



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Sinergismo de la pasteurización UV-C,
extracto de *E. polystachya* y
nanopartículas de aceite esencial de menta
en el procesamiento de jugo de mandarina**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

FRANCISCO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

ASESORES:

**DR. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDECRAMA DE LA VO
Jefa del Departamento de Titulación
de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

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

Sinergismo de la pasteurización UV-C, extracto de E. Polystachya y nanopartículas de aceite esencial de menta en el procesamiento de jugo de mandarina

Que presenta el pasante: **Francisco Martínez Martínez**

Con número de cuenta: **417089818** para obtener el título de: Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Abril de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Francisco Javier López Martínez	
VOCAL	I.A. María Guadalupe López Franco	
SECRETARIO	Dr. Ricardo Moisés González Reza	
1er. SUPLENTE	Dra. María Guadalupe López Palacios	
2do. SUPLENTE	Dr. Claudia Idalid García Betanzos	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/cga*

El presente proyecto fue financiado por:

El proyecto PAPIIME PE206421 de la UNAM: “Enseñanza, implementación de metodologías y elaboración de material audiovisual sobre procesos no térmicos como alternativa y área de oportunidad en la conservación de alimentos”.

El proyecto PAPIIT IN221823 "Extracción, caracterización y nanoencapsulación de compuestos bioactivos (péptidos y polifenoles) obtenidos de subproductos agroindustriales"

El proyecto de Catedra CI2233 de la FESC: “Extracción, caracterización y manufactura de sistemas nanoestructurados naturales como coadyuvantes en el proceso con tecnologías emergentes para la conservación de alimentos”

Francisco Martínez Martínez, agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas de espectrofotometría a la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas.

Lugar de realización de la tesis:

Laboratorio de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy infinitamente gracias a **Dios** por haberme guiado y acompañado a lo largo de toda mi carrera universitaria, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO** por permitirme formarme académicamente.

A mi segunda casa la **FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN** la recordaré mucho ya que la mayor parte del tiempo me resguardo en sus instalaciones para lograr concluir mi carrera.

Le agradezco muy profundamente a mi asesor **DR. RICARDO MOISES GONZALEZ REZA** por su dedicación y paciencia, sin sus sabias palabras y correcciones no hubiese podido llegar a culminar mi tesis. Gracias por su guía y todos sus consejos.

A mi coasesora **DRA. MARIA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA** le agradezco su paciencia y conocimientos aportados durante la experimentación.

A mis **sinodales**, agradezco su tiempo dedicado en la revisión de mi tesis para que su contenido sea mejor.

A mis padres, **EUGENIO MARTINEZ DE LA CRUZ Y TERESA MARTINEZ TOMAS** les agradezco mucho el apoyo brindado para que yo pudiera concluir mi carrera universitaria que, sin duda alguna, en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor y me han formado como un hombre de bien, gracias por corregir mis faltas, por estar en los malos momentos y celebrar mis triunfos.

A mis herman@s **Reyes, Ariana y Pablo** por animarme a terminar mi carrera universitaria cuando me sentía derrotado.

A mis amig@s **Ana, Adriana, Angélica, Itzel, Melissa, Mariana, Nicole, Isidoro e Israel** agradezco su apoyo y amistad brindada en mi trayectoria universitaria ya que sin ustedes no estuviera aquí, gracias por aparecer en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	3
2.1. Mandarina	3
2.1.1. Características	3
2.1.2. Propiedades nutrimentales	3
2.1.3. Morfología de la mandarina	5
2.2. <i>Eysenhardtia polystachya</i>	8
2.3. Pasteurización	9
2.3.1. Definición moderna de pasteurización	10
2.4. Tecnologías Emergentes	10
2.4.1. Radiación UV-C.....	11
2.4.1.1. Generalidades.....	11
2.4.1.2. Fundamento de la irradiación UV-C.....	12
2.4.1.3. Factores que influyen en su eficacia	13
2.4.2. Principio de funcionamiento	14
2.4.2.1. Principio de la luz UV-C.....	14
2.4.2.2. Mecanismo de acción	15
2.4.3. Aplicaciones	16
2.4.4. Equipos utilizados para tratamiento UV.....	17
2.4.4.1. Desinfección de aire	17
2.4.4.2. Desinfección de agua.....	18
2.4.4.3. Desinfección de superficies	19
2.4.4.4. Desinfección de alimentos líquidos	20
2.5. Nanotecnología.....	21
2.5.1. Nanoencapsulación	24
2.5.1.1. Gelación Iónica.....	25
2.6. Aceites Esenciales.....	26
2.6.1. Propiedades Antimicrobianas	26
2.6.2. Propiedades Antioxidantes.....	27
2.6.3. Aceite esencial de menta	28

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	30
3.1. Objetivo General.....	30
3.2. Objetivos Particulares	30
3.3. Materiales y Métodos	31
3.3.1. Materiales	31
3.3.2. Materia prima	31
3.3.3. Extracción de los flavonoides de <i>Eysenhardtia polystachya</i>	31
3.3.4. Preparación de las nanopartículas de aceite esencial de menta.....	32
3.3.5. Caracterización de las nanopartículas de aceite esencial de menta	32
3.3.6. Elaboración del jugo clarificado de mandarina con extracto de <i>Eysenhardtia polystachya</i> y nanopartículas de aceite esencial de menta	33
3.3.7. Tiempos de residencia	34
3.3.8. Pasteurización UV-C.....	36
3.4. Caracterización del jugo clarificado de mandarina con extracto de <i>Eysenhardtia polystachya</i> y nanopartículas de aceite esencial de menta sometido a pasteurización UV-C.....	38
3.4.1. pH	38
3.4.2. Sólidos solubles	38
3.4.3. Turbidez.....	38
3.4.4. Color.....	39
3.4.5. Fenoles Totales	39
3.4.6. Flavonoides.....	39
3.4.7. Métodos para determinar la capacidad antioxidante	40
3.4.7.1. ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico)	
40	
3.4.7.2. DPPH (2,2-difenil-1picrilhidrazilo)	41
3.4.7.3. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)	41
3.4.8. Concentración de aceite esencial residual	42
3.4.9. Extracto de <i>Eysenhardtia polystachya</i>	42
3.4.10. Análisis microbiológico	42
3.4.11. Análisis Estadístico.....	43
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Distribución de tiempos de residencia (DTR)	44
4.2. pH, sólidos solubles y turbidez	47

4.3. Fenoles totales	49
4.4. Flavonoides.....	51
4.5. Capacidad antioxidante.....	53
4.5.1. ABTS	53
4.5.2. DPPH	55
4.5.3. FRAP.....	58
4.6. Concentración de <i>Eysenhardtia polystachya</i> y color	59
4.7. Concentración de aceite esencial menta	61
4.8. Análisis microbiológico	62
CONCLUSIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de cada parte de la mandarina (<i>Citrus reticulata</i>) (Mandarina-SiCarFarms, s.f.).....	5
Figura 2. Corteza externa de <i>Eysenhardtia polystachya</i> (Simón, 2018).	8
Figura 3. Espectro electromagnético (Russell, 2010, como se citó en Millán Villarroel et al., 2015).....	12
Figura 4. Lámpara generadora de luz UV-C (Adminarod, 2021).....	13
Figura 5. Efecto de la radiación UV-C sobre el ADN de los microorganismos (Infiltró, s. f.).....	15
Figura 6. Equipo de desinfección UV para aire (a) sterilAir AG, s. f. y b) N y F de Colombia).....	18
Figura 7. Equipo de desinfección UV para agua (sterilAir AG, s. f.).	19
Figura 8. Equipo de desinfección UV para superficies (a) N y F de Colombia, s. f., b) sterilAir AG, s. f.).....	19
Figura 9. Fotoreactor UV-C (Viqua, s. f.).....	20
Figura 10. Esquema típico de un fotoreactor UV-C (Domínguez, 2009).....	21
Figura 11. Nanopartículas de diferentes tamaños utilizadas en nanotecnologías de la ciencia de los alimentos (Nile et al., 2020, adaptada de McNeil, 2005).	22

Figura 12. Nanotecnología en la ciencia y tecnología de los alimentos (Nile et al., 2020).....	23
Figura 13. Estructura química de los principales componentes del aceite esencial de menta (a) de Sousa Barros et al., 2015 y b) Zhao et al., 2022).....	29
Figura 14. Diagrama de bloques para la obtención del jugo clarificado de mandarina con el extracto natural de Eysenhardtia polystachya y nanopartículas de aceite esencial de menta.	33
Figura 15. Curva de distribución de edad a la salida E para el fluido que pasa a través de un recipiente; también se denomina distribución del tiempo de residencia o DTR (Levenspiel, 1999, como se citó en González-Reza, 2012).	36
Figura 16. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VT1 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.	44
Figura 17. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VH200 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.	45
Figura 18. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VH410 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.	46
Figura 19. Concentración de fenoles totales después de la pasteurización UV-C en los diferentes tratamientos realizados.....	50
Figura 20. Cambios en la concentración de flavonoides en las muestras analizadas posterior al tratamiento por irradiación UV-C.	52
Figura 21. Actividad antioxidante por ABTS de los diferentes tratamientos después de la pasteurización UV-C.	54
Figura 22. Actividad antioxidante por DPPH después de la pasteurización UV-C.	56
Figura 23. Actividad antioxidante por FRAP después de la pasteurización UV-C.	58
Figura 24. Concentración de aceite esencial de menta contenido en las muestras después de la pasteurización UV-C.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la mandarina (Valero Gaspar et al., 2018).....	4
Tabla 2. Componentes químicos del aceite esencial de menta (Tsai et al., 2013; Verma et al., 2011).....	28
Tabla 3. Tratamientos en la pasteurización del jugo de mandarina adicionado con extracto de <i>E. polystachya</i> y nanopartículas de aceite esencial de menta.....	37
Tabla 4. Tiempos de residencia determinados en los diferentes fotoreactores, así como la dosis calculada para los diferentes tratamientos en la pasteurización UV-C.....	47
Tabla 5. Efecto de la pasteurización UV-C sobre la turbidez, sólidos totales y pH.	48
Tabla 6. Efecto de la pasteurización UV-C sobre ΔE y extracto de <i>Eysenhardtia polystachya</i>	60
Tabla 7. Conteo de ciclos logarítmicos reducidos de los microorganismos en cada tratamiento de pasteurización UV-C en los jugos.	63

RESUMEN

Se elaboró un jugo clarificado de mandarina con extracto de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y nanopartículas de aceite esencial de menta que fue sometido a un tratamiento de pasteurización con irradiación ultravioleta de onda corta (UV-C). El tratamiento se realizó en 3 diferentes fotoreactores UV (VT1, VH200 y VH410) y en la combinación de éstos, donde se suministraron las respectivas dosis calculadas (VT1: 1421.1, 1894.7 y 2842.1 J/L, VH200: 5526.3, 7368.4 y 11052.6 J/L, VH410: 9473.7, 12631.6 y 18947.4 J/L) para los diferentes tratamientos de pasteurización por irradiación UV-C a partir del tiempo de residencia establecido (VT1: 3, 4.5 y 6 min, VH200: 8, 13.15 y 18 min, VH410: 14.5, 22 y 30 min) para efectuar la inactivación de los microorganismos presentes en el jugo clarificado de mandarina con extracto de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y nanopartículas de aceite esencial de menta. Para determinar el efecto que tuvo la pasteurización UV-C sobre el jugo clarificado de mandarina con extracto de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y nanopartículas de aceite esencial de menta se determinaron las propiedades físicas (°Brix, color y turbidez), químicas (pH, flavonoides, fenoles totales, extracto de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y aceite esencial de menta) y actividad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS y FRAP, antes y después del tratamiento. El tratamiento de pasteurización UV-C no tuvo efecto significativo sobre las propiedades físicas, en cuanto a las propiedades químicas hubo un efecto significativo sobre la concentración de fenoles totales, flavonoides, extracto de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) y aceite esencial de menta. Se puede resaltar que la actividad antioxidante aumentó debido a la presencia del extracto *E. polystachya* que es muy rico en fenoles y flavonoides, éstos, se ven beneficiados durante la radiación UV-C. Por otra parte, el aceite esencial de menta al tener propiedades antioxidantes ayuda a aumentar la concentración de la actividad antioxidante de la muestra sometida a pasteurización UV-C. En el análisis microbiológico no hubo presencia de mesófilos aerobios y mohos y levaduras al final del tratamiento de pasteurización UV-C con las dosis de 30000.0 y 32842.1 J/L, esto se debe al efecto letal que tiene el tratamiento de desinfección por pasteurización UV-C

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los jugos de frutas son imprescindibles por su alto valor nutritivo y sus peculiares propiedades antioxidantes. La pasteurización es el proceso principal para garantizar la seguridad, calidad y vida útil de los jugos. Si bien la pasteurización térmica es el método más común para inactivar los microorganismos y las enzimas, provoca algunos efectos indeseables que reducen la calidad del jugo. Por lo tanto, se han desarrollado varios métodos de pasteurización no térmica, lo que garantiza la seguridad con cambios mínimos en las propiedades del jugo.

Debido a los efectos adversos de los tratamientos a altas temperaturas para el tratamiento de alimentos líquidos, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías emergentes (Domínguez, 2009). Estas son poco agresivas y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos, garantizando la inocuidad. Los métodos no térmicos de conservación de alimentos se han desarrollado para eliminar (o por lo menos minimizar) la degradación de la calidad de los alimentos que resultan del procesado térmico; y están bajo una intensa investigación para evaluar su potencial como procesos alternativos o complementarios a los métodos tradicionales de conservación de alimentos (Pelayo, 2009).

Durante el procesado no térmico, la temperatura del alimento se mantiene por debajo de la temperatura que normalmente se utiliza en el procesado térmico. Por lo tanto, se espera que durante el procesado no térmico las vitaminas y los compuestos responsables del aroma y sabor no experimenten cambios o que estos sean mínimos. Uno de los métodos físicos de inactivación microbiana es la irradiación de alimentos líquidos con radiaciones ultravioleta de onda corta (UV-C). Estas radiaciones se ubican en la región de energía del espectro electromagnético comprendida entre los 200 y 300 nm, el cual es el intervalo germicida. Los microorganismos son destruidos por la penetración de las radiaciones, las cuales son absorbidas por el ADN de éstos, causando una modificación en sus componentes, alterando su reproducción genética y quedando inhabilitados para replicarse (Fuchs *et al.*, 2022).

Por otra parte, el jugo de mandarina se ha caracterizado por aportar grandes beneficios a los consumidores ya que es buena fuente de vitamina C, A y flavonoides, todos potentes antioxidantes. Además, contiene provitamina A o β -caroteno un fitoquímico que combate el daño causado por los radicales libres gracias a su actividad antioxidante (Domínguez & Ordoñez, 2014).

El palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) pertenece a la familia *Leguminosae* ha sido utilizado para el tratamiento de infecciones del tracto urinario y de la vejiga, y como diurético (T. Burns *et al.*, 1984). Este árbol llamó la atención debido a su fluorescencia azul como resultado de su infusión en agua y por sus propiedades biológicas, entre ellas antidiabéticas y antioxidantes, entre otros (Narváez-Mastache *et al.*, 2006; Gutiérrez & Báez, 2014).

De acuerdo con las demandas por los consumidores de obtener bebidas menos procesadas y con un aporte de compuestos bioactivos que ayuden a la salud la aplicación de la nanotecnología ha tenido un gran impacto.

La nanotecnología en los sistemas alimentarios ha resultado en una gran variedad de productos novedosos con mejores atributos de calidad de los alimentos tales como: textura, propiedades sensoriales, estabilidad, etc. (Anandharamakrishnan & Parthasarathi).

La formación de nanopartículas permitirá mejorar el valor nutricional de los alimentos, protegerá los compuestos de interés durante el tratamiento (térmico o no térmico) en el que este sometido. Los componentes alimentarios nanoencapsulados incluyen vitaminas, ácidos grasos esenciales, sabores, minerales, agentes antimicrobianos, colorantes alimentarios naturales, antioxidantes, polifenoles, etc. (Nallamuthu *et al.*, 2017).

Debido a lo anterior, el objetivo del trabajo fue analizar el efecto del sinergismo de la pasteurización UV-C, extracto de palo azul (*E. polystachya*) y nanopartículas de aceite esencial de menta durante el procesamiento del jugo clarificado de mandarina.

CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1. Mandarina

La mandarina (*Citrus reticulata*) es el fruto del árbol mandarino, perteneciente a la familia de las rutáceas con características similares a la naranja, aunque más pequeño y delicado. Presenta una piel delgada y rugosa de color amarillo vivo o anaranjado que es fácilmente despegable de la pulpa. La pulpa está dividida en 10 o 12 gajos que tienen un sabor dulce agradable, además de ser muy aromática (Das *et al.*, 2014).

2.1.1. Características

La mandarina pertenece al grupo de frutos llamados hesperidios y su pulpa está formada por un considerable número de gajos llenos de zumo o jugo; el cual contiene mucha vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Es el cítrico más parecido a la naranja, aunque de menor tamaño, sabor más aromático y con mayor facilidad para quitar su piel en la mayoría de las variedades, así como una acidez ligeramente inferior y una mayor proporción de azúcares simples. La mandarina contiene vitamina A y C entre otros nutrimentos. Las mandarinas se clasifican en tres grandes grupos: Clementinas (*Citrus reticulata*), Híbridos y Satsumas (*Citrus unshiu*) (Valero Gaspar *et al.*, 2018).

2.1.2. Propiedades nutrimentales

El componente mayoritario en las mandarinas es el agua y, respecto a otras frutas de su género, aporta menos cantidad de azúcares y por tanto menos calorías. La cantidad de fibra es apreciable y ésta se encuentra sobre todo en la parte blanca (albedo) (ver Figura 1) entre la pulpa y la corteza, por lo que su consumo favorece el tránsito intestinal. De su contenido vitamínico destaca la vitamina C, en menor cantidad que la naranja, el ácido fólico y la provitamina A, más abundante que en

cualquier otro cítrico, también contiene cantidades destacables de ácido cítrico, ácido málico y flavonoides (hesperidina, neohesperidina, nobiletina y tangeritina) (Manthey & Grohmann, 2001). De acuerdo con Tabla 1 (Composición química de la mandarina) el mineral más abundante es el potasio, además, se pueden encontrar en pequeñas cantidades magnesio, fósforo y calcio, éste, de peor aprovechamiento que el que procede de los lácteos u otros alimentos que son buena fuente de dicho mineral (Kathirvelan *et al.*, 2015; Martínez de Victoria, 2016). La provitamina A o β -caroteno se transforma en vitamina A en nuestro organismo, conforme éste lo necesita. Dicha vitamina es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico (Milani *et al.*, 2021).

Tabla 1. Composición química de la mandarina (Valero Gaspar *et al.*, 2018).

Composición por 100 gramos de porción comestible	
Energía (kcal)	43
Hidratos de Carbono (g)	9
Fibra (g)	1.9
Potasio (mg)	160
Magnesio (mg)	11
Fosforo (mg)	17.2
Calcio (mg)	36
Provitamina A (mcg)	106
Vitamina C (mg)	35
Ácido Fólico (mcg)	32
mcg: microgramos	

La vitamina C interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones; ambas vitaminas también cumplen una función antioxidante (Grosso *et*

al., 2013). El ácido cítrico posee una acción desinfectante y potencia la acción de la vitamina C. El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis del material genético y la formación de los anticuerpos del sistema inmunológico (Súarez de Ronderos, 2009; NIH, 2019).

El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Miller & Gulbis, 2014). El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes (NIH, 2022). El fósforo ayuda a la correcta mineralización en huesos y dientes, forma parte de todas las células y es constituyente del material genético, además, es necesario para la activación de muchos enzimas y vitaminas del grupo B (Calvo & Lamberg-Allardt, 2015).

2.1.3. Morfología de la mandarina

Como se puede observar en la Figura 1, la mandarina tiene diferentes componentes que se describirán a continuación.



Figura 1. Morfología de cada parte de la mandarina (*Citrus reticulata*) (Mandarina-SiCarFarms, s.f.).

En la parte interna se encuentra el núcleo y los gajos de mandarina que están por lóculo o segmento que es la división de carácter membranoso que separa dos cavidades internas (gajos), dentro de éstos, se encuentran las vesículas de zumo que son pequeños sacos membranosos que contienen el jugo del fruto. El fruto, está cubierto por el albedo que es la parte blanquecina de tejido laxo de la corteza de los frutos cítricos que contiene pectina, celulosa y suele ser amargo. En seguida se encuentra el flavedo que es la parte externa del fruto de color amarillo que aloja las vesículas oleíferas, éstas, son los ojuelos de la piel de los cítricos, las paredes son muy finas y frágiles ya que contienen los aceites esenciales. Por fuera se encuentra la cáscara (Epidermis) es la parte más externa del fruto contenida por el flavedo y albedo, el tallo de la planta que sujeta al fruto es la extremidad de pedúnculo (Ancillo & Medina, 2015).

A nivel industrial, la mandarina se puede emplear para distintos productos derivados como la mermelada o la confitería, para la elaboración de licor de mandarina extraído de su corteza, para la extracción de aceites esenciales, la fabricación de bebidas refrescantes y jugos naturales. El jugo es considerado un producto líquido sin fermentar, pero fermentable obtenido al exprimir frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie, aplicados después de la cosecha, clarificado o no, y sometido al tratamiento adecuado que asegura su conservación en el envase. No debe contener corteza y semillas, ni materia extraña objetable (NOM-173-SCFI-2009).

Dentro de los beneficios que nos aportan los jugos destacan sus compuestos de efecto antioxidante que contrarrestan la acción nociva de los radicales libres, causantes del proceso de envejecimiento y de enfermedades degenerativas. Los antioxidantes son sustancias existentes en determinados alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres. Un antioxidante es capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres mediante la liberación de electrones en nuestra sangre (Avello & Suwalsky, 2006).

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón desapareado o libre por lo que son muy reactivos ya que tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica, una vez que el radical libre ha conseguido sustraer el electrón que necesita, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que destruye nuestras células, la vida media biológica del radical libre es de microsegundos pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran daño a moléculas, membranas celulares y tejidos, estas reacciones se dan constantemente en las células de nuestro cuerpo, proceso que debe ser controlado con una adecuada protección antioxidante (Coronado H. *et al.*, 2015).

La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a los alimentos. Existen alimentos que contienen una gran variedad de fitonutrientes, muchos de los cuales tienen propiedades antioxidantes. Además de las bien conocidas vitaminas C y E, los carotenoides, existen otros compuestos como los flavonoides (incluyendo flavonas, isoflavonas, flavononas y antocianinas) que son fuertes antioxidantes que contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante total (Gutiérrez Zavala *et al.*, 2007). Los flavonoides, son el grupo de compuestos fenólicos que se encuentran principalmente en las plantas en forma de glucósidos, están agrupados en antocianinas y antoxantinas (Martínez-Flórez *et al.*, 2002). Las antocianinas son moléculas de pigmentos rojos, azules y púrpuras (Xu *et al.*, 2014). Las antoxantinas, que incluyen flavonoles, flavonas, flavanoles e isoflavonas son moléculas incoloras o de colores que oscilan desde blanco hasta el amarillo (Castillo *et al.*, 2017).

Además tienen un gran potencial para la eliminación de radicales libres y la quelación de metales, mostrando propiedades antioxidantes, antivirales, antiinflamatorias y anticancerígenas, de ahí su eficacia en el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas. Una planta con alta concentración de estos

componentes es la *Eysenhardtia polystachya* conocida localmente como palo azul (Molina *et al.*, 2020).

2.2. *Eysenhardtia polystachya*

Es un arbusto caducifolio de 1 a 3 metros de alto, algunas veces de 5 a 6 metros, con un tronco mayor de 25 cm de diámetro; moderada a densamente puberulentas; hojas de 5 a 8 cm de largo, foliolos de 15 a 30 pares de 3 a 6 mm de largo, delgados, comúnmente revolutos o arqueados al secarse, con glándulas resinosas aromáticas presentes en el tronco y ramas, sus tallos son ramificados y de color café oscuro (Rzedowski *et al.*, 2005). Por otro lado, se le conoce también con los siguientes nombres comunes: palo dulce, palo azul, varaduz, taray, coate macho y rosilla cuyo uso depende de la zona (Argueta *et al.*, 1994).

La corteza externa (Figura 2) es de color amarilla de textura ligeramente rugosa, escamosa cuando seca, desprendible en placas irregulares de color oscuro de 1 mm de grosor, la corteza interna es de color pardo-rojiza (Sargent, 1892, como se citó en Rzedowski *et al.*, 2005). Es ampliamente distribuida en ambas vertientes y en la parte central del país. En los estados de Colima, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Veracruz y Zacatecas (Sargent, 1892, como se citó en Rzedowski *et al.*, 2005).



Figura 2. Corteza externa de *Eysenhardtia polystachya* (Simón, 2018).

El uso del palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) es muy sencilla, la corteza se macera en agua fría para hacer un té, cuando la corteza se macera en agua por algunas horas este le confiere una coloración azul al agua (Pablo-Pérez *et al.*, 2016). El color puede después cambiar a un tono rojizo o ámbar, según la incidencia de la luz, este interesante fenómeno se debe a un novedoso compuesto químico de cuatro anillos conocido como tetrahidrometanobenzofuro(2,3-d) oxacina, ésta no se encuentra en la planta intacta, sino más bien, es el producto final de una inusual reacción química de oxidación espontánea, la cual involucra algunos de los compuestos naturales de la corteza conocidos como flavonoides (Molina *et al.*, 2020).

El palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) se utiliza en la medicina tradicional mexicana como diurético, antiinflamatorio, espasmolítico, cicatrizante y agente anticonceptivo, también se emplea para el tratamiento empírico de infecciones genitourinarias, artritis, diarrea y vejiga (Argueta *et al.*, 1994; Alonso-Castro *et al.*, 2011). Un estudio llevado a cabo por Gutiérrez & Báez (2014) empleando ratones diabéticos mostró que un extracto de metanol y agua obtenido del palo azul tuvo una considerable actividad antioxidante contra los radicales libres que causan el estrés oxidativo e inflamación. Adicionalmente, los compuestos de la corteza mostraron acciones anti-glicación, protectoras del hígado e hipoglucémicas que pudieran ser potencialmente benéficas contra la diabetes tipo II.

2.3. Pasteurización

El término “pasteurización” fue originalmente llamado así por el científico francés Louis Pasteur, quien inventó el proceso de calentar a una temperatura suave durante un corto periodo para prolongar la vida útil de líquidos (vino y cerveza) (Pátkai, 2012). La pasteurización es un tratamiento térmico suave que se utiliza para inactivar microorganismos relativamente sensibles al calor, como las bacterias vegetativas, levaduras y mohos, que son responsables del deterioro de los alimentos o de la intoxicación alimentaria (Holdsworth, 2001).

Además de la inactivación microbiológica, la pasteurización térmica es exitosa para inactivar las enzimas de los jugos de frutas, como la polifenoloxidasa (PPO), la lipoxigenasa (LOX), la peroxidasa (POD) y la pectinmetilesterasa (PME), que son responsables del deterioro de la calidad. De este modo, la vida útil de los jugos de frutas procesados térmicamente se puede extender por varios meses sin monitoreo de seguridad, preocupaciones o pérdidas de calidad importantes a temperaturas bajas o ambiente (Ağçam *et al.*, 2018).

2.3.1. Definición moderna de pasteurización

La nueva definición de pasteurización incluye “cualquier proceso, tratamiento o combinación de estos, que se aplica a los alimentos para reducir la mayoría de los microorganismos de importancia para la salud pública a un nivel que probablemente no presente un riesgo para la salud pública en condiciones normales de distribución y almacenamiento” (NACMCF, 2006).

2.4. Tecnologías Emergentes

Las tecnologías emergentes son de naturaleza no térmica, ofrecen productos en su estado más natural, por lo tanto, permiten asegurar la inocuidad y extender la vida útil de los alimentos, minimizando el efecto del proceso sobre la calidad nutricional y sensorial (Millán Villarroel *et al.*, 2015). El interés en estas tecnologías es no solo para obtener alimentos de alta calidad con características frescas, sino también, para proporcionar alimentos con funcionalidades mejoradas (Rawson *et al.*, 2011).

Por otro lado, son llamadas así, por el hecho de haber sido desarrolladas en años recientes. Algunas de estas tecnologías ya se usan a nivel industrial y otras siguen como una futura opción a nivel industrial. Dentro de las tecnologías emergentes tenemos: altas presiones, pulsos de campos eléctricos, microondas, ultrasonido, radiación UV-C, bacteriocinas, entre otras (Rupasinghe & Yu, 2012).

Las tecnologías tradicionales se caracterizan por tener un excelente control antimicrobiano, evitar la reacción química y enzimática de deterioro. Sin embargo, tienen el inconveniente de generar alteraciones organolépticas y nutritivas en los alimentos durante su procesamiento. Los cambios organolépticos incluyen variaciones de color, olor, sabor y textura del alimento ya procesado, por otro lado, las propiedades nutritivas de macro y micronutrientes pueden ser alteradas (Rodiles & Zamora, 2021).

Hoy en día, los consumidores modernos demandan alimentos frescos, nutritivos, seguros y con un sabor lo más parecido al del alimento natural. Esto ha promovido el surgimiento y desarrollo de nuevas técnicas para conservación llamadas tecnologías emergentes que eliminan por un lado, los microorganismos patógenos y por otro lado, logran un máximo en la calidad nutricional y sensorial. Muchas de estas tecnologías no han sido implementadas a nivel industrial, ya sea por altos costos o porque no garantizan la total inocuidad del producto terminado. En función a éstos, se ha sugerido el uso combinado de una tecnología tradicional con una emergente y generar un efecto sinérgico (Rodiles & Zamora, 2021).

2.4.1. Radiación UV-C

La luz ultravioleta es considerada una tecnología emergente, que consiste en someter a los alimentos líquidos a radiación con longitudes de onda que varían desde 200-280 nm, comprobándose que se presenta una mayor acción germicida a emisiones de 254 nm. Además, es un tratamiento simple, limpio, que se realiza a bajas temperaturas y requiere menos espacio que otros métodos, poco mantenimiento y tiene un bajo costo. Este método, además de ser incorporado fácilmente a una línea de procesamiento, requiere una baja inversión para su implementación convirtiéndolo en una atractiva técnica (Guerrero-Beltran & Ochoa-Velasco, 2020).

2.4.1.1. Generalidades

La luz UV es la radiación electromagnética con longitud de onda más corta que la luz visible y más larga que los rayos X, considerando el efecto de la radiación sobre la salud humana y el medio ambiente, a una longitud de onda de 100 a 400 nm, se divide en: UV-A: 320-400 nm, UV-B: 280-320 nm, UV-C: 200-280 nm y vacío-UV: 100-200 nm (Figura 3). La luz UV-C posee el mayor efecto germicida, específicamente entre 250 y 270 nm y la máxima eficiencia para la desinfección se sitúa específicamente a 254 nm (Christen *et al.*, 2013).

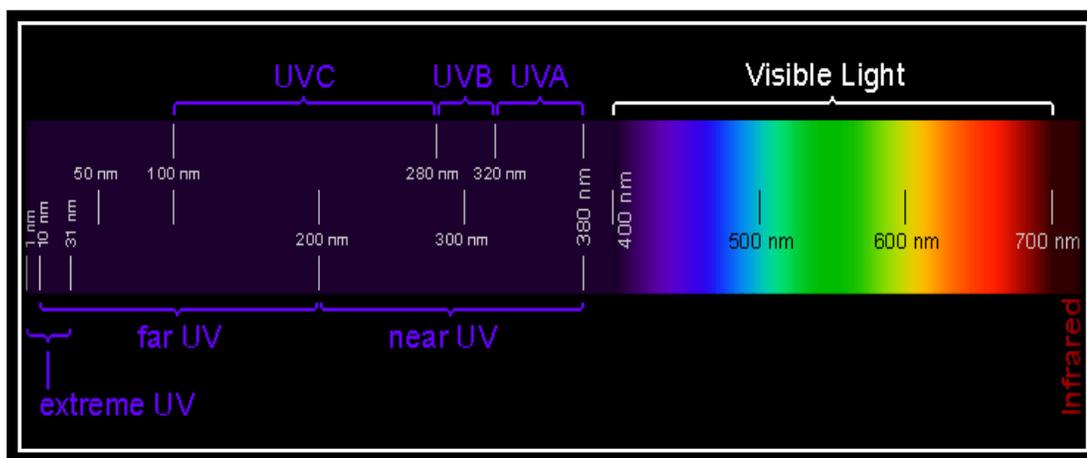


Figura 3. Espectro electromagnético (Russell, 2010, como se citó en Millán Villarroel *et al.*, 2015).

2.4.1.2. Fundamento de la irradiación UV-C

Las lámparas típicamente usadas para la desinfección consisten en tubos de cuarzo que contienen un gas inerte en su interior, como argón y pequeñas cantidades de mercurio, donde la luz UV-C es emitida como resultado de un flujo de electrones entre los electrodos de la lámpara (Figura 4). Las fuentes de radiación usadas pueden ser clasificadas en lámparas de baja y media presión de descarga de mercurio (Millán Villarroel *et al.*, 2015). Debido a esto, la luz UV-C genera alteraciones que limitan las funciones metabólicas, que conllevan a la muerte celular, aunado a esto, su capacidad de reproducirse se ve perjudicada (Caminiti *et al.*, 2012). El efecto destructivo de la radiación UV sobre los microorganismos está en función de la

longitud de onda de 254 nm y se absorbe en un nivel que es suficiente para la desinfección (López-Díaz *et al.*, 2012).

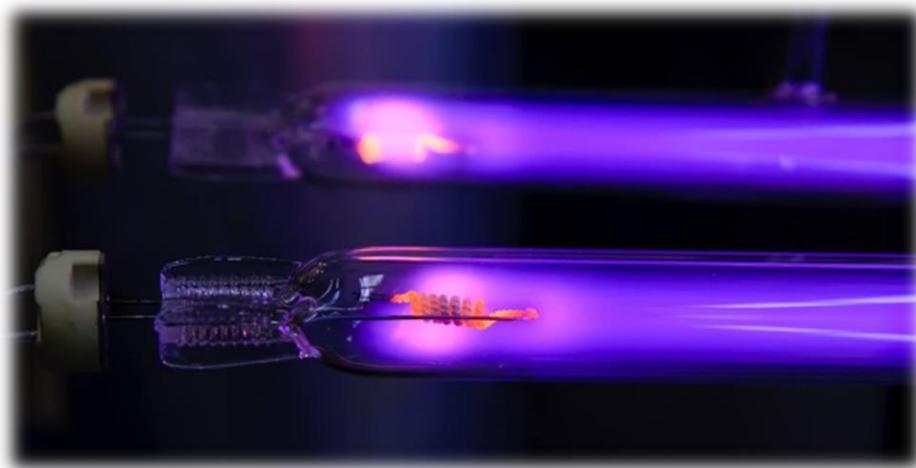


Figura 4. Lámpara generadora de luz UV-C (Adminarod, 2021).

2.4.1.3. Factores que influyen en su eficacia

Tiempo: Cuanto mayor es el tiempo de exposición a una determinada dosis, tanto más eficaz es el tratamiento (Cammