiology and herbal treatments of intestinal worms in Dominica, West Indies. *J. Ethnopharmacol*, 80: 75-83.
- ❖ Quintanar, M., y Calderón, J. (2009). La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. 28: 89-101.
- ❖ Quintanilla, P. (2018). Vía Orgánica: Verdolagas, deliciosas y nutritivas. Guanajuato, México: Vía regenerativa y orgánica A.C. Recuperado de: <https://viaorganica.org/verdolagas/>



- ❖ Ramírez, F., Reyes, C., y Valdés, D. (2002). Principales plantas de uso médico popular en los municipios de Ahuachapán, Atiquizaya, Jujutla y Tacuba del Departamento de Ahuachapán. El Salvador: Escuela de Biología. Facultad Multidisciplinaria de occidente. Universidad de El Salvador.
- ❖ Ramírez, H., Rancaño, J.H., Benavides, A., Mendoza, R., y Padrón, E. (2004). Influencia de señalizadores del estrés en hortalizas y su relación con antioxidantes. Recuperado de: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:T8LraAQYJmYJ:www.uaaan.mx/DirInv/Resul_PI04/MEMORIA_2004/Hortalizas/HRamirezRodrigo1.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cl
- ❖ Ramos, M.L., Bautista, S., Barrera, L.L., Bosquez, E., Alia, I., y Estrada, M. (2010) Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortifrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología. 1:* 44-57
- ❖ Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine, 26:* 1231–1237
- ❖ Reyes, I., Villegas, A., Colinas, M., y Calderón, G. (2000). Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hoja de naranjo y tangerino. *Agrociencia, 34:* 49-55.
- ❖ Robles, R.M., Gorinstein, S., Astiazarán, H., González, G., y Cruz, R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia. 32:* 227-232.
- ❖ Rodríguez, C., Guzmán, Q., Casóliba, C., y M., Coronel. (2006). Calidad microbiológica de vegetales mínimamente procesados. *Revista del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (UNSE) 22:* 99-106.
- ❖ Ryalls, J., Neuenschwander, U., Willits, M., Molina, A., Steiner, H.Y., y Hunt, M. (1999). Systemic acquired resistance. *Plant Cell, 8:* 1809-1819.
- ❖ Rzedowski, G., y Rzedowski, J. (2005). Flora fanerogámica del Valle de México. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mexico1.pdf
- ❖ Sáenz, S., Monroy, R., Cariño, R., Hernández, A., y Jiménez, R. (2018). Caracterización fisicoquímica y propiedades antioxidantes de verdolaga (*Portulaca oleracea*) de alto consumo en el estado de Hidalgo, México. *Investigación y desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 1:* 210-215
- ❖ Sandoval, M., Lazarte, K., y Arnao, I. (2008). Hepatoprotección antioxidante de la cáscara y semilla de *Vitis vinifera* L. (uva) Antioxidant liver protection of *Vitis vinifera* L. (grape) skin and seed. *Fac med.69:* 250-259.



- ❖ Santos, E., Castrillón, A., Costa, M., y Rodríguez, R. (2009). Ensalada de vegetales envasada en atmósfera modificada. *Instituto de Tecnologías Programa de Especialización en Alimentos*, 17: 354-363.
- ❖ Schwartz, S., y Von Elba, J. (1983). Kinetics of degradation of chlorophyll in plants pirofeotina. *Journal of Food Science*. 48: 1303-1306
- ❖ Sebastián, M. (2017). Desinfección de Sandía mínimamente procesada y su conservación con UV-C en diferentes atmosferas modificadas. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ❖ Secretaría de Salud (1994). NOM-113-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Métodos para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Norma Oficial Mexicana. México.
- ❖ Secretaría de Salud. (1994). NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa. Norma Oficial Mexicana. México.
- ❖ Secretaria de Salud. (1994). NOM-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta en mohos y Levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. México.
- ❖ Secretaria de Salud. (2015). Gobierno de México: Plata coloidal, características, peligros y aplicación. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/salud/articulos/plata-coloidal-caracteristicas-peligros-y-aplicacion>
- ❖ Secretaria de Sustentabilidad. (2016). Aspectos de seguridad sobre el uso de los envases de plástico que están en contacto con los alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de: <http://sds.uanl.mx/seguridad-sobre-el-uso-de-los-envases-plasticos-que-estan-en-contacto-con-alimentos/>
- ❖ SIAP-SAGARPA (2017). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de Epazote. Recuperado el 25 de Marzo de 2018 de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- ❖ SIAP-SAGARPA. (2017). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de Verdolaga. Recuperado el 25 de Marzo de 2018 de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- ❖ Singleton, V.L.R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 152-178.
- ❖ Steiner, A., Abreu, M., Correia, L., Beirao-da-Costa, S., Leitao, E., Beirao-da-Costa, M.L., Empis, J., y Maldao-Martins, M. (2006). Metabolic response to combined mild heat pre-treatments and modified atmosphere packaging on fresh-cut peach. *Eur Food Res Technol*. 222: 217-222.
- ❖ Tecnología Ultravioleta (2013). Tecnología de desinfección UV. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Recuperado de <http://www.lit-uv.com/es/techonogy/>



- ❖ Vázquez, M.B. (2013). Conservación de granada mínimamente procesada en atmósfera modificada y pasiva y desinfectada con ozono, radiación UV-C, solución de plata coloidal y cloro. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- ❖ Vibrans, H. (2009). *Chenopodium ambrosioides* L. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/chenopodium-ambrosioides/fichas/ficha.htm>
- ❖ Wiley, R.C. (1994). Packaging of minimally processed fruit and vegetables. En: Wiley, R.C. (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman and Hall, London, 66-176.
- ❖ Xiang, L., Xing, D., Wang, W., Wang, R., Ding, Y., y Du, L. (2005). Alkaloids from *Portulaca oleracea* L. *Phytochemistry*, 66: 2595–2601. Doi: 10.1016/j.phytochem.2005.08.011
- ❖ Yan, J., Sun, L.R., Zhou, Z.Y., Chen, Y.C., Zhang, W.M., Dai, H.F., y Tan, J.W. *Phytochemistry*, 80: 37-41. Doi: 10.1016/j.phytochem.2012.05.014
- ❖ Yaun, B.R., Sumner, S.S., Eifert, J.D., y Marcy, J.E. (2004) Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Internatl. J. Food Microbiol.* 90:1-8
- ❖ Yehoshua, S., y Rodov, V. (2003). Transpiration and water stress, in Bartz. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. New York: Marcel Decker Inc.
- ❖ Yoplac, I., Char, C., Hinojosa, A., Obando, J., y Escalona, V. (2013). Efecto de la radiación UV-C y atmósfera modificada activa sobre la calidad funcional de rúcula lista para consumo. *Revista Iberoamericana de Tecnología*, 14: 245-251.
- ❖ Yuan, Y., Hu, Y., Yue, T., Chen, T., y Lo, Y. (2009). Effect of ultrasonic treatments on thermoacidophilic *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice. *J Food Process*, 33: 370-383.
- ❖ Zapata, S., Piedrahita, A., y Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas en nutrición humana*, 17: 25-36.
- ❖ Zhao, R., Gao, X., Cai, Y., Shao, X., Jia, G., Huang, Y., Quin, X., Wang, J., y Zheng, X. (2013). Antitumor activity of *Portulaca oleracea* L. polysaccharides against cervical carcinoma in vitro and in vivo. *Carbohydrate polymer*, 96: 376-383.