



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS.

LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO.

**“EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ZACATE LIMÓN
(*Cymbopogon citratus*) Y LUZ PULSADA DE ALTA ENERGÍA EN LA CONSERVACIÓN
DE CHÍA (*Salvia hispánica L.*)”**

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LIC. QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p.Q.F.B. ALEJANDRO MIGUEL GUZMÁN FLORES.

DIRECTOR DE TESIS:

D.C. RAÚL AVILA SOSA SÁNCHEZ.

CO-DIRECTOR DE TESIS:

D.C. FÁTIMA REYES JURADO.

NOVIEMBRE 2019





BUAP

Puebla, Pue. a 25 de Enero de 2019

**C. GUZMAN FLORES ALEJANDRO MIGUEL
P R E S E N T E**

Toda vez que se cuenta con la aprobación del Coordinador del Area de Bioquímica y Alimentos,

DC. RAUL AVILA SOSA SANCHEZ, Director de Tesis,

DC. FATIMA REYES JURADO, Asesor,

se le comunica la autorización de su anteproyecto de tesis denominado:

**EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ZACATE
LIMÓN (Cymbopogon citratus) Y LUZ PULSADA DE ALTA ENERGIA EN LA
CONSERVACIÓN DE CHÍA (Salvia hispánica).**

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad,
para los fines legales a los que haya lugar

Atentamente




"Pensar bien para vivir mejor"

**DR. JORGE RAÚL CERNA CORTEZ
D I R E C T O R**





BUAP Puebla, Pue. a 18 de Octubre de 2019

DC. ADDI RHODE NAVARRO CRUZ 
DC. PAOLA HERNANDEZ CARRANZA 
MC. MARTIN ALVARO LAZCANO HERNANDEZ 

Con toda atención comunico a Uds. que se les propone como integrantes de la Comisión Revisora de Tesis que presenta el (la) Pasante de la Carrera de QUIMICO FARMACOBIOLOGO

GUZMAN FLORES ALEJANDRO MIGUEL

cuyo título es :

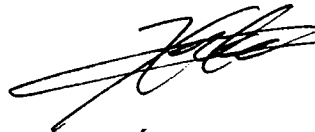
EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ZACATE LIMÓN (*Cymbopogon citratus*) Y LUZ PULSADA DE ALTA ENERGIA EN LA CONSERVACIÓN DE CHÍA (*Salvia hispánica*).

Realizada en el Area de Bioquímica y Alimentos;

asimismo, les ruego que a la brevedad posible emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

"Pensar bien para vivir mejor"



DR. JORGE RAÚL CERNA CORTÉZ

DIRECTOR



C.c.p. Archivo



BUAP

DR. JORGE RAÚL CERNA CORTEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
P R E S E N T E

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de la Tesis del alumno de la carrera de QUIMICO FARMACOBIOLOGO
GUZMAN FLORES ALEJANDRO MIGUEL

realizada en el area de Bioquímica y Alimentos, comunican a Ud. la aprobación de la misma con la siguiente redacción:

EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ZACATE LIMÓN (Cymbopogon citratus) Y LUZ PULSADA DE ALTA ENERGIA EN LA CONSERVACIÓN DE CHÍA (Salvia hispánica).

Se extiende la presente, para los usos que al interesado convengan, a los 8 días del mes de Noviembre de 2019

Atentamente

"Pensar bien para vivir mejor"


DC. ADDI RHODE NAVARRO CRUZ


DC. PAOLA HERNANDEZ CARRANZA


MC. MARTIN ALVARO LAZCANO HERNANDEZ



C.c.p. Archivo

Vo. Bo.

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 55 00 Ext. 7390 y 01 (222) 244 31 06



MTRA. MARIA ELENA RUIZ VELAZQUEZ
DIRECCION DE ADMINISTRACION ESCOLAR
PRESENTE

En relacion al oficio de fecha 12 de Noviembre de 2019, signado por el Coordinador del Departamento de Bioquímica y Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas, me permito comunicar a Ud. el nombre de los Catedráticos que integran el Jurado de Examen Profesional de la Carrera de QUIMICO FARMACOBIOLOGO que sustentará:

GUZMAN FLORES ALEJANDRO MIGUEL

JURADO

DC. ADDI RHODE NAVARRO CRUZ
DC. PAOLA HERNANDEZ CARRANZA
MC. MARTIN ALVARO LAZCANO HERNANDEZ

Examen que se realizará el día 29 de Noviembre de 2019, a las 13:00 horas en el SALON 201 del EDIFICIO FCQ5.

Esperando una respuesta favorable al presente, le reitero mi atenta y distinguida consideracion

Atentamente

"Pensar bien para vivir mejor"

H. Puebla de Z. a 12 de Noviembre de dos mil diecinueve


DR. JORGE RAÚL CERNA CORTÉZ
DIRECTOR



C.c.p. Archivo

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por abrirme sus puertas para poder desarrollarme educativamente con una excelencia incomparable, por todos los beneficios que me brindó.

A la Facultad de Ciencias Químicas, enormes gracias por albergarme y adiestrarme en sus aulas y laboratorios, por ser el lugar donde viví experiencias increíbles, conocí maestros inspiradores y amigos inigualables, aprendí cosas que me han hecho un mejor ser humano y forjado como un verdadero científico.

A la Universidad de las Américas de Puebla por permitirme realizar mis experimentos en sus instalaciones y a la Dra. Fátima Reyes Jurado por permitir que esto fuera posible, por su paciencia y disponibilidad gracias infinitas.

A todo el Departamento de Bioquímica-Alimentos de la FCQ por haber hecho de esta experiencia algo muy ameno, agradable y con mucho aporte educativo.

A mis sinodales: la Dra. Paola Hernández Carranza, Dra. Addí Navarro Cruz y al Mtro. Martín Lazcano Hernández por la paciencia y amabilidad con la que me trataron y guiaron para concretar esta tesis.

Especialmente agradezco al Dr. Raúl Ávila Sosa que confió en mí y dio la oportunidad de este proyecto, que durante la realización de este ha sido mi mano derecha y quien me ha guiado en el complicado proceso, no ha sido nada fácil, ni mucho menos, sin embargo, gracias a su ayuda y motivación, esto ha parecido un tanto menos complicado.

Finalmente, a Irene Guzmán quién me dio la vida, a Belinda Guzmán por encaminarme hacia la ciencia e inspirarme desde pequeño, a ambas por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes, incluida esta tesis, siempre me motivaron a alcanzar mis anhelos.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 Historia de la conservación.....	9
3.2 Definición de la calidad de los alimentos.....	10
3.3 Chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	11
3.4 Importancia de la chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	13
3.5 Usos generales de la chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	17
3.6 Contaminación microbiológica de productos secos.....	19
3.7 Métodos de conservación de semillas.....	21
3.8 Tratamientos no térmicos.	22
3.8.1 Luz Pulsada de Alta Energía (LPDAE).....	23
3.8.2 Mecanismo de inactivación microbiana de la LPDAE.....	25
3.8.3 Factores que afectan la inactivación microbiana por luz pulsada.....	26
3.8.4 Aplicaciones de la luz pulsada de alta energía y limitaciones.....	27
3.9 Antimicrobianos de origen natural.....	27
3.10 Aceites esenciales (AE)	28
3.11 Fase de vapor.....	29
3.12 Mecanismo de acción de los aceites esenciales.....	31
3.13 Aplicaciones reales y potenciales de la fase de vapor de aceites esenciales.....	32

4. JUSTIFICACIÓN.....	35
5. OBJETIVOS.....	36
5.1 Objetivo general.....	36
5.1.2 Objetivos especificos.....	36
6. DIAGRAMA DE TRABAJO.....	37
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
8. METODOLOGÍA.....	39
8.1 Muestreo.....	39
8.2 Determinación de la carga microbiana en la semilla de chía.....	39
8.3 Tratamiento con Luz Pulsada de Alta Energía (LPDAE).....	39
8.4 Modelado cinético de curvas de inactivación.	40
8.5 Aplicación de tratamiento de aceite esencial en fase de vapor a chía previamente tratada con Luz Pulsada de Alta Energía.....	41
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
9.1 Evaluación de la carga microbiológica de la chía.....	42
9.2 Evaluación de la aplicación de Luz Pulsada de Alta Energía en chía (<i>Salvia hispanica</i> L.).....	43
9.3 Modelado cinético de curvas de inactivación en el tratamiento de luz pulsada de alta energía en chía (<i>Salvia hispanica</i> L.).....	46
9.4 Evaluación cinética microbiana frente a la combinación de la fase de vapor del aceite esencial de zacate limón. (<i>Cymbopogon citratus</i> L.) y la Luz Pulsada de Alta Energía (LPDAE).....	48
10. CONCLUSIONES.....	51
11. RECOMENDACIONES.....	52

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la semilla de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	12
Tabla 2. Comparación del porcentaje de ácidos grasos en semillas de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) en principales estados productores.....	14
Tabla 3. Composición de semillas de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) en principales estados productores por cada 100 gr.....	15
Tabla 4. Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas y harina desengrasada de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	18
Tabla 5. Métodos utilizados.....	38
Tabla 6. Equipos utilizados.....	38
Tabla 7. Carga microbiológica inicial (Bacterias mesofílicas aerobias, hongos y levaduras y coliformes totales) de muestras de chia (<i>Salvia hispánica L.</i>).....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dispersión de la energía emitida por la lámpara y la manera en la que se expande dentro de la cámara antes de llegar a la muestra, se muestra la dispersión de la luz en 2.54, 5.08 y 7.62 cm respectivamente. extraído de XENON corporation, (2014) (Mendez-Aguilar, 2019).....	25
Figura 2. Cinética de Bacterias Mesofílicas Areobias (BMA) presentes en chía (<i>Salvia hispanica L.</i>) tratada con Luz Pulsada de Alta Energía a una distancia de 10.8 cm.....	43
Figura 3. Cinética de Hongos y Levaduras presentes en chía (<i>Salvia hispanica L.</i>) tratada con luz pulsada de alta energía a una distancia de 10.8 cm.....	44
Figura 4. Valores experimentales y curvas de inactivación ajustadas derivadas del modelo Weibull para bacterias mesofílicas aerobias tratadas con pulsos de luz de alta intensidad.....	46
Figura 5. Valores experimentales y curvas de inactivación ajustadas derivadas del modelo Weibull para Hongos y Levaduras tratadas con pulsos de luz de alta intensidad.....	47
Figura 6. Bacterias Mesofílicas Areobias (BMA) presentes en chía (<i>Salvia hispanica L.</i>) tratada con Luz Pulsada de Alta Energía (tiempo cero), y expuesta a diferentes concentraciones de aceite esencial de zacate limón (<i>Cymbopogon citratus L.</i>) por contacto en fase de vapor durante 24 h.....	48
Figura 7. Cinética de Hongos y Levaduras (H y L) presentes en chía (<i>Salvia hispanica L.</i>) tratada con Luz Pulsada de Alta Energía (tiempo cero), y expuesta a diferentes concentraciones de aceite esencial de zacate limón (<i>Cymbopogon citratus L.</i>) por contacto en fase de vapor durante 24 h.....	49

1. Resumen.

En la actualidad muchos métodos para la inhibición microbiana en los alimentos estropean sus características sensoriales y ha surgido la necesidad de buscar alternativas para evitar la disminución de la calidad, debido a la demanda en el consumo de alimentos mínimamente tratados, así como el interés en agentes antimicrobianos de origen natural. Uno de los grandes retos del comercio de chía es la implementación de métodos para controlar su carga microbiana que sean menos desfavorables hacia sus características sensoriales. En este estudio se evaluó la eficacia de métodos de conservación que no dañen al producto y sean confiables al consumidor. Al evaluar la carga microbiana de las semillas, se obtuvieron varias muestras de Chía en venta a granel en sacos de diferentes mercados. La metodología fue la siguiente: se utilizó la técnica de vertido en placa para el conteo de Coliformes Totales (CT), Bacterias Mesofílicas Aerobias (BMA) y Hongos y Levaduras (H-L). En la evaluación del tratamiento con luz pulsada de alta energía (LPDAE) se colocaron 3g de las muestras de chía en cajas Petri para tratarlas dentro del equipo de LPDAE ; a diferentes tiempos (de 1 a 14 s), a una sola distancia de 10.62 cm. Evaluando la eficacia del tratamiento mediante la reducción de BMA y H-L. Luego se trataron más placas con LPDAE en condiciones previamente establecidas y posteriormente se aplicó el tratamiento de fase de vapor con aceite esencial de zacate limón (FVDAE) a diferentes concentraciones por 24 h y evaluar la efectividad de la combinación de estos métodos, los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la tecnología de LPDAE es más efectiva en BMA que en H-L y se observa que vapores generados por el aceite muestran tener buena actividad inhibitoria. Por lo que esta combinación de métodos puede considerarse como alternativa en la conservación de alimentos. Además se demostró que la combinación de los dos métodos tiene un mayor efecto inhibitorio, para eliminar totalmente a H-L y mantener por debajo de los límites a BMA lo que confirma que el uso de dichos métodos tienen un excelente efecto fungicida y un potencial efecto bacteriostático más que por sí solos; bajo los parámetros más efectivos de LPDAE a 12 s con una distancia de 10.80 cm alcanzando una energía de 16.20 J/cm² y a concentraciones del aceite de 681 y 909 µL/L(aire).

2. Introducción.

En la actualidad una gran parte de la población desconoce la riqueza nutricional de la chía (*Salvia hispánica L.*), sus características de alimento funcional y por tanto su relevancia en la dieta. La chía tiene alto contenido de aceites Omega 3, fibra, aminoácidos, antioxidantes, vitaminas y minerales. Nutrimientos que son indispensables en el buen funcionamiento celular, su bajo costo sumado a que es fácil de conseguir, también ayuda a prevenir enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer, esto ha hecho que su consumo aumente (Carrillo-Gómez et al., 2017). Por lo que es importante tomar en cuenta la inocuidad en este tipo de producto de gran distribución y potencial riesgo sanitario ya que por sus características, el manejo a granel y el tipo de recolección con el que se obtiene vuelve a la semilla vulnerable a algún tipo de contaminación (Hernández-Gómez et al., 2008). Una característica importante de la semilla es el bajo contenido de agua disponible, esto hace pensar que es un alimento de bajo riesgo, sin embargo, se ha demostrado existencia de brotes de microorganismos patógenos en productos secos, por ello que este tipo de alimentos pueden ocultar microorganismos dentro de su matriz alimentaria y pasar muy fácilmente las pruebas de control de calidad (Enache et al., 2015).

Al ser una semilla no puede tener los tratamientos convencionales para su conservación y/o almacenamiento, esto aunado a que las diferentes especies de semillas comestibles no responden de igual manera a los tratamientos y almacenamientos. La mayoría de semillas mantienen mejor su viabilidad cuando se conservan con bajos contenidos de humedad. Diversas condiciones afectan adversamente su longevidad; altas temperaturas, la luz del sol, los insectos y enfermedades fúngicas o bacterianas llegan a provocar la total pérdida de viabilidad en cuanto a sus propiedades y características organolépticas (Gálvez-Ramírez, 2012).

El desarrollo de resistencia bacteriana a los antibióticos, ha llevado a los investigadores a encontrar nuevos métodos antimicrobianos en los alimentos para

tener un menor rango de contaminación en los consumidores y disminuir el fenómeno, por estas razones métodos no convencionales en el tratamiento de esta semilla, como la luz pulsada de alta energía (LPDAE) y la fase de vapor con aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) se han tomado en cuenta para el tratamiento de productos con este tipo de características (Naik et al., 2010).

La LPDAE es una de las tecnologías emergentes que se utilizan para reemplazar la pasteurización térmica tradicional entre procesos no térmicos y tiene como objetivo reducir el deterioro de los microorganismos y los patógenos de los alimentos sin afectar mucho su calidad. Se puede describir como una técnica de esterilización o descontaminación utilizada principalmente para inactivar los microorganismos de la superficie de los alimentos, el material de envasado y los equipos mediante el daño a su ADN (Abida J., 2014).

La actividad antimicrobiana de los aceites y extractos de plantas ha formado la base de muchas aplicaciones, incluidas la conservación de alimentos, productos farmacéuticos, medicina alternativa, etc. Ya que se ha encontrado que este tipo de compuestos contienen antidepresivos, antioxidantes, antisépticos, astringentes, propiedades bactericidas y fungicidas, nervinas y sedantes. Por otro lado, se ha informado sobre la actividad antimicrobiana del aceite de zacate limón contra una amplia gama de organismos que comprenden organismos gram positivos, gram negativos, levaduras y hongos (Naik et al., 2010).

Muchas plantas se han utilizado a lo largo del tiempo en fase de vapor en la preparación de alimentos y perfumes. Sin embargo, en la mayoría de los estudios para aplicaciones antimicrobianas han evaluado el efecto solo cuando hay contacto directo entre el microorganismo y el agente antimicrobiano, esto nos lleva a que los aceites esenciales en la fase de vapor podrían ser altamente efectivos contra los patógenos de superficie que contaminan los alimentos utilizándolos en concentraciones relativamente más bajas que en fase líquida (Tyagi y Malik, 2010).

3. Revisión bibliográfica.

3.1 Historia de la conservación.

La historia de la conservación de los alimentos está estrechamente relacionada a la evolución humana. Desde que se tiene conocimientos la conservación de los alimentos ha sido fundamental para la supervivencia, las reservas de alimentos eran necesarias para sobrevivir durante los largos y gélidos inviernos o las prolongadas sequías. En un principio los alimentos se tomaban de la naturaleza; la recolección, la caza y la pesca, se conseguían en las proximidades con rudimentarias herramientas y se consumían in situ. La demanda de alimentos procesados y la conciencia sobre la calidad y seguridad de los alimentos están aumentando rápidamente y la creciente competencia en el mercado han hecho que los procesadores adopten nuevas tecnologías no térmicas que conservan los nutrientes y las propiedades sensoriales de los productos (Oms-Oliu *et al.*, 2010).

La conservación de los alimentos es un punto de control crítico que influye y determina una amplia gama de resultados, que van desde la conservación de la calidad nutricional, la seguridad de los alimentos, la naturaleza saludable de los alimentos, la textura, el sabor y las cualidades sensoriales, y el atractivo del consumidor, junto con el cumplimiento, hasta varios puntos en la cadena de valor que incluyen el almacenamiento a largo plazo, el transporte a larga distancia y la comercialización (Regnier *et al.*, 2012). Una cuestión muy importante para tomar en cuenta son las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) son un problema de salud pública y una causa importante de morbilidad, que ocasiona una carga económica significativa para las naciones, perjuicios para los consumidores y un impacto al comercio internacional de productos alimenticios. Más de 250 enfermedades se transmiten a través de los alimentos y su incidencia ha aumentado considerablemente durante las últimas décadas por la globalización del mercado de alimentos y los cambios en los hábitos alimenticios. Adicionalmente, este problema se acrecienta con la aparición de nuevas formas de transmisión, en grupos poblacionales vulnerables, y el incremento de la resistencia bacteriana (Palomino-Camargo *et al.*, 2017).

3.2 Definición de la calidad de los alimentos.

Calidad es una palabra que a menudo se escucha al hablar de alimentos, especialmente cuando el producto se encuentra en el mercado o en la mesa. Sin embargo, el concepto básico de calidad puede ser difícil de definir, especialmente cuando al desconocer los avances logrados por la ciencia y la tecnología en el campo de la alimentación y la nutrición en los últimos dos siglos (Ritieni, 2013).

Hoy en día, la "calidad total de los alimentos" es claramente un concepto parcialmente objetivo en el sentido de que puede definirse según criterios científicos y tecnológicos y en parte subjetivo porque los juicios de los consumidores, principalmente basados en su evaluación, también pueden coincidir en su definición. Las propiedades de los alimentos que contribuyen a la definición y evaluación de la "calidad total de los alimentos" incluyen (1) los atributos sensoriales y organolépticos, (2) la seguridad de los alimentos, (3) el valor nutricional, (4) la funcionalidad, (5) el servicio y la estabilidad, (6) la integridad, y (7) factores psicológicos (Giusti et al., 2008).

Pero desde el punto de vista de los consumidores, de hecho, varios aspectos contribuyen a definir la calidad de un producto alimenticio: no solo son cualidades intrínsecas como el sabor y otras propiedades organolépticas, sino también factores externos como el origen y el etiquetado (Dumont y Bernues, 2014). Las diferencias en la evaluación de la calidad tienen varias consecuencias, tanto en términos de comportamientos, creencias y actitudes por parte de los consumidores, como en lo que respecta al uso y la búsqueda de información al elegir un producto. La expectativa de calidad en última instancia afecta los patrones dietéticos, las formas en que se preparan los alimentos, así como las decisiones de compra actuales y futuras. O sea que el concepto de calidad está esencialmente definido por el consumidor y, por lo tanto, no es fácil de medir (Brunsø et al., 2002).

3.3 Chía (*Salvia hispánica L.*).

La chía (*Salvia hispánica L.*) fue ampliamente utilizada en la antigua Mesoamérica durante milenios junto con otros granos básicos como el maíz, el amaranto y los frijoles, la semilla de chía fue un cultivo sumamente importante en la cultura prehispánica. Como ejemplo se tiene a los aztecas una de las culturas más representativas que asaban las semillas de chía y las mezclaban con agua para formar una papilla para comerlas o molerlas en harina para hornear. También utilizaron aceite de semilla de chía en pinturas corporales, como ungüento y emoliente. Además, se utilizaba una pasta hecha de las semillas húmedas mucilaginosas como cataplasma para heridas y para eliminar la suciedad del ojo. Sin embargo, debido a su asociación con las prácticas medicinales y religiosas indígenas, el cultivo de chía fue prohibido por los conquistadores españoles (Segura-Campos et al., 2016).

Hoy en día la chía se sigue consumiendo en forma de una bebida conocida como 'agua de chía', su cultivo sólo sobrevivió en las áreas montañosas de México y Guatemala. A finales del siglo pasado, el interés por la chía resurgió por considerarla una buena fuente de omega-3, fibra alimentaria, proteína y antioxidantes. Como resultado, las semillas de chía pueden considerarse importantes para la producción de alimentos funcionales, lo que puede aumentar su valor económico (Porras-Loaiza et al., 2014).

Diferentes partes de esta planta están disponibles comercialmente para el consumo humano en todo el mundo, como complementos alimenticios. Las semillas de chía se consumen generalmente en forma de tierra o como jugos de cereales integrales, con leche, en bebidas refrescantes y ensaladas. Más recientemente, la harina de fibra de chia comenzó a consumirse como un ingrediente en los productos de panadería y en las industrias de bebidas debido a sus propiedades nutricionales y funcionales, que incluyen la fijación de grasas y la formación de gel (Oliveira-Alves, et al., 2017).

Mientras tanto, sus propiedades nutricionales han despertado un interés reciente en su comercialización a Europa, Canadá y los Estados Unidos. Los primeros estudios establecieron que las semillas de chía son una buena fuente de proteínas, aceites y polisacáridos (Porras-Loaiza et al., 2014).

La chía es una especia aromática como la menta, el tomillo, el romero y el orégano. Proviene de la familia de las *Lamiáceas*; En la Tabla 1 se muestra la información sobre la jerarquía taxonómica de la chía (Martínez, 1959). Una de las especies vegetales con la mayor concentración de ácido graso alfa-linolénico omega 3. Su planta tiene una altura entre unos 1 y 1,5 metros y sus tallos son ramificados, de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Las hojas opuestas con bordes miden de 80 a 100 cm de longitud, y 40 a 60 mm de ancho (Jaramillo-Garcés, 2013). Las flores son hermafroditas, purpúreas a blancas, y aparecen en ramilletes terminales, sobre pedicelos; el cáliz es un tubo acampanado, ligeramente comprimido lateralmente, con pelillos a lo largo de las venas, florece entre julio y agosto en el hemisferio norte (Martínez, 1959).

Tabla 1. Taxonomía de la semilla de chía (*Salvia hispánica* L.)

Jerarquía	Descripción
Reino	<i>Plantae</i> - Planta
Subreino	<i>Tracheobionta</i> – Planta vascular
División	<i>Magnoliophyta</i> - Angiosperma
Clase	<i>Magnoliopsida</i> – Dicotiledóna
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Lamiales</i>
Familia	<i>Lamiaceae</i> - Menta
Género	<i>Salvia</i> L. - Salvia
Especie	<i>Salvia hispánica</i> L.

(Martínez, 1959).

En el verano, las flores dan lugar a un fruto en forma de aquenio. Sus hojas son enteras y ovaladas de hasta 6 cm de largo, con pelos en la parte de abajo y poco onduladas en las orillas (Musa et al., 2019). La chía es un cultivo que crece en condiciones tropicales y subtropicales y no es tolerante a las heladas (Ayerza y Coates, 2004). La semilla es muy pequeña, café con rayas o manchas negras, parda-grisácea, rica en mucílago, fécula y aceite; tiene unos 2 mm de largo por 1 mm de ancho, y es ovalada y lustrosa (Oliveira-Alves et al., 2017).

3.4 Importancia de la chía.

La chía es una gran portadora de ácidos grasos omega-3, también esta semilla contiene más proteína y aceite que otros granos, un alto contenido de ácido linoleico, esencial en la alimentación y efectivo para disminuir las afecciones cardiovasculares. Presenta en su composición otros componentes de gran interés para la nutrición humana, como la fibra, las proteínas, y antioxidantes naturales que evitan los procesos oxidativos en alimentos (Hernández-Gómez y Miranda-Colín, 2008).

El aceite de semilla de chía es una fuente interesante de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Contiene la mayor proporción de ácido α -linolénico 60% de cualquier fuente vegetal conocida. Este ácido graso pertenece a la familia omega-3 y es esencial para el crecimiento y desarrollo normal del cuerpo humano, desempeña un papel importante en la prevención y el tratamiento de la enfermedad de las arterias coronarias, la hipertensión, la diabetes, la artritis y otras enfermedades inflamatorias. Los ácidos grasos omega-3 son aquellos que se derivan del ácido α -linolénico, donde este actúa en el cuerpo humano como un sustrato para la transformación del ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), mediante la acción de las enzimas de saturación y elongación (Alabdulkarim et al., 2012).

El aceite de semilla de chía también contiene un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados (Ixtania et al., 2008). En la Tabla 2 se puede observar las cantidades de

ácidos grasos en las semillas de chía de los diferentes estados productores (Porras-Loaiza et al., 2014).

Tabla 2. Comparación del porcentaje de ácidos grasos en semillas de chía (*Salvia Hispánica L.*) en principales estados productores.

Ácido Graso (%)	Puebla	Oaxaca	Chiapas	Michoacan	Sinaloa
Laurico	0.01	ND	ND	ND	ND
Miristico	0.04	ND	ND	ND	ND
Pentadecanoico	0.02	ND	ND	ND	ND
Palmitico	7.06	6.00	6.22	6.08	6.30
Palmitoleico	0.22	ND	ND	ND	ND
Heptadecanoico	0.04	ND	ND	ND	ND
Esterico	5.21	2.79	2.95	3.17	3.00
Oleico	7.70	8.74	7.05	7.29	7.50
Araquidico	0.24	ND	0.38	ND	ND
Linoleico	18.87	19.45	20.12	19.75	19.90
α -Linolenic	59.89	62.44	62.78	63.24	61.90
γ -Linolenico	0.31	ND	ND	ND	ND
Eicosadienoico	0.21	ND	ND	ND	0.30
Eicopentanoico	0.13	ND	ND	ND	ND

ND=No detectado

(Porras-Loaiza et al., 2014)

Se han identificado muchos compuestos bioactivos con alto potencial antioxidante en las semillas de chía, por ejemplo, ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido cinámico, ácido ferúlico y ácido p-cumárico), flavonoides, (quercetina, kaempferol, epicatequina, rutina y apigenina), antioxidantes (tocoferoles) y esteroides. (Kobus-Cisowska et al., 2019). La chía ofrece una gran perspectiva de futuro para los sectores alimenticios, médicos, farmacéuticos y nutracéuticos (Peiretti y Gai, 2009).

Los componentes de reserva de las semillas consisten en proteínas, carbohidratos y lípidos. La proporción relativa y localización de estos compuestos varía de acuerdo con la especie. Las semillas, en general, son fuente de compuestos lipídicos que incluyen ácidos grasos, tocoferoles, triglicéridos, fosfolípidos, esfingolípidos y esteroides (Jiménez et al., 2013). En la Tabla 3 podemos observar la composición nutricional de las semillas de chía en Puebla, Michoacán, Oaxaca y Chiapas que son los principales productores de esta semilla en México (Porrás-Loaiza et al., 2014).

Tabla 3. Composición de semillas de chía (*Salvia Hispánica L.*) en principales estados productores por cada 100 gr.

Componente	Puebla	Oaxaca	Chiapas	Michoacán
Energía (Kcal)	440	380	400	320
Proteína (%)	18.49	20.27	22.03	22.32
Grasa (%)	32.68	22.30	23.66	21.49
Fibra (%)	20.10	34.61	33.47	36.15
Agua (%)	5.28	7.28	7.27	7.64
Carbohidratos (%)	18.65	10.59	9.05	7.85
Ceniza (%)	4.87	4.50	4.55	4.55

(Porrás-Loaiza et al., 2014)

Aporta muy pocos carbohidratos y sus proteínas son escasas de gluten por lo que son aptas para enfermos celíacos, es una buena fuente de vitamina B, calcio, fósforo, potasio, zinc y cobre. Como fuente de proteínas la chía, luego de su ingestión, se digiere y absorbe muy fácilmente, esto resulta como un rápido transporte a los tejidos y utilización por parte de las células (Jaramillo-Garcés, 2013).

Las semillas de chía son nutricionalmente valiosas (Ayerza y Coates, 2011) Las especificaciones de la EC dan la composición aproximada de chía como: 91% - 96% de materia seca, 20% - 22% de proteínas, 30% -35% de grasas, 25% - 41% de

carbohidratos, 18% - 30% de fibra bruta (principalmente indigestibles celulosa, pentosanos y lignina) y 4% - 6% de cenizas por cada 100gr de chía (EC, 2009).

Según Martínez-Cruz y Paredes-López (2014), la chía podría incorporarse a la dieta humana como una fuente novedosa de isoflavonas, debido a su alta capacidad antioxidante. Se encontraron altas concentraciones de lípidos, proteínas, fibra dietética total, minerales y vitamina E en las semillas de chía brasileñas, pero la bioaccesibilidad de los minerales en chía fue baja (da Cruz Cabral et al., 2013).

Sandoval-Oliveros y Paredes-López (2013) evaluaron el contenido de proteínas de las semillas de chía, obteniendo un buen balance de aminoácidos esenciales. La calidad de las semillas de chía se ve afectada por los genotipos (Cahill, 2004; Cahill y Ehdaie, 2005) y las condiciones del ecosistema (Ayerza, 2016; Karim et al., 2015). Por lo tanto, la identificación del origen de las semillas de chía también es un área de investigación importante. La pureza de las semillas de chía también es un tema de interés. Bueno et al. (2010) descubrieron que muchas de las semillas de chía están adulteradas, la pureza físico-botánica de las semillas varía entre 0% y 98,6%, pero no hubo diferencias en el contenido de ácidos grasos. Los compuestos fenólicos en chía también fueron evaluados por diferentes estudios (Rahman et al., 2017). Oliveira-Alves et al. (2017) encontraron principalmente ácido cafeico y danshen y sus derivados, como los ácidos rosmarínico y salvianólico.

Y ya que es una excelente fuente de ácido α -linolénico, ácido linoleico y ácido erúcico, siendo el α -linolénico el de mayor abundancia en la semilla de chía, lo que representa una importancia nutricional destacable porque éste participa como precursor de otros ácidos grasos esenciales y además da origen a ciertas prostaglandinas, Leucotrienos y Tromboxano con actividad antiinflamatoria, anticoagulante y antiagregante (PGE3, PGI3, TXA4 Y LTB5) (Silveira Rodríguez, et al., 2003). También la semilla de chía se ha caracterizado por ser una buena fuente de vitaminas y minerales del complejo B como la Niacina, tiamina y ácido fólico, así como Vitamina A. Además la semilla de chía es una fuente excelente de calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc y cobre, como se muestra en la Tabla 4. Otra

de las grandes ventajas de esta semilla es su bajo contenido en sodio (Ayerza y Coates, 2004).

Los niveles de hierro (Tabla 4) encontrados en las semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) y en la harina remanente después de extraer el aceite son muy elevados y representan una cantidad inusual para la semilla comparada con otros productos tradicionales conocidos como fuentes ricas de hierro presenta, cada 100g de porción comestible, 6; 1,8 y 2,4 veces más cantidad de hierro que la espinaca, las lentejas y el hígado vacuno, respectivamente (Ayerza y Coates, 2004).

3.5 Usos generales de la chía.

Debido a la composición que presenta la semilla de chía, ha sido posible que tanto la semilla como los subproductos derivados de ella (aceite, harina, aceite micro-encapsulado) puedan ser incorporados a diferentes matrices alimentarias como masas para panificación, bebidas, cereales, mezclas secas, entre otras, para dar un valor agregado. El contenido de aceite presente en la semilla de chía es de alrededor de 33%, el cual presenta el mayor porcentaje de ácido α -linolénico conocido hasta el momento (62-64%) se usa de aceite de chía en suplementos dietarios (Jaramillo-Garcés, 2013).

La chía se utiliza como semillas de chía enteras y como harina de chía o chía molida, empapada en agua o seca. Dependiendo de la aplicación, solo se utiliza el mucílago o el aceite de chía para su posterior procesamiento. Para obtener harina de chía molida o chía se describen diferentes métodos. Debido al alto contenido de aceite, la molienda de las semillas conduce a problemas con respecto a la calidad de los ácidos grasos. Diferentes autores utilizaron diferentes métodos para moler las semillas de chía como la trituradora de doble cuchillo (Coelho y Salas-Mellado, 2015).

Tabla 4. Contenido de vitaminas y elementos esenciales en semillas y harina desengrasada de chía (*Salvia hispánica L.*).

Nutriente	Semilla entera de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>)
Macroelementos (mg/100g)	
Calcio	714
Potasio	700
Magnesio	390
Fosforo	1067
Microelementos (mg/100g)	
Aluminio	2.0
Boro	0.0
Cobre	0.2
Hierro	16.4
Manganeso	2.3
Molibdeno	0.2
Sodio	0.0
Zinc	3.7
Vitaminas (mg/100g)	
Niacina, B3	6.13
Tiamina, B1	0.18
Riboflavina, B2	0.04
Vitamina A	44 IU

(Ayerza et al., 2004)

También por su gran contenido de proteína los concentrados y aislados de varias proteínas vegetales se usan para reemplazar total o parcialmente las proteínas de carne y lácteos en muchos alimentos procesados. Esto aunado a que las proteínas, los aminoácidos esenciales y los polipéptidos aislados a partir de la chía que promueven la salud también se usan para impartir características sensoriales deseables como estructura, textura, sabor y color (Timilsena et al., 2016). La chía

molida se ha utilizado recientemente como aditivo para productos de panadería como el bizcocho y el pan. La chía se usa allí como semilla entera, remojada o seca, o como chía molida o harina de chía. El objetivo principal es la mejora nutricional de los productos horneados (Zettel y Hitzmann, 2018).

El yogur también parece ser una aplicación prometedora para las semillas de chía. agregaron semillas de chía al yogur como refrigerio a media mañana con el efecto de una saciedad a corto plazo que resulta en una menor ingesta de energía a la hora del almuerzo. Pero también se probaron otras aplicaciones de incorporación de chía en productos lácteos, por ejemplo, produjeron un postre tradicional indio con 6% de harina de chía y lograron resultados sensoriales aceptables (Zettel y Hitzmann, 2018).

La chía también se usa en panes especiales para dietas sin gluten, para mejorar la calidad nutricional. La calidad nutricional de los panes sin gluten es principalmente baja. Tratan de imitar el gluten y contienen más grasa y sal pero menos minerales y vitaminas que sus equivalentes con gluten (Pellegrini y Agostoni, 2015). Debido a la liberación de mucílago, la chía también puede considerarse un mejorador tecnológico para los panes sin gluten. La combinación de chía con otras materias primas valiosas nutricionales resulta en aplicaciones prometedoras (Moreira et al., 2010). La fermentación de la masa de harina de chía mejoró los resultados tecnológicos y de cocción para el pan de trigo suplementado con harina de chía (Bustos et al., 2017).

3.6 Contaminación microbiológica de productos secos.

Por lo general, se ha considerado que los alimentos con un bajo contenido de humedad como las nueces y semillas presentaban un riesgo bajo de transmisión de enfermedades, dado que se consumen en estado seco. Una serie de estudios han asociado varios alimentos con un bajo contenido de humedad a enfermedades transmitidas por los alimentos, como las especias, el chocolate y las fórmulas en polvo para lactantes (Harris, 2012). Los parámetros utilizados para determinar la

calidad de las semillas pueden ser fisiológicos, propios de la semilla o sanitarios, relacionado a los patógenos que pueden estar asociados a ella (Hernández-Gómez y Miranda-Colín., 2008). La chíá al ser una semilla con baja humedad limita el control microbiológico; sin embargo, la manera que es cultivada tiene una característica y unas posibilidades muy altas de tener cargas microbianas elevadas por el contacto que tiene con suelo, en todo momento perciben una alta cantidad de microorganismos en el periodo de tiempo de su recolección, manejo, almacenamiento y distribución. Es por eso que es tan importante caracterizar y evaluar las cargas bacterianas al momento que se distribuyen los productos alimenticios, pues una carga elevada puede ser la causa de un brote en una población (Harris, 2012).

La detección en el laboratorio de los microorganismos patógenos puede ser muy complicada, lenta y muy costosa para determinaciones rutinarias. Cuando se encuentra un microorganismo patógeno puede haber casos en que se realice una prueba confirmatoria y esta resulte negativa, lo que invalida el primer análisis permitiendo que el patógeno continúe en el alimento. Puede haber casos en que no se detecte por razones circunstanciales como condiciones ambientales, lote de producto, tipo de muestreo o la cantidad de producto infectado que está contaminando, sin mencionar que el manejo del alimento implique el riesgo de contaminación haciendo que el patógeno aparezca en cualquier momento como un falso negativo, así como su muerte por otros factores dentro del laboratorio mostrando un falso resultado de inactivación de microorganismos, para eliminar todos estos posibles factores se realizan pruebas analíticas; preliminares, presuntivas y confirmatorias (Morata-Barrado, 2010). La descomposición de los alimentos por hongos causantes de deterioro causa considerables pérdidas económicas y constituye un riesgo para la salud de los consumidores debido a la posibilidad de que los hongos producen micotoxinas. El uso indiscriminado de antifúngicos sintéticos ha conducido al desarrollo de cepas resistentes que han requerido la utilización de concentraciones más altas, con el consiguiente aumento de residuos tóxicos en los productos alimenticios (da Cruz Cabral et al., 2013).

Las semillas se desinfectaron comúnmente con tratamientos químicos que pueden contener cloro, hipoclorito de sodio y / o hipoclorito de calcio; sin embargo, para las semillas de chíá estos tratamientos son difíciles debido a la rápida formación de gel cuando las semillas entran en contacto con el agua. Por lo tanto, un nuevo tratamiento de desinfección para las semillas de chíá que no use agua será de gran interés para la industria alimentaria (Reyes-Jurado et al., 2019).

3.7 Métodos de conservación de semillas.

Los alimentos pierden calidad desde el momento que son cosechados u obtenidos a través de cambios que son consecuencia de reacciones físicas, químicas o microbiológicas. Los microorganismos y las enzimas son los principales agentes responsables del deterioro y deben por tanto ser los principales objetivos de las técnicas de conservación. Para garantizar la conservación de semillas, así como la calidad, es necesario recurrir a su almacenamiento y conservación. Concentrar la producción en lugares estratégicamente seleccionados y proporcionar a los productos almacenados las condiciones necesarias para que no sufran daños por la acción de plagas, enfermedades o del medio ambiente, evitando así mermas en su peso, reducciones en su calidad o la pérdida total (Hernández-Guzmán y Carballo-Carballo 2014). La mejor manera de conservar este tipo de productos es en silos o sacos, independientemente del uso que se le dará al producto cosechado, es importante no olvidar que la semilla son entes vivientes que respiran oxígeno del ambiente y producen como resultado bióxido de carbono, agua y energía que se traduce en calor en la medida en que se lleve a cabo el proceso de la respiración, lo hará también el deterioro del grano o la semilla. En México no existen cifras precisas que indiquen el volumen de pérdida de granos y semillas sin embargo, se estima que anualmente se pierde entre el 5% y el 25% de la producción total de maíz, trigo y frijol a causa de plagas, malas prácticas de almacenamiento, sequias e inundaciones en los cultivos (Méndez-Aguilar, 2019).

3.8 Tratamientos no térmicos.

Los métodos más recientes aplicados para el control microbiano de los alimentos son térmicos o químicos. Ambos no son deseables hoy en día, porque inducen muchas reacciones químicas incontroladas y, a veces, reducen significativamente el valor nutricional de los productos frescos. Inevitablemente, se necesita una nueva estrategia para inactivar microorganismos patógenos y dañinos de manera rentable y respetuosa con el medio ambiente. Con este fin; La ciencia y la tecnología de los alimentos se esfuerzan continuamente por desarrollar y proporcionar a la humanidad alimentos adecuados, seguros, saludables y de mejor calidad, que satisfagan las demandas de disponibilidad, variedad y conveniencia. La tecnología fotónica moderna basada en fotosensibilización podría servir como una herramienta prometedora para descontaminar alimentos o superficies relacionadas con alimentos de diferentes patógenos transmitidos por alimentos y micro hongos-dañinos (Paskeviciute et al., 2019).

Actualmente la investigación en industria alimentaria se dirige a reemplazar las técnicas de preservación de alimentos tradicionales, tratamientos térmicos intensos con periodos de tiempo prolongado, salado, acidificación, desecación y conservación química por nuevas técnicas que se adapten mejor al tipo de alimentos demandados ahora por el consumidor de alta calidad sin procesamientos agresivos, nutritivos, naturales, seguros, libres de conservantes, de gran vida útil, fáciles rápidos de preparar (Morata-Barrado, 2010).

Otras nuevas tecnologías térmicas y no térmicas, como el calentamiento óhmico, ultrasonido, campo eléctrico pulsado y la alta presión también han sido investigadas para mejorar la seguridad microbiana y adaptarse a una variedad de aplicaciones para procesar alimentos mínimamente, producir productos frescos y productos naturales. En los últimos años, la tecnología ultravioleta (UV) ganó mucho interés como una alternativa a la pasteurización térmica debido al deterioro de la calidad a través de la degradación de vitaminas y carbohidratos, el oscurecimiento no enzimático, la decoloración y la formación de sabores desagradables (Orlowska et al., 2013).

La luz UV constituye parte de la radiación electromagnética en un rango de 100 a 400 nm y se subdivide en vacío UV (100–200 nm), UV-C (200–280 nm), UV-B (280–315 nm) y UV-A (315–400 nm). La radiación UV-C se aplicó por primera vez para la desinfección del agua potable y se encontró que es eficaz contra muchos patógenos humanos, virus, bacterias, levaduras y protozoos). Estos resultados positivos alentaron la investigación sobre las aplicaciones UV para el procesamiento y la conservación de alimentos (López-Malo y Palou, 2005).

La irradiación de alimentos es una de las tecnologías de conservación de alimentos recientes que se pueden utilizar para abordar algunos de los problemas que tiene la preservación alimenticia con otros métodos más agresivos. Es un proceso físico que se ha investigado exhaustivamente y se entiende tan bien como otros métodos de procesamiento de alimentos, o más (Loaharanu y Mainuddin, 1991).

Unos de los potenciales más grandes del procesamiento de la irradiación de alimentos son para reducir las pérdidas de alimentos posteriores a la cosecha, para cumplir con los requisitos de cuarentena, para aumentar las exportaciones y para garantizar la calidad higiénica de los alimentos ha sido cada vez más reconocido por muchos países (Loaharanu et al., 1991). Cantidades significativas de datos de investigación y experiencia comercial demuestran que la irradiación puede desempeñar un papel importante en la reducción de algunas de las enfermedades transmitidas por los alimentos. (WHO, 1981).

3.8.1 Luz Pulsada de Alta Energía (LPDAE).

La irradiación de alimentos es un proceso que expone los alimentos a la radiación ionizante, que es una forma de energía electromagnética (es decir, ondas de radio, microondas, luces visibles, rayos ultravioleta, rayos gamma, etc.) (FAO, 1984). El procesamiento de luz pulsada se puede describir como una técnica de esterilización o descontaminación utilizada principalmente para inactivar los microorganismos de la superficie en alimentos, material de empaque y equipos. Esta técnica utiliza energía de la luz en forma concentrada y expone el sustrato a intensos estallidos de

luz cortos (pulsos). Por lo general, para el procesamiento de alimentos se aplican de uno a veinte destellos por segundo (Angersbach et al., 2000).

Tradicionalmente, la radiación ultravioleta (UV) se ha utilizado como un desinfectante para la descontaminación del aire, la superficie y el agua. Recientemente, la industria alimentaria ha mostrado un interés creciente en el uso de la irradiación UV para la higienización de los alimentos líquidos y las superficies de los alimentos sólidos. Como una tecnología de procesamiento no térmico emergente, la radiación UV ofrece múltiples ventajas: la inactivación efectiva de una amplia gama de microorganismos de deterioro y patógenos, una pérdida mínima de la calidad nutricional y sensorial de los alimentos, no se conocen efectos tóxicos ni residuos del tratamiento, y bajo consumo de energía en comparación con otros procesos de pasteurización térmica y no térmica (Gayán et al., 2014). Los pulsos de luz de alta intensidad (LPDAE) son una de las tecnologías emergentes más prometedoras para inactivar microorganismos en superficies, en líquidos y bebidas transparentes, y en alimentos sólidos (Reyes-Jurado et al., 2019).

La emisión de esta energía se genera gracias a una lámpara de luz ultravioleta (UV) que como todos los fenómenos lumínicos tiende a dispersarse, reflejarse y absorberse en todas las superficies, como se puede ver en la Figura 1 en la parte superior de la imagen se encuentra un punto rodeado de líneas, estas representan la luz generada por el foco y su movimiento dentro de la cámara de luz pulsada, los valores que se encuentran debajo son las distancias en milímetros desde la fuente de emisión. De esta manera se observa un tratamiento en un milisegundo mientras la energía se mueve dentro de la cámara y sobre las muestras (Mendez-Aguilar, 2019).

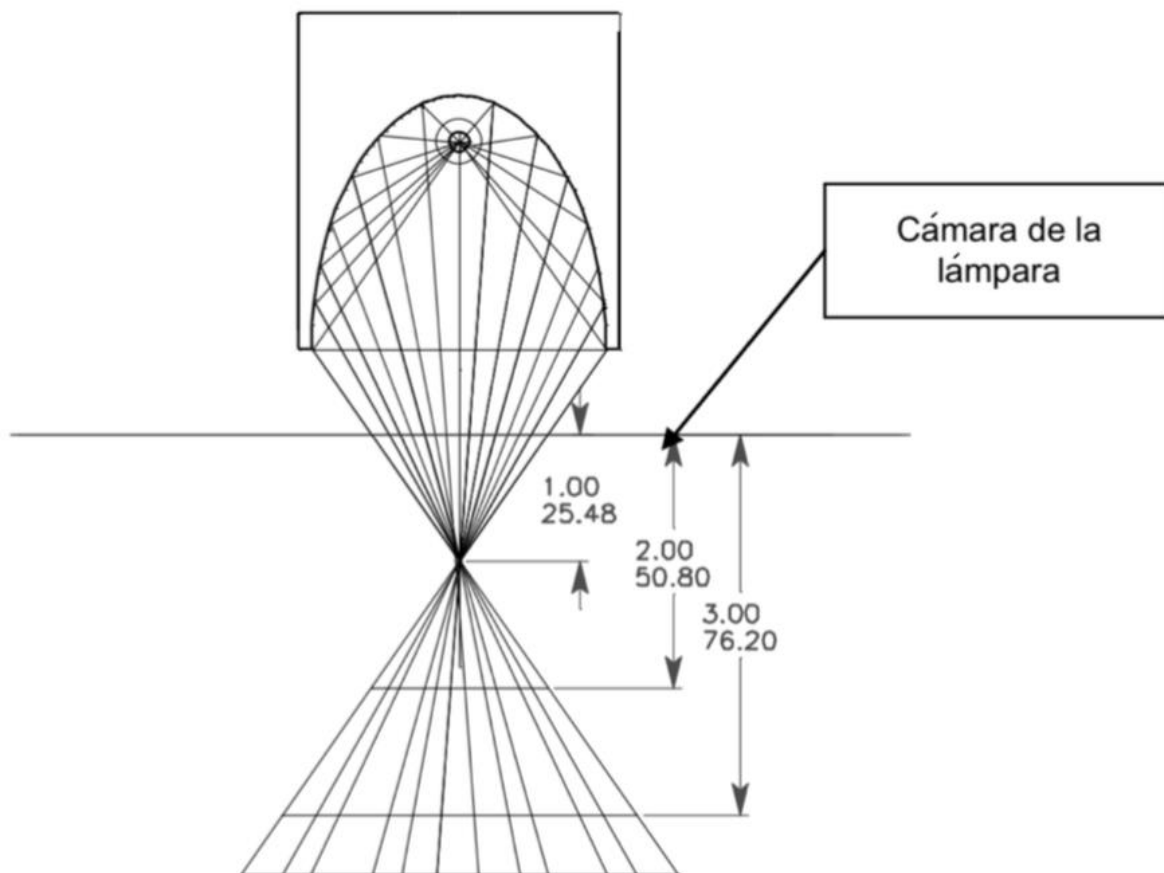


Figura 1. Dispersión de la energía emitida por la lámpara y la manera en la que se expande dentro de la cámara antes de llegar a la muestra, se muestra la dispersión de la luz en 2.54, 5.08 y 7.62 cm respectivamente. Extraído de XENON Corporation, (2014) (Mendez-Aguilar, 2019).

3.8.2 Mecanismo de inactivación microbiana de la LPDAE.

La letalidad de la luz pulsada se puede atribuir a su rico contenido ultravioleta de amplio espectro, a su corta duración, a su alta potencia de pico y a la capacidad de regular la duración del pulso y la salida de frecuencia de las lámparas de flash (Dunn et al., 1995., Takeshita et al., 2003), genera muy poco calor, en comparación a otros métodos térmicamente más agresivos. Puede entregar energías máximas 100,000 veces más altas que la intensidad del sol sobre la superficie de la tierra, proporciona más fotones más rápido a temperaturas más bajas. Esto es similar a penetrar un

bloque de madera con un clavo, se podría presionar un clavo en la madera con un dedo durante 10 segundos sin efecto, o ejercer la misma cantidad de energía y clavar la punta al instantáneamente en la madera con un solo golpe de un martillo. La luz pulsada, como el martillo, proporciona luz a una potencia máxima alta para una penetración profunda en solo un par de segundos. El principal mecanismo por el que se produce la inactivación microbiana es la formación de dímeros de bases pirimidínicas adyacentes en la cadena de ADN, fundamentalmente de timina, que impiden el desdoblamiento de la doble hélice durante el proceso de duplicación celular. La región UV-C (200-280 nm) es la principal causante de estas lesiones en el material genético. Este tratamiento consiste en la aplicación sucesiva de destellos intensos de amplio espectro (de 200 a 1.100 nm) y corta duración (10^{-3} a 10^{-2} milisegundos) que ocasiona la inactivación microbiana (Fernández y Hierro, 2015).

3.8.3 Factores que afectan la inactivación microbiana por luz pulsada.

Las propiedades ópticas de las células, por ejemplo, su grado de dispersión y absorción de la luz son importantes. El haz de luz incidente sufre refracción debido a la diferencia en la densidad óptica entre el sustrato y el aire circundante, sin embargo también hay algunos microorganismos resistentes a la luz pulsada (Elmnasser, 2007)

La interacción entre la luz y las células microbianas es un factor muy importante desde el punto de vista de la eficacia del tratamiento con luz pulsada. La composición del medio y la longitud de onda de la luz incidente deciden el reflejo, la refracción, la dispersión y la absorción de la luz, la refracción y el reflejo de la luz son vitales para los tratamientos de superficie. Para los materiales alimenticios transparentes y coloreados, la refracción es particularmente relevante, mientras que, para los materiales alimenticios opacos, la reflexión es el fenómeno predominante (Bhavya y Hebbar, 2017).

A medida que aumenta la distancia de la fuente de luz y la profundidad del sustrato, la absorción y la dispersión disminuyen. Esto se debe a que la intensidad de la luz disminuye a medida que viaja a través del sustrato. La distribución cuantitativa de

la dosis de luz dentro de un sustrato se describe con el término profundidad de penetración óptica, que representa la distancia a través de la cual la luz disminuye en la tasa de fluencia al 37% de su valor inicial. La penetración óptica varía con la longitud de onda, las longitudes de onda más cortas proporcionan una penetración más profunda en el alimento que las longitudes de onda más largas (Dagerskog y Osterstrom, 1979).

3.8.4 Aplicaciones de la Luz Pulsada de Alta Energía y limitaciones.

Esta tecnología se ha utilizado recientemente en aplicaciones alternativas, como inactivación de microorganismos en alimentos, la mejora del secado, la modificación de la actividad enzimática, la conservación de productos alimenticios sólidos y semisólidos y el tratamiento de aguas residuales, además de las aplicaciones de pretratamiento para mejorar la extracción de metabolitos de una manera ecológica y suave. La aplicación de la Luz Pulsada de Alta Energía es especialmente prometedora para la industria de los cítricos, que se preocupa por el deterioro de los microorganismos y la producción resultante de compuestos con sabor desagradable como las bacterias del ácido láctico (Altunakar, 2002).

Los atributos del tratamiento de esta tecnología no solo han encontrado aplicabilidad en la posible desintegración o pasteurización de productos alimenticios, sino también en el tratamiento de aguas residuales, que también pueden considerarse como un producto generado durante el procesamiento de alimentos (Jaeger et al., 2009).

3.9 Antimicrobianos de origen natural.

Los agentes antimicrobianos son compuestos químicos presentes o añadidos en los alimentos que retardan el crecimiento microbiano o causan la muerte de los microorganismos. El uso de antimicrobianos es una práctica común en la industria de los alimentos. Por muchos años se han utilizado antimicrobianos sintetizados químicamente (en algunos casos ha causado daño a la salud de los consumidores), provocando un rechazo por parte de los consumidores, por lo cual ha surgido la necesidad de buscar otras opciones. En esta búsqueda se han encontrado nuevos

agentes antimicrobianos de origen natural, como sustitutos de los tradicionalmente utilizados (Nychas, 1995).

3.10 Aceites esenciales (AE).

Los aceites esenciales (AE) son líquidos oleosos volátiles que se obtienen de diferentes partes de las plantas y se usan ampliamente para saborizar alimentos (Burt, 2004). A pesar de haber sido reconocido durante mucho tiempo por sus propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, insecticidas y antioxidantes el reciente interés en sustancias naturales alternativas ha llevado a una nueva conciencia científica de estas sustancias. (Peñalver et al., 2005).

Con el fin de garantizar la seguridad alimentaria, existe la necesidad de generar medidas de control eficaces con conservantes antimicrobianos, que garanticen la inactivación bacteriana y que a su vez no generen efectos secundarios por su consumo; los métodos de conservación de alimentos que estén exentos de productos químicos pero que presenten compuestos antimicrobianos seguros y eficaces abren paso a numerosos estudios con productos naturales, como es el caso de los AE de plantas, ya que los conservantes químicos, aunque controlan el desarrollo microbiano, generan gran debate por los efectos secundarios en la salud humana (Tyagi y Malik, 2010).

La actividad antimicrobiana de los AE se encuentra relacionada con la composición química, por ejemplo, frutos cítricos cuentan con un promedio de 40 compuestos, los cuales se ven influenciados por métodos específicos de cultivo, extracción y separación; los aceites esenciales de cítricos se encuentran principalmente en la cáscara de la fruta, su extracción es económicamente sostenible, ya que la cáscara constituye un desperdicio para la industria de jugos de frutas; en consecuencia, el interés de estos como agentes antimicrobianos y conservantes en los alimentos abre una posible alternativa para sustituir los conservantes y antibióticos convencionales (López et al., 2005).

El aroma inherente y la actividad antimicrobiana de los AE suelen estar relacionadas con la concentración y la estructura química de sus componentes y también con las

interacciones entre los componentes que afectan sus propiedades bioactivas. Su principal ventaja es que pueden usarse en cualquier alimento y que la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos ha clasificado estas sustancias como Generalmente Reconocidas como Seguras (estado GRAS) o como aditivos alimentarios aprobado (Naik et al., 2010).

3.11 Fase de vapor.

El uso potencial que tienen los aceites de origen natural al utilizarlos de manera directa se ha limitado principalmente por las alteraciones que causan en las características organolépticas de los alimentos. Por lo que recientes investigaciones se han planteado algunas soluciones a dicho problema, entre las cuales destacan la utilización de los vapores generados por los aceites; lo que resultaría en una menor modificación sensorial en el producto final. El uso potencial de los vapores de los aceites sería un sistema en el que interactúe el producto, el ambiente y un empaque, sin tener que añadirlo como un aditivo alimentario. Las técnicas de fase de vapor se basan en la generación de vapores de los aceites y la creación de una atmosfera a una cierta temperatura, o un microambiente dado por los propios aceites, los cuales entran en contacto con los microorganismos y llevan a cabo sus reacciones antimicrobianas (Goñi et al., 2009).

La bioactividad de los EO en la fase de vapor es una alternativa interesante que los hace potencialmente útiles como agentes antimicrobianos para la conservación de productos frescos almacenados; Ya se han obtenido resultados prometedores, especialmente para bacterias y hongos, además de que se reduciría la cantidad de AE utilizada (Reyes-Jurado et al., 2019).

Los aldehídos exhiben propiedades antifúngicas y antiinflamatorias; el citral y el citronelal son muy comunes y ocurren en las EO de limoncillo, naranja, limón, mandarina, eucalipto, citronela y té de halcón, varios estudios han demostrado que la actividad citotóxica de las EO contra las células microbianas se debe principalmente a la presencia de alcoholes, aldehídos y fenoles (Popovic et al., 2019). Además de esto, pueden sustituir los aditivos sintéticos en los alimentos,

favoreciendo la estabilidad de los mismos y protección contra las alteraciones lipídicas por su actividad antioxidante. La composición de los aceites esenciales varía de acuerdo con las diferentes partes de la planta de las cuales se extrae, y puesto que sus compuestos volátiles son los que presentan el efecto antimicrobiano, la determinación de su composición es importante, para ello, diversos investigadores emplean la cromatografía de gases para su determinación. Asimismo se ha demostrado que los principales componentes volátiles de los aceites derivan de un grupo de terpenos, sesquiterpenos y posibles diterpenos, los cuales a su vez contienen diferentes grupos de hidrocarburos, ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres y cetonas, por lo tanto, de acuerdo al grupo químico funcional de cada aceite esencial se derivan sus componentes dependiendo del grupo químico funcional al que pertenecen. La generación de vapores de aceites esenciales se basa en la creación de una atmósfera a una cierta temperatura, o microambiente dado por los propios aceites, de tal manera que los vapores generados por los aceites esenciales entran en contacto con los microorganismos y consecuentemente su evaporación en el interior del microambiente puede generar zonas de inhibición (Reyes, 2012). Algunos estudios han informado que el vapor generado por los aceites esenciales tiene un mayor efecto antimicrobiano en comparación con las formas líquidas aplicadas por contacto directo. Boukhatem et al. (2014) informaron que las moléculas lipofílicas en la fase acuosa se asocian para formar micelas y, por lo tanto, restringen la unión de los aceites esenciales a los microorganismos, mientras que la fase de vapor permite la unión libre.

La fase de vapor de los aceites esenciales tiene un impacto particular contra los mohos debido a su crecimiento superficial, lo que los hace más susceptibles a los compuestos volátiles de los aceites esenciales. Los aceites esenciales son mezclas de muchos compuestos químicos, y en la fase líquida las proporciones de estos compuestos individuales son relativamente estables. Sin embargo, cada compuesto tiene una volatilidad diferente, y cuando esta mezcla se introduce en un ambiente no saturado, los compuestos volátiles comienzan a difundirse a diferentes

velocidades de acuerdo con su peso molecular, hasta que alcanzan el equilibrio en un ambiente cerrado (Kloucek et al., 2012).

Los vapores de los aceites esenciales afectan los mohos en diferentes etapas de su ciclo de vida, como la germinación, el crecimiento de hifas y la esporulación. La inactivación de los conidios en el aire por compuestos volátiles de aceites esenciales en la fase de vapor es una parte clave del proceso de inhibición de hongos, ya que los conidios en el aire son generalmente difíciles de inactivar, siendo estables cuando se someten a calor, luz y compuestos químicos (Dao et al., 2008). Como los efectos antimicrobianos de cada aceite esencial son diferentes, la actividad antimicrobiana debe evaluarse utilizando la concentración inhibitoria mínima (CMI). CMI se define como la concentración más baja de un aceite esencial que previene el crecimiento visible de un microorganismo en condiciones bien definidas. Además, también se puede informar la concentración bactericida mínima o la concentración fungicida mínima, y se refieren a la concentración más baja de AE a la que no se observa un nuevo crecimiento después del subcultivo en medio fresco (sin la AE bajo prueba). La actividad de las OE contra los mohos también se puede evaluar midiendo la inhibición de la esporulación y / o la producción de micotoxinas (Wiegand et al., 2008).

3.12 Mecanismo de acción de los aceites esenciales.

Se cree que la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales depende de tres características principales: el carácter de un aceite esencial (hidrófilo o hidrófobo), los componentes químicos de un aceite esencial y el tipo de microorganismo (Reyes-Jurado et al. 2015). El carácter hidrofílico o hidrofóbico de un aceite esencial y su correspondiente modo de acción se deben a su capacidad (o falta de ella) para alterar y penetrar la estructura lipídica de la pared celular de un microorganismo, alterando las estructuras celulares que conducen a la desnaturalización de proteínas y la destrucción de la membrana celular, aumentando su permeabilidad. y la probabilidad de rupturas citoplasmáticas, fugas o lisis celular, y eventualmente muerte microbiana. Los componentes específicos

del aceite esencial pueden actuar interfiriendo (o no) con la translocación de protones y la fosforilación de ATP (Fisher y Phillips, 2008).

En las bacterias, la permeabilización de la membrana se asocia con una pérdida de iones y la reducción del potencial de membrana correspondiente, colapsando la bomba de protones y agotando el conjunto de ATP. En las células eucariotas, los aceites esenciales causan la despolarización de las membranas mitocondriales al disminuir el potencial de membrana, afectan el ciclo iónico del Ca^{++} y otros canales iónicos, reducen los gradientes de pH, afectando (como en las bacterias) las bombas de protones y el conjunto de ATP. Las bacterias gram-negativas son generalmente menos susceptibles a las AE que las bacterias gram-positivas porque la membrana externa de las bacterias gramnegativas contiene lipopolisacáridos hidrofílicos que crean una barrera contra las macromoléculas y los compuestos hidrofóbicos, lo que proporciona una mayor tolerancia a los compuestos antimicrobianos hidrofóbicos como los presentes en los aceites esenciales (Pesavento et al., 2015)

3.13 Aplicaciones reales y potenciales de la fase de vapor de aceites esenciales.

Como los efectos antimicrobianos de los vapores generados por los aceites esenciales contra los microorganismos aún se están estudiando, hay pocos informes que indiquen su posible aplicación en la industria alimentaria. De estas pocas investigaciones, se mostró un efecto positivo cuando se utilizaron aceites esenciales en la fase de vapor en envases activos (Serrano et al, 2005).

Avila Sosa et al. (2012) incorporaron aceites esenciales en películas comestibles de amaranto, quitosano y almidón y estudiaron su actividad antifúngica por contacto de vapor. Informaron que las películas comestibles de quitosano que incorporan orégano mexicano o aceite esencial de canela podrían mejorar la calidad de los alimentos por la acción de los compuestos volátiles en el crecimiento superficial de los mohos.

Jobling (2000) informó que los hongos empaquetados en bolsas de plástico con una atmósfera modificada a base de dióxido de carbono, oxígeno y vapor de aceite esencial de eucalipto tenían una buena apariencia y el crecimiento bacteriano se redujo significativamente. Skandamis y Nychas (2002) evaluaron la calidad de la carne fresca almacenada en envases activos basada en atmósferas modificadas generadas con dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y vapor de aceite esencial de orégano, y demostraron que la presencia de vapor de AE de orégano mejora la calidad organoléptica de productos y su conservación, mientras que la apariencia visual y el sabor de la carne no se alteraron significativamente. Wang (2003) informó que algunos compuestos volátiles de aceite esencial de árbol de té utilizados en envases activos para la preservación de frambuesas utilizando atmósferas modificadas y almacenados a 10 ° C mantuvieron la calidad y retrasaron significativamente el deterioro de las frambuesas. Asimismo, Serrano et al. (2005) desarrollaron paquetes activos que contienen aceite esencial de eugenol, mentol, timol y eucaliptol para cerezas durante el almacenamiento, y descubrieron que el crecimiento de levadura y moho se redujo significativamente; Además, se mejoró la calidad de las cerezas probadas, manteniendo el color y la firmeza de la fruta.

Tzortzakis (2007) evaluó la calidad de las fresas y tomates expuestos al vapor de eucaliptos y canela EO, y demostró una muy buena protección contra los microorganismos, además de mejorar la calidad de la fruta. Suhr y Nielsen (2003) evaluaron la fase de vapor del aceite esencial de canela, laurel, clavo, zacate limón, mostaza, naranja, salvia, tomillo y romero para preservar el pan de centeno, e informaron que la fase de vapor del aceite esencial de mostaza y zacate limón fueron los agentes más efectivos probados. Du et al. (2009) estudiaron la actividad antimicrobiana de aceites esenciales de especias, ajo y orégano en películas de tomate contra *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica* y *Listeria monocytogenes*, y mostraron que las películas de tomate impregnadas con aceite esencial inhibieron el crecimiento de los microorganismos probados de manera dependiente de la concentración. Llegaron a la conclusión de que las películas de tomate comestibles impregnadas con aceite esencial pueden generar vapor que tiene el potencial de proporcionar múltiples beneficios a los consumidores. Phillips

et al. (2012) probaron el efecto antifúngico de una mezcla de aceite esencial de bergamota y naranja en la fase de vapor al exponer tomates y granos al vapor. Este estudio mostró que la mezcla funcionaba como un antifúngico eficiente sin afectar los atributos sensoriales de los alimentos probados.

4. Justificación.

Dadas las propiedades y características de la Chía (*Salvia hispanica*) no es posible aplicar métodos de desinfección o sanitización convencionales para garantizar su calidad sanitaria. Para incrementar el tiempo de vida útil de productos alimenticios en este caso semillas de chía, se ha buscado implementar diferentes métodos de conservación e inhibición, la aplicación de tratamientos de conservación alternativos, como la luz pulsada de alta energía en combinación con la fase de vapor del AE (aceite esencial) de zacate limón (*Cymbopogon citratus*), minimizando el riesgo sanitario que comúnmente se tiene por la falta de un tratamiento bactericida para esta semilla, conservando sus características sensoriales que por causa de otros tratamientos agresivos no se podrían mantener con alto grado de calidad.

5. Objetivos

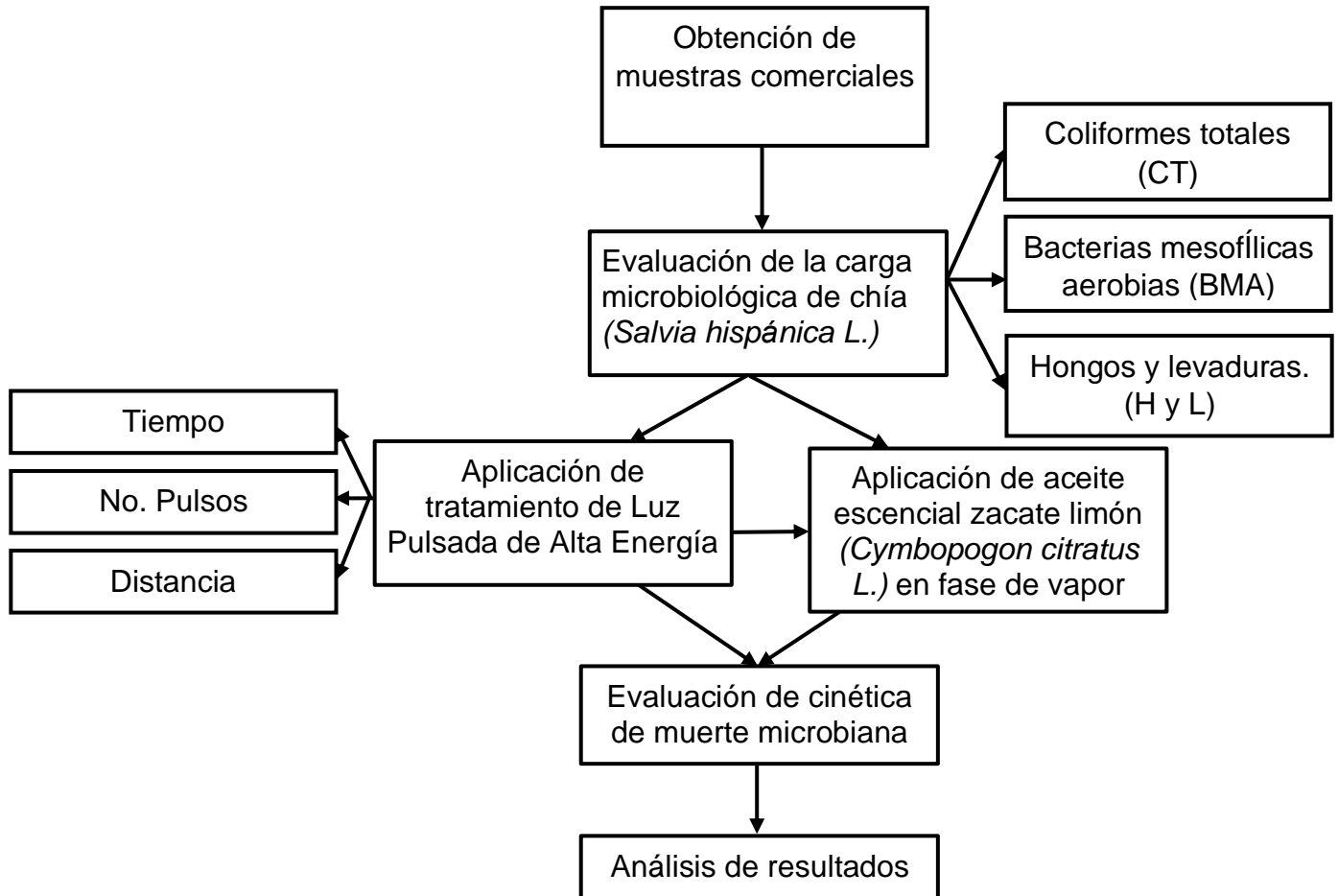
5.1 Objetivo general.

1. Evaluar la combinación de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus*) y luz pulsada de alta energía en la calidad microbiana de chía (*Salvia hispánica L.*).
2. Realizar la cinética de muerte microbiana con el modelo Weibull utilizando el método combinado.

5.2 Objetivos particulares.

1. Evaluar la calidad microbiana presente en chía (*Salvia hispánica L.*).
2. Evaluar la combinación de diferentes tratamientos de luz pulsada de alta energía y la concentración de aceite esencial zacate limón (*Cymbopogon citratus L.*) en chía (*Salvia hispánica L.*) para inactivar por completo la carga microbiana.

6. Diagrama de trabajo.



7. Materiales y métodos

El material de vidrio y reactivos utilizado fue: los necesarios para cada determinación (grado analítico). La Tabla 5 muestra determinaciones y normas consultadas y la Tabla 6 muestra equipos empleados.

Tabla 5. Métodos utilizados

Determinación.	Técnica.	Referencia.
Dilución en placa.	Vertido en placa.	NOM 110-SSA1-1994.
Determinación de coliformes totales.	Vertido en placa.	NOM-113- SSA1-1994.
Determinación de BMA.	Vertido en placa.	NOM-092-SSA1-1994.
Determinación de Hongos y Levaduras.	Vertido en placa.	NOM-092-SSA1-1994.
Aplicación de tratamiento con luz pulsada de alta energía.	Luz pulsada de alta energía.	XENON Corporation, 2014.

Tabla 6. Equipos utilizados

Equipo	Marca	Modelo
Balanza.	VELAB.	VE-5000.
Linear Lamp SteriPulse.	XENON.	Z-1000.
Vortex.	IKA.	RW11.
Cuenta colonias.	SPIRAL BIOTECH.	Q-COUNT.
Campana de flujo.	ESEVE.	CFL-102V.
Parrilla de calentamiento.	FISHER CIENTIFIC.	Isotemp.
Micro-pipeta 1000µl.	LABMATE PRO	LMP 1000
Micro-pipeta 100µl.	SCIENCE MED	YE4A369250
Incubadora.	BG	E-41

8. Metodología.

8.1 Muestreo.

Las muestras de chía fueron adquiridas de manera aleatoria en los diferentes mercados populares del estado de Puebla y se verificó su carga microbiana para compararla con los resultados de los tratamientos que posteriormente se le aplicaron.

8.2 Determinación de la carga microbiana en la semilla de chía (*Salvia hispánica* L.).

Para mantener la certeza de haber trabajado con esterilidad, se colocaron controles de agar puro (todos los tipos de agar utilizados) en cada esquina de la campana y en estas condiciones de inocuidad con el aire proporcionado por la campana de flujo laminar se evaluó en 10 cajas Petri de 10 ml con 3 gr de chía de diferentes presentaciones y muestras, pesando 1 gr de las semillas. Colocándola en tubos de 9ml con agua peptonada al 1%, después se aplicó agitación por 5 s con el vórtex. Se tomó 1 ml de la muestra hasta llegar a un par de tubos con diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} . Se realizó vertido en placa en donde se les agregó aproximadamente 10-15 ml de agar fundido Rojo Violeta Bilis, agar Nutritivo y agar Papa Dextrosa, finalmente se procedió a incubar a los BMA y CT a 37°C por 24-48 h y los H-L a temperatura ambiente por 7 días para su posterior lectura.

8.3 Tratamiento con Luz Pulsada de Alta Energía (LPDAE).

Los experimentos se llevaron a cabo en la planta piloto del Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental de la Universidad de las Américas de Puebla (UDLAP) en un aplicador SteriPulse PL de lámpara lineal Z-1000. Este sistema consta de un módulo de control de potencia y una cámara de tratamiento (con una lámpara de xenón sin mercurio). Este sistema LPDAE genera un espectro de banda ancha entre 100 y 1,100 nm. Aproximadamente el 20, 26 y 54% de la energía transmitida proviene de la región infrarroja, luz visible y UV, respectivamente. Las especificaciones del fabricante establecen que este sistema

proporciona Luz Pulsada de Alta Energía a una velocidad de tres pulsos por segundo con una longitud de pulso de 360 μ s. La fluencia es de 1.27 J/cm² para una entrada de 3.800 V a 1.9 cm por debajo del eje central de la ventana de cuarzo de la lámpara de xenón PL. De acuerdo con las especificaciones del manual, la fluencia se calculó en función de la distancia y el tiempo utilizados para el tratamiento aplicado.

A la semilla de chía aplicó una múltiple combinación de tiempos a la misma distancia, con un espesor de capas de semilla de 4 mm y energías de al menos 16.20 J/cm²; primero se prepararon las placas Petri con 3 gr de chía y se colocaron por duplicado dentro del equipo Z-1000 16" Linear Lamp SteriPulse® para darles el tratamiento. Se realizaron múltiples experimentos de este tratamiento de 1 a 14 s dentro de la cámara. A la vez también por experimentos previos ya se tenía determinada que la distancia tendría que ser a los 10.80 cm. Realizado ese tratamiento se procedió a determinar la carga microbiológica de la misma manera descrita anteriormente, pero ahora con chía tratada en la cámara de pulsos a diferentes segundos por duplicado en cada segundo.

8.4 Modelado cinético de curvas de inactivación.

Las curvas de inactivación microbiana se ajustaron utilizando el modelo de Weibull solo para el tratamiento con luz pulsada de alta energía ya que en la combinación de tratamientos (luz pulsada de alta energía y la fase de vapor de aceite esencial) los valores analizados no se ajustaron al modelo de Weibull:

$$\log \frac{N}{N_0} = -bt^n$$

donde b y n son los parámetros de escala y forma del modelo, respectivamente. El modelo de Weibull corresponde a una curva de supervivencia ascendente cóncava cuando $n < 1$, una curva descendente cóncava cuando $n > 1$, y una curva lineal cuando $n = 1$. (Reyes-Jurado et al., 2019)

8.5 Aplicación de tratamiento de aceite esencial en fase de vapor a chía previamente tratada con luz pulsada de alta energía.

A la chía tratada con la luz pulsada de alta energía por 12 s a una distancia de 10.80 cm alcanzando una energía de 16.20 J/cm² se le aplicó la fase de vapor de AE obtenido de manera comercial a concentraciones de 227, 454 681 y 909 µL/L (aire) en tiempos de 0 a 24 horas cada una.

Esto se hizo en placas Petri de 10 ml de volumen con 3 gr de chía tratada, colocando papel filtro en la parte superior de la caja para aplicar el aceite esencial con una micro-pipeta al papel, después de esto se sellaron cajas Petri con parafilm, dejando actuar la fase de vapor durante una hora en la primera placa; pasando esta primera hora se retiraron esas semillas del tratamiento transfiriéndolas a tubos de ensayo con rosca previamente esterilizados para mantener la inocuidad de la chía. Este procedimiento se repitió por cada hora durante 24 h, posteriormente se analizó la carga microbiana de estas muestras con la misma técnica de dilución por vertido en placa previamente descrita con la finalidad de evaluar el tiempo y la concentración en los que el AE de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) es más efectivo y así poder generar la cinética microbiana de 24 h en cuanto a este tratamiento.

9. Resultados y discusión.

9.1 Evaluación de la carga microbiológica de la chía.

La calidad sanitaria de la chía (*Salvia hispanica* L.) se muestra en la Tabla 7 y muestran elevados valores de bacterias mesofílicas aerobias, hongos y levaduras por encima de los valores que marca la norma de harinas y productos secos (NOM-147-SSA1-1996). Estos valores significan que hay alta contaminación en este tipo de productos que se distribuyen en mercados o comercios que generalmente no están controlados por autoridades sanitarias y que no presentan buenas prácticas de almacenamiento. Los límites microbiológicos permitidos para el consumo de productos secos son elevados considerando las características del producto. En cuanto a coliformes totales los valores están por debajo de lo permitido por la norma descrita anteriormente. Se han presentado diversos brotes de enfermedades transmitidas por alimentos que han sido encontrados en este tipo de productos (Enache et al., 2015). Recientemente, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades informaron un brote multiestatal de infecciones por *Salmonella* vinculadas al polvo orgánico de chía germinado (Reyes-Jurado et al., 2019)

Tabla 7. Carga microbiológica inicial Bacterias Mesofílicas Aerobias, Hongos y Levaduras y Coliformes totales de muestras de chía (*Salvia hispanica* L.)

	Log (UFC/g)	Límites permitidos* Log (UFC/g).
Bacterias Mesofílicas Aerobias	5.6±0.09	4
Hongos y Levaduras	4.0±0.10	2.4
Coliformes Totales	<1	1.4

*NOM-147-SSA1-1996

9.2 Evaluación de la aplicación de luz pulsada de alta energía en chíá (*Salvia hispanica* L.)

En la Figura 2 se observa que al usar tiempos de 1 s a la distancia de 10.80 cm de la fuente de luz con una energía de 1.35 J/cm² de tratamiento; en las BMA se redujeron cerca de 2 ciclos logarítmicos de BMA pero al pasar el tiempo de 2 a 12 s a la misma distancia pero con energías que van de 2.70 a 16.20 J/cm², la reducción es mínima, lo que quiere decir que a cortos periodos de tiempo esta tecnología es muy eficaz inhibiendo las bacterias mesofílicas aerobias, pero conforme va transcurriendo el tiempo se observa una resistencia, teniendo un efecto bacteriostático, hasta que a los 13 s disminuye otro ciclo logarítmico.

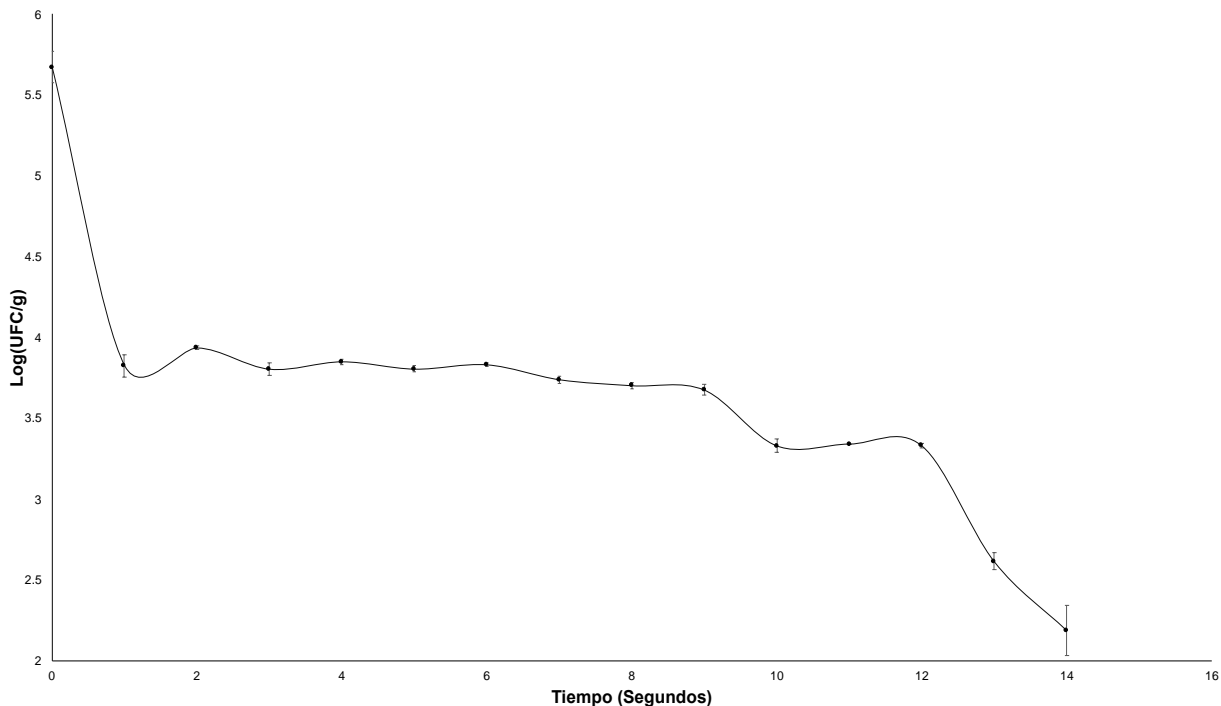


Figura 2. Cinética de Bacterias Mesofílicas Areobias (BMA) presentes en chíá (*Salvia hispanica* L.) tratada con luz pulsada de alta energía a una distancia de 10.8 cm.

Las bacterias al ser organismos muy poco desarrollados, pueden generar una resistencia a la LPDAE, y hace él tratamiento ineficaz para este tipo de productos, a que utilizando tiempos superiores a los 15 s con distancias cortas \leq a 10.80 cm

se emite una gran cantidad de energía superior a 70 J/cm^2 , logrando eficazmente la eliminación de microorganismos, sin embargo, esto aumenta súbitamente la energía y la temperatura en la parte central de la muestra ocasionado que se queme una parte importante, disminuyendo así la calidad de este producto, afectando seriamente sus características sensoriales (Reyes-Jurado et al., 2019). Sin embargo, Nicorescu et al. (2013) logró una reducción de hasta 1 ciclo logarítmico de *Bacillus subtilis* en un medio líquido y especias contaminadas artificialmente. Después del tratamiento de 14 s quedó menos de 1 ciclo logarítmico de BMA en las muestras.

En la Figura 3 se observa que no hay reducción logarítmica para Hongos y Levaduras en los primeros cuatro segundos con la distancia de 10.80 cm y con energías que van de 1.35 a 5.40 J/cm^2 (obtenidas a partir del número de pulsos, la distancia y la temperatura que se generó en la cámara de LPDAE) al llegar al segundo 5 con la misma distancia y una energía de 6.75 J/cm^2 se logra reducir aproximadamente 1 ciclo logarítmico a partir de aquí hasta los 14 s se observa un efecto fugistático.

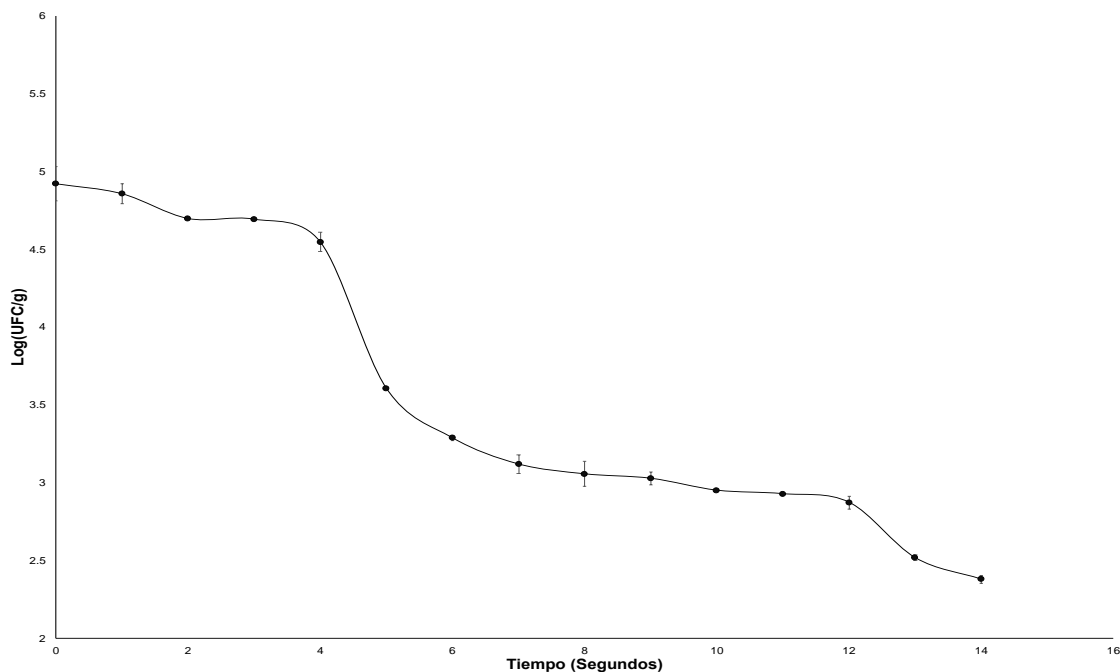


Figura 3. Cinética de Hongos y Levaduras (H-L) presentes en chía (*Salvia hispanica* L.) tratada con luz pulsada de alta energía a una distancia de 10.8 cm.

Maftai et al. (2014) informaron una reducción de hasta 4 unidades logarítmicas para *Aspergillus spp.* en granos de trigo. El tratamiento se realizó con 40 destellos de luz blanca de amplio espectro (180 – 1100 nm) con una liberación de energía global de 51.2 J / g. Además, los autores señalan para el mismo tratamiento con luz de un espectro de longitud de onda más estrecho (305 – 1100 nm y 400 – 1100 nm, respectivamente) resultó en una inhibición de hongos significativamente menor. Lo que demuestra que los hongos y levaduras al ser organismos más complejos generan una mayor resistencia a este tipo de tratamientos ya que no es tan fácil penetrarlas intracelularmente.

Otro factor importante además de los tiempos de tratamiento y número de pulsos, es el tipo de producto (Paskeviciute et al., 2010), ya que la forma de la chía es similar a una esfera, esto permite que el microorganismo se resguarde en un área de 360° lo que vuelve al tratamiento ineficaz en algunas partes donde la energía no lo alcanza, permitiendo así la supervivencia de microorganismos (Reyes-Jurado et al., 2019). Debido al tipo de matriz, se genera una múltiple capa de semillas en donde las muestras que se encuentran en la superficie reciben y captan la mayor cantidad de energía generada lo que provoca que microorganismos que se encuentran en puntos inferiores sobrevivan, ocasionando varios efectos de resguardo como los efectos de sombra, absorción y reflexión de energía (Pan et al., 2012). Hwang (2015), reporta reducciones de 1.02 ciclos logarítmicos de carga microbiana en semillas de sésamo con una energía de 39.85 J/cm² estos autores mencionan que la baja inactivación puede deberse al tipo de alimento, ya que solo los microorganismos en la capa superior de las semillas fueron irradiados siendo este un punto clave que afecta la eficiencia de la tecnología.

Con estos resultados se establecen las condiciones de trabajo funcionales para adecuar la energía generada, evitar la combustión de las semillas, evitar efectos protectores y lograr una reducción de la carga microbiológica demostrando a cuantos segundos sería adecuado el tratamiento de las semillas para su posterior combinación con la fase de vapor de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus L.*)

9.3 Modelado cinético de curvas de inactivación en el tratamiento de luz pulsada de alta energía en chía (*Salvia hispanica* L.).

Las figuras 4 y 5 muestran valores experimentales y los pronosticados por las curvas de inactivación del modelo Weibull de Bacterias Mesofílicas Aerobias y Hongos y Levaduras respectivamente para los experimentos con semillas de chía a diferentes tiempos de tratamiento a 10,80 cm con Luz Pulsada de Alta Energía los valores de los parámetros del modelo de Weibull para estas condiciones (fluencia de 16.20 J / cm²) en el caso de BMA el resultado $n < 1$ indican curvas descendentes cóncavas para las pruebas. La idoneidad de ajuste adecuada del modelo de Weibull se indicó mediante el valor medio de R² (0,924) para las condiciones anteriormente descritas. En el caso de H-L el resultado $n > 1$ indican curvas descendentes convexas para las pruebas. La idoneidad de ajuste adecuada del modelo de Weibull se indicó mediante el valor medio de R² (0,9872) para las condiciones anteriormente descritas.

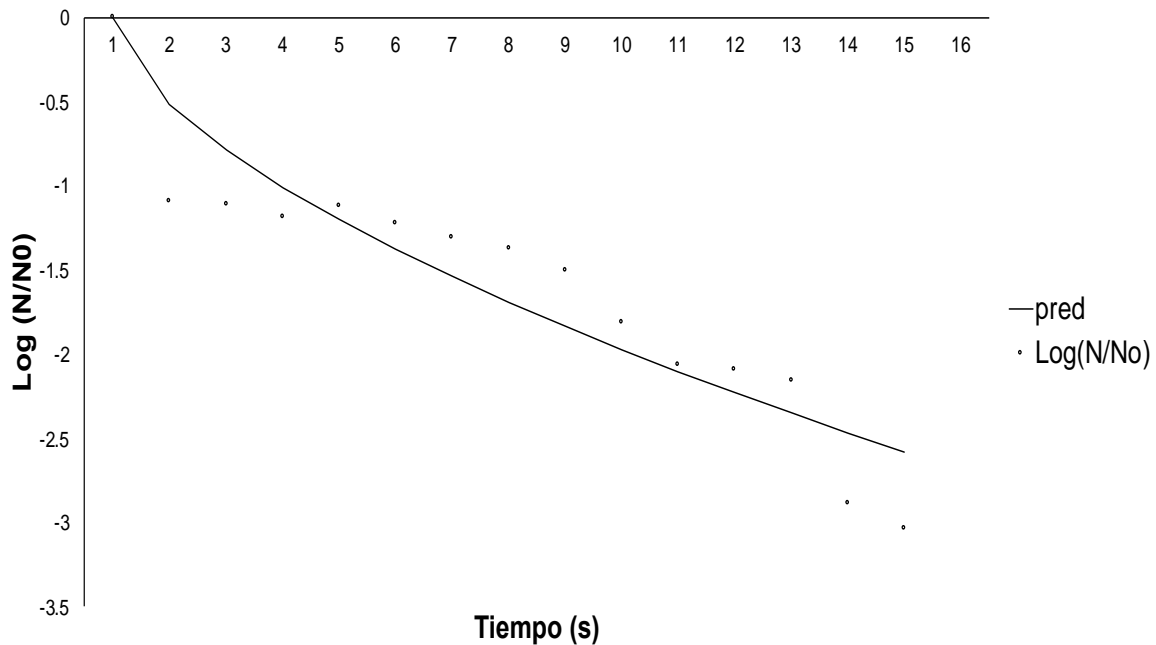


Figura 4. Valores experimentales y curvas de inactivación ajustadas derivadas del modelo Weibull para Bacterias Mesofílicas Aerobias tratadas con pulsos de luz de alta intensidad.

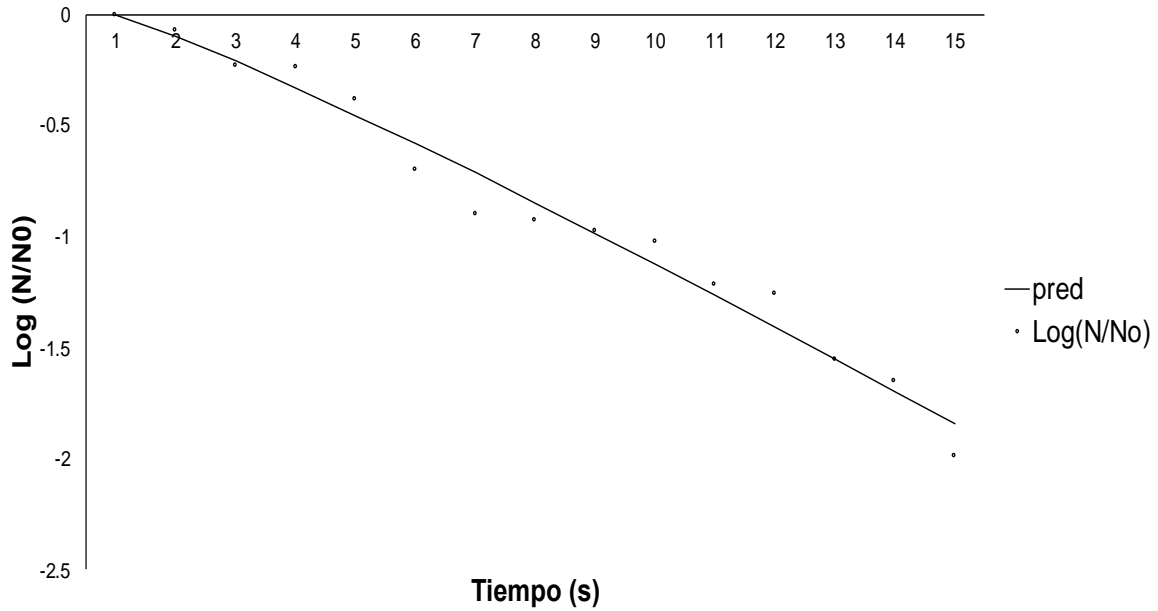


Figura 5. Valores experimentales y curvas de inactivación ajustadas derivadas del modelo Weibull para Hongos y Levaduras tratadas con pulsos de luz de alta intensidad.

Las Bacterias Mesofílicas Aerobias son más sensibles al tratamiento de luz pulsada que los hongos y las levaduras ya que hay velocidades de muerte $b=0.512$ para BMA y $b=0.096$ para H-L. Los valores experimentales se ajustan de una buena manera a los pronosticados ya que los errores cuadráticos medios (RMSE) que se obtuvieron son bajos para ambos parámetros analizados (RMSE= 0.287 y 0.0953 respectivamente).

9.4 Evaluación cinética microbiana frente a la combinación de la fase de vapor del aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) y la luz pulsada de alta energía (LPDAE).

En 24 h de tratamiento para las BMA no tuvieron una respuesta muy favorable en la concentración de 227 $\mu\text{L/L}$ (aire) en la fase de vapor del aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) al no reducir un solo ciclo logarítmico en 24 h. Este tratamiento mantuvo estable la carga de BMA (por debajo de las concentraciones ideales permitidas por la norma) se encontró también que al aumentar la concentración el efecto bactericida disminuía de una manera exponencial en las primeras 3 h del tratamiento disminuyendo casi 2 ciclos logarítmicos para BMA (Figura 6).

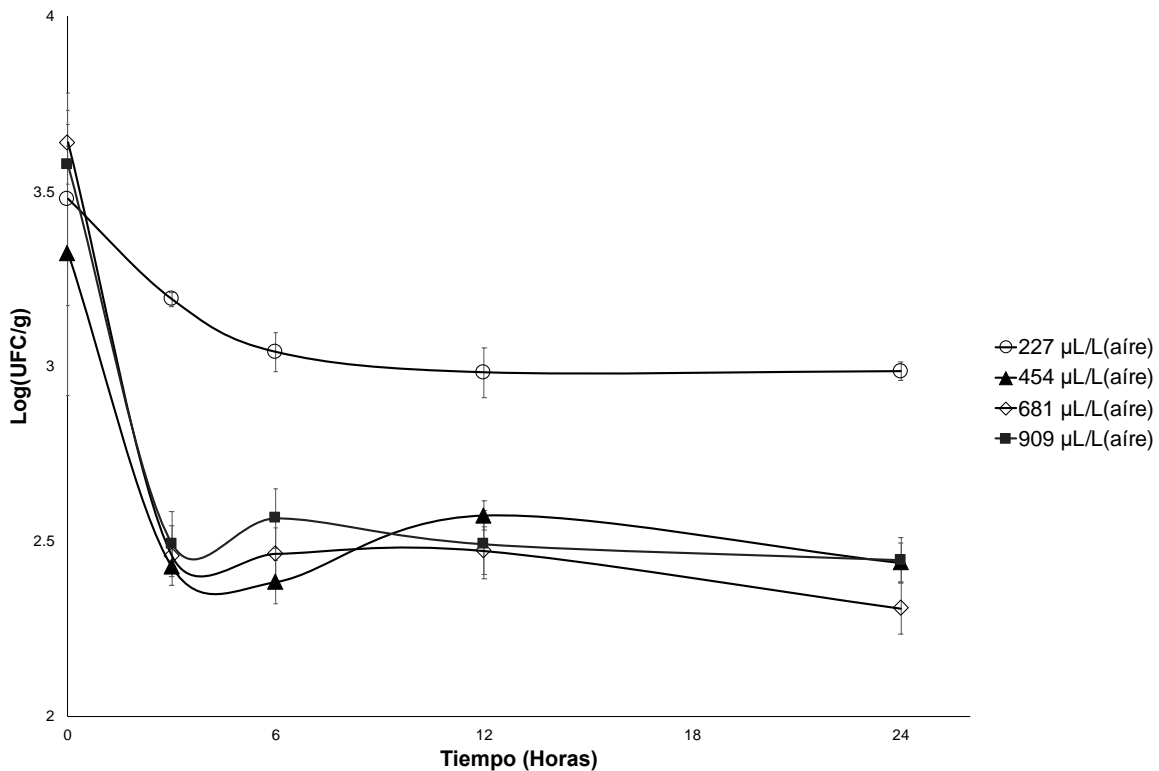


Figura 6. Bacterias Mesofílicas Areobias (BMA) presentes en chía (*Salvia hispanica* L.) tratada con luz pulsada de alta energía, y expuesta a diferentes concentraciones de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) por contacto en fase de vapor durante 24 h.

En el caso de Hongos y Levaduras después del tratamiento de luz pulsada y a concentraciones de 227 y 454 $\mu\text{L/L}$ (aire) en fase de vapor de aceite esencial de zacate limón se observa una acción fungicida mínima al no disminuir un solo ciclo logarítmico la cantidad de estos microorganismos y este efecto se extiende las primeras 12 h y a partir de aquí encontramos que hasta las 24 h se transformó en un fungistático, al elevar las concentraciones hasta 681 y 909 $\mu\text{L/L}$ (aire) se observó un comportamiento microbiológico similar hasta las 12 h, y después de este tiempo se observa que debido a la saturación que tiene el aceite esencial existió un efecto fungicida máximo en hongos y levaduras de la semilla de chía (Figura 7).

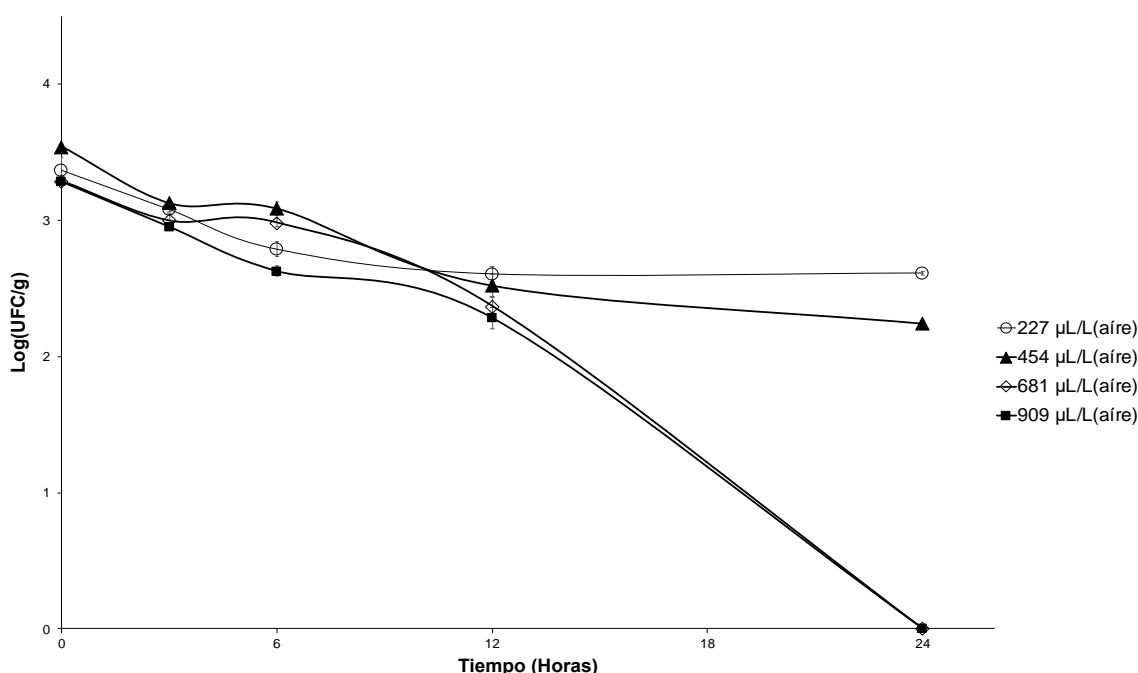


Figura 7. Cinética de Hongos y Levaduras (H-L) presentes en chía (*Salvia hispanica* L.) tratada con luz pulsada de alta energía (tiempo cero), y expuesta a diferentes concentraciones de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus* L.) por contacto en fase de vapor durante 24 h.

Naik et al, (2010) descubrió que el aceite de zacate limón es efectivo contra todos los organismos de prueba, excepto algunas BMA. La actividad antibacteriana se encontró aumentando progresivamente con el aumento de la concentración de aceite concordando con los resultados aquí expuestos. Belleti et al, (2004) encontró que el AE de zacate limón fue el más efectivo de los que utilizó en ese estudio. De

hecho, inhibió completamente el crecimiento de *S. cerevisiae*, a corde a nuestro estudio en el cuál hubo inhibición total de hongos y levaduras a las concentraciones más altas utilizadas.

10. Conclusiones.

- El uso de Luz Pulsada de Alta Energía resulta eficaz para tratar alimentos en superficie y disminuir la carga microbiológica de la chía considerablemente en periodos de tiempo relativamente cortos (12-14 s con energía de 6.75 J/cm²)
- El tratamiento de Luz Pulsada de Alta energía en combinación con la fase de vapor del aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus L.*) se mostró mucho más efectivo contra hongos y levaduras inactivando a toda la población a concentraciones de aceite esencial. Por lo que pueden ser considerados como una buena alternativa para la conservación de la chía.
- La combinación de tratamientos con 12 s de LPDAE y a concentraciones de 681 y 909 µL/L (aire) de la fase de vapor del AE fueron las más efectivas para inhibir el crecimiento de hongos y levaduras.

11. Recomendaciones.

- Analizar microorganismos específicos con esta combinación de tratamientos para verificar que no exista supervivencia de algún potencial patógeno.
- Analizar si esta combinación de métodos tiene un efecto en los bioproductos tóxicos (ej.: aflatoxinas fúngicas) de los microorganismos presentes.
- Llevar a cabo más investigaciones sobre la combinación del contacto en fase de vapor de aceites esenciales de origen natural y luz pulsada de alta energía en otro tipo de alimentos.

12. Referencias bibliográficas.

1. Abida J. (2014): Pulse light technology: a novel method for food preservation. *International Food Research Journal* 21(3) 838-848.
2. Alabdulkarim, B., Bakeet, Z. A. N., y Arzoo, S. (2012). Role of some functional lipids in preventing diseases and promoting health. *Journal of King Saud University-Science*, 24,319-329. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2012.03.001>
3. Altunakar, B. (2002). Chapter 1 Pulsed Electric Fields Processing of Foods : *Processing*.
4. Angersbach, A., Heinz, V., y Knorr, D. (2000). Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems. *Innovative Food Science Technologies*, 1(2), 135-149
5. Ávila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V., Navarro Cruz, A. R., y López-Malo, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153(1–2), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.10.017>
6. Ayerza, R. (2016). Crop year effects on seed yields, growing cycle length, and chemical composition of chia (*Salvia hispánica L.*) growing in Ecuador and Bolivia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(3), 196–200.
7. Ayerza, R., y Coates, W. (2004). Composition of chia (*Salvia hispánica L.*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science*, 44(3), 131–135. <https://doi.org/10.1002/ts.154>
8. Ayerza, R., y Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispánica L.*). The next generation of industrial crops, processes and products. *AAIC 2009*, 34(2), 1366–1371.
9. Belletti N., Ndagijimana M., Sisto C., Guerzoni M., Lanciotti R., and Gardini F. (2004) Evaluation of the Antimicrobial Activity of Citrus Essences on *Saccharomyces cerevisiae* Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare, Università degli Studi di Bologna, Via Fanin 46, 40127 Bologna, Italy.
10. Bhavya, M. L., y Umesh Hebbar, H. (2017). Pulsed light processing of foods for microbial safety. *Food Quality and Safety*, 1(3), 187–201. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx017>
11. Boukhatem, M. N., M. A. Ferhat, A. Kameli, F. Saidi, and M. Mekarnia. (2014). Liquid and vapour phase antibacterial activity of eucalyptus globulus essential oil 1/4 susceptibility of selected respiratory tract pathogens. *American Journal of Infectious Diseases* 10 (3): 105–17. doi: 10.3844/ajidsp.2014.105.117.
12. Brunsø K., Fjord A., Grunert K., (2002): Consumers ' Food Choice and Quality Perception. *Perception.*, 1–60.

13. Bueno, M., di Sapio, O., Barolo, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., & Severin, C. (2010). Quality tests of *Salvia hispánica L.* (*Lamiaceae*) fruits marketed in the city of Rosario (Santa Fe province, Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(3), 221–227.
14. Burt S. (2004): Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology*.
15. Bustos, A. Y., Gerez, C. L., Mohtar Mohtar, L. G., Paz Zanini, V. I., Nazareno, M. A., Taranto, M. P., et al. (2017). Lactic fermentation improved textural behaviour, phenolic compounds and antioxidant activity of chia (*Salvia hispánica L.*) dough. *Food Technology and Biotechnology*, 55(3).
16. Cahill, J. P. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispánica L.*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 51(7), 773–781.
17. Cahill, J. P., y Ehdaie, B. (2005). Variation and heritability of seed mass in chia (*Salvia hispánica L.*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(2), 201–207.
18. Carrillo-Gómez, C. S.; Gutiérrez-Cuevas, M.; Muro-Valverde, M.; Martínez-Horner, R.; Torres-Bugarín, O., (2017): La chía como súper alimento y sus beneficios en la salud de la piel. *El Residente.*, 12, 18–24.
19. Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. d. I. M. (2015). Effects of substituting chia (*Salvia hispánica L.*) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology*, 60(2), 729–736.
20. da Cruz Cabral, L.; Fernández Pinto, V.; Patriarca, A., (2013): Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 166, 1–14.
21. Dagerskog, M. and Osterstrom, L. (1979). Infrared radiation for food processing I: A study of the fundamental properties of infrared radiation. *Lebensmittel-Wissenschaft u. and Technologie* 12: 237–242.
22. Dao, T., Bensoussan, M., Gervais, P. y Dantigny, P. (2008). Inactivation of conidia of *Penicillium chrysogenum*, *P. digitatum* and *P. italicum* by ethanol solutions and vapours. *International Journal of Food Microbiology*.
23. Du, X., C. W. Olsen, R. J. Avena-Bustillos, T. H. McHugh, C. E. Levin, R. Mandrell, and M. Friedman. (2009). Antibacterial effects of allspice garlic, and oregano essential oils in tomato films determined by overlay and vapor-phase methods. *Journal of Food Science* 14 (7): 390–7. doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01289.x.
24. Dumont, B.; Bernués, A., (2014): Editorial: Agroecology for producing goods and services in sustainable animal farming systems. *Animal*, 8, 1201–1203.
25. Dunn, J., Ott, T., and Clark, W. 1995. Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technol.* 49: 95–98.

26. EC (2009). COMMISSION DECISION of 13 October 2009 Authorising the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispánica L.*) as novel food ingredient under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union L, 294/14, 14–15.
27. Elmnasser N., (2007): Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. NRC Research Press Web.
28. Enache E., Kataoka A., Glenn-Black D., Napier C. D., Podolak R., Hayman M. M. (2015), "Development Of a Dry Inoculation Method for Thermal Challenge Studies in Low-Moisture Foods by Using Talc as a Carrier for *Salmonella* and a *Surrogate (Enterococcus faecium)*", Grocery Manufacturers Association, 1350 I Street N.W., Suite 300, Washington, D.C. 20005, USA.
29. Fernández M. y Hierro E. (2015), "Pulsos de luz: una nueva tecnología para la higienización de los alimentos listos para el consumo", Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid.
30. Fisher y Phillips (2008). Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? *Trends in Food Science and Technology*, 19(3), 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.11.006>
31. Food and Agriculture Organization (FAO) (1984) Codex general standar for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of radiation Facilities used for the Treatments of Foods. Codex Alimentarius Cpmmission, CAC/Vol. XV. Rom: FAO.
32. Gálvez-Ramírez C. (2012), "Almacenamiento y conservacion de semillas", Material vegetal de reproduccion, manejo conservación y tratamiento (131-148).
33. Gayán, E., Condón, S., y Álvarez, I. (2014). Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet Light: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1168-7>
34. Giusti, A. M.; Bignetti, E.; Cannella, C., (2008): Exploring new frontiers in total food quality definition and assessment: From chemical to neurochemical properties. *Food and Bioprocess Technology*, 1, 130–142.
35. Goñi, P., López, P., Sánchez, C., Gómez-Lus, R., Becerril, R., y Nerín, C. (2009). Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. *Food Chemistry*, 116(4), 982–989. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.058>
36. Harris L. (2012), "Prevención y control de la *Salmonella* y la *E. coli* enterohemorrágica en los frutos secos", EMPRESA inocuidad de los alimentos.
37. Hernández Gómez J. y Miranda Colín S., (2008). Morphological characterization of chía (*Salvia hispánica.*), Departamento de Fitotecnia,

Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

38. Hernández-Gómez J., Miranda-Colín S., Peña-Lomelí A. (2008), "Cruzamiento Natural de Chía (*Salvia hispánica* L.)", Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
39. Hernández-Guzmán J., Carballo-Carballo A. (2014), "Almacenamiento y Conservación de Semillas", Colegio de Postgraduados Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas. Campus Montecillo. Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca Y Alimentación Subsecretaría De Desarrollo Rural, Dirección General De Apoyos para el Desarrollo Rural.
40. Hwang, H. J., Cheigh, C. I., y Chung, M. S. (2015). Relationship between optical properties of beverages and microbial inactivation by intense pulsed light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 91–96.
41. Ixtaina, V., Nolasco, S., y Tomás, M. C. (2008). Physical properties of chia (*Salvia hispánica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 286–293.
42. Jaeger, H., Balasa, A., & Knorr, D. (2009). *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79374-0>
43. Jaramillo-Garcés Y. (2013), "La chía (*Salvia hispánica* L.), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables." Corporación Universitaria Lasallista Facultad de Ingenierías Especialización en Alimentación y Nutrición Caldas- Antioquia, Colombia",
44. Jiménez P., Masson S., Quitral R. (2013), Chemical composition of chia seed, axseed and rosehip and its contribution in fatty acids omega-3, Departamento de Nutrición. Facultad de Medicina. Universidad de Chile, Sanlago, Chile. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéutica. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
45. Jobling, J. (2000). Essential oils: A new idea for postharvest disease control. *Good Fruit and Vegetables Magazine* 11 (3):50.
46. Karim, M. M., Ashrafuzzaman, M., y Hossain, M. A. (2015). Effect of planting time on the growth and yield of chia (*Salvia hispánica* L.). *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 1(3), 502–507.
47. Kloucek, P., J. Smid, A. Frankova, L. Kokoska, I. Valterova, and R. Pavela. (2012). Fast screening method for assessment of antimicrobial activity of essential oils in vapor phase. *Food Research International* 47 (2):161–5. doi: 10.1016/j.foodres.2011.04.044.

48. Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Maciejewska, P., Kmiecik, D., Gramza-Michałowska, A., Kulczyński, B., y Cielecka-Piontek, J. (2019). In vitro screening for acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibition and antimicrobial activity of chia seeds (*Salvia hispánica L.*). *Electronic Journal of Biotechnology*, 37, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.10.002>
49. Loaharanu Paisan and Mainuddin Ahmed (1991) Advantages and Disadvantages of the Use of Irradiation for Food Preservation *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 0893/4282/91
50. Lopez-Malo, E. Palou (2005). "Ultraviolet Light and Food Preservation". *Novel Food Processing Technologies*, G.V. Barbosa-Canovas, M.S. Tapia, P. Cano (Ed.) Marcel Dekker/CRC Press, New York, p. 405-421.
51. Lopez, P., Sanchez, C., Batlle, R., y Nerin, C. (2005). Solid- and vapor-phase antimicrobial activities of six essential oils: Susceptibility of selected foodborne bacterial and fungal strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6939–6946.
52. Maftai, N.; Ramos-Villaruel, A.Y.; Nicolau, A.I.; Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. (2014) Pulsed light inactivation of naturally occurring moulds on
53. Martínez-Cruz, O., y Paredes-López, O. (2014). Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispánica L.*) by ultra-high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography, A*, 1346, 43–48.
54. Martínez, M. (1959). *Plantas útiles de la Flora Mexicana*. DF México.
55. Mendez-Aguilar J., (2019). Estudio del uso de Luz Pulsada de Alta Energía en chía (*Salvia hispánica L.*) Departamento de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Benemerita Universidad Autonoma de Puebla.
56. Morata-Barrado A. (2010), "Nuevas Tecnologías De Conservación De Alimentos", Universidad Politecnica De Madrid.
57. Moreira, R., Chenlo, F., Prieto, D. M., & Torres, M. D. (2010). Water adsorption isotherms of chia (*Salvia hispánica L.*) seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 1077–1082.
58. Musa Özcan, M., Al-Juhaimi, F. Y., Mohamed Ahmed, I. A., Osman, M. A., & Gassem, M. A. (2019). Effect of different microwave power setting on quality of chia seed oil obtained in a cold press. *Food Chemistry*, 278 (August 2018), 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.048>
59. Naik, M. I., Fomda, B. A., Jaykumar, E., y Bhat, J. A. (2010). Antibacterial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against some selected pathogenic bacteria. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(7), 535–538. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(10\)60129-0](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(10)60129-0)

60. Nicorescu, I.; Nguyen, B.; Moreau-Ferret, M.; Agoulon, A.; Chevalier, S.; Orange, N., (2013) Pulsed light inactivation of *Bacillus subtilis* vegetative cells in suspensions and spices. *Food Control*, 31, 151–157.
61. Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y Servicios, Método Para La Cuenta De Bacterias Aerobias En Placa.
62. Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
63. Norma Oficial Mexicana NOM-113- SSA1-1994, Bienes Y Servicios, Método Para La Cuenta De Microorganismos Coliformes Totales En Placa.
64. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, bienes y servicios. cereales y sus productos. harinas de cereales, semolas o semolinas. alimentos a base de cereales, de semilla comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas. productos de panificación. disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
65. Nychas, G. J. E. (1995). Antimicrobial activity of the essential oil of mastic gum (*Pistacia lentiscus* var. chia) on Gram positive and Gram negative bacteria in broth and in Model Food System. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 36(3e4), 411e420.
66. Oliveira-Alves, S. C.; Vendramini-Costa, D. B.; Betim Cazarin, C. B.; Maróstica Júnior, M. R.; Borges Ferreira, J. P.; Silva, A. B.; Prado, M. A.; Bronze, M. R., (2017): Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispánica* L.) seeds, fiber flour and oil. *Food Chemistry*, 232, 295–305.
67. Oms-Oliu, Martín-Belloso y Soliva-Fortuny (2010) Pulsed Light Treatments for Food Preservation. A Review *Food Bioprocess Technology* 3:13–23 DOI 10.1007/s11947-008-0147-
68. Orłowska, M., Koutchma, T., Grapperhaus, M., Gallagher, J., Schaefer, R., y Defelice, C. (2013). Continuous and Pulsed Ultraviolet Light for Nonthermal Treatment of Liquid Foods. Part 1: Effects on Quality of Fructose Solution, Apple Juice, and Milk. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1580–1592. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0779-8>
69. Palomino-Camargo, González-Muñoz, Pérez-Sira, Aguilar (2017) Metodología delphi en la gestión de la inocuidad alimentaria y prevención de enfermedades transmitidas por alimentos *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 2018;35(3): 483-90. doi: 10.17843/rpmesp.2018.353.3086.
70. Pan Z. y Bingol G., Brandl M. T. y McHugh T. H. (2012), “Review of Current Technologies for Reduction of *Salmonella* Populations on Almonds”, *Food Bioprocess Technology* DOI
71. Paskeviciute E., Buchovec I. y Luksiene Z. (2010), “High-Power Pulsed Light for Decontamination of Chicken from Food Pathogens: A Study on

- Antimicrobial Efficiency and Organoleptic Properties”, Institute of Applied Research, Vilnius University, Sauletekio 10, Lt-10223 Vilnius, Lithuania.
72. Paskeviciute, E., Zudyte, B., y Luksiene, Z. (2019). Innovative nonthermal technologies: Chlorophyllin and visible light significantly reduce microbial load on *Basil*. *Food Technology and Biotechnology*, 57(1), 126–132. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.01.19.5816>
 73. Peiretti, P. G., y Gai, F. (2009). Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispánica L.*) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology*, 148, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.006>
 74. Pellegrini, N., y Agostoni, C. (2015). Nutritional aspects of gluten-free products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2380–2385. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7101>
 75. Peñalver, P., Huerta, B., Borge, C., Astorga, R., Romero, R., y Perea, A. (2005). Antimicrobial activity of five essential oils against origin strains of the *Enterobacteriaceae* family. *APMIS*, 113(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2005.apm1130101.x>
 76. Pesavento, G., Calonico, C., Bilia, A. R., Barnabei, M., Calesini, F., Addona, R. Lo Nostro, A. (2015). Antibacterial activity of Oregano, Rosmarinus and Thymus essential oils against *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* in beef meatballs. *Food Control*, 54, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.045>
 77. Phillips, C., K. Laird, and S. Allen, (2012). The use of Citri-VTMVR: an antimicrobial citrus essential oil vapour for the control of *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger* and *Alternaria alternata* in vitro and on food. *Food Research International* 47 (2):310–4. doi: 10.1016/j.foodres.2011.07.035.
 78. Popovic-Djordjevi_c, J., M. Cengiz, M. S. Ozer, and C. Sarikurkcu, (2019). *Calamintha incana*: Essential oil composition and biological activity. *Industrial*
 79. Porrás-Loaiza, P., Jiménez-Munguía, M. T., Sosa-Morales, M. E., Palou, E., & López-Malo, A. (2014). Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispánica L.*) seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 571–577. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12339>
 80. Rahman, M. J.; de Camargo, A. C.; Shahidi, F., (2017): Phenolic and polyphenolic profiles of chia seeds and their in vitro biological activities. *Journal of Functional Foods*, 35, 622–634.
 81. Regnier, T.; Combrinck, S.; Du Plooy, W., (2012): Essential Oils and Other Plant Extracts as Food Preservatives pg; 539, *Progress in Food Preservation*. *Progress in Food Preservation*. Department of Chemistry Tshwane University of Technology Pretoria, South Africa

82. Reyes-Jurado, F., A. Franco-Vega, N. Ramirez-Corona, E. Palou, and A. Lopez-Malo, (2015). Essential oils: Antimicrobial activities, extraction methods and their modeling. *Food Engineering Reviews* 7 (3): 275–97. doi: 10.1007/s12393-014-9099-2.
83. Reyes-jurado, F., Navarro-cruz, A. R., Méndez-aguilar, J., Ochoa-velasco, C. E., Mani-lópez, E., Jiménez-munguía, M. T.,Ávila-sosa, R., (2019). *High-Intensity Light Pulses to Inactivate Salmonella Typhimurium on Mexican Chia (Salvia hispánica L.) Seeds*. 82(8), 1272–1277.
84. Reyes-Jurado, F., Navarro-Cruz, A. R., Ochoa-Velasco, C. E., Palou, E., López-Malo, A., & Ávila-Sosa, R. (2019). Essential oils in vapor phase as alternative antimicrobials: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1586641>
85. Reyes, J. (2012). Vapores de aceites esenciales: alternativa de antimicrobianos naturales. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 29-39.
86. Ritieni, A. (2013). Special issue: Food quality evaluation. *Food Chemistry*, 140(4), 613. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.023>
87. Sandoval-Oliveros, M. R., & Paredes-López, O. (2013). Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispánica L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 193–201.
88. Segura-Campos, M. R.; Chel-Guerrero, L. A.; Castellanos-Ruelas, A. F.; Betancur-Ancona, D. A., 2016: Functional Properties of Traditional Foods. *Functional Properties of Traditional Foods*.
89. Serrano, M., D. Martínez-Romero, S. Castillo, F. Guillén, and D. Valero. (2005). The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innov Food Sci Emerg Technol* 6 (1):115–23. doi:10.1016/j.ifset.2004.09.001
90. Silveira Rodríguez, M. B., Monereo Megías, S., y Molina Baena, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 77, 317-331.
91. Skandamis, P., and G. Nychas. (2002). Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology* 79 (1-2):35–45.
92. Suhr, K., and P. Nielsen. (2003). Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. *Journal of Applied Microbiology* 94 (4):665–74. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.01896.x.
93. Takeshita, K., Shibato, J., Sameshima, T., Fukunaga, S., Isobe, S., Arihara, K., and Itoh, M. (2003). Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 151–158. doi:10.1016/S0168-1605(02)00509-3. PMID:12810279.

94. Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Barrow, C. J., y Adhikari, B. (2016). Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food Chemistry*, 212, 648–656. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.017>
95. Tyagi, A. K., y Malik, A. (2010). Antimicrobial action of essential oil vapors and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *International Journal of Food Microbiology*, 143(3), 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.023>
96. Tzortzakis, N. (2007). Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8 (1):111–6. doi: 10.1016/j.ifset.2006.08.001.
97. Wang, C. (2003). Maintaining postharvest quality of raspberries with natural volatile compounds. *International Journal of Food Science and Technology* 38 (8):869–75. doi: 10.1046/j.0950- 5423.2003.00758.x.
98. Wiegand, I., Hilpert, K., y Hancock, R. E. W. (2008). Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. *Nature Protocols*, 3, 163. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.521>
99. World Health Organization (WHO). (1981). Wholesomeness of Irradiated Food. Re- port of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series 659. Geneva: WHO.
100. XENON Corporation (2014), Z-1000 16" Linear Lamp SteriPulse® installation and User Manual, 37 Upton Drive Wilmington, MA 01887 USA.
101. Zettel, V., & Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispánica L.*) in food products. *Trends in Food Science and Technology*, 80(July), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.011>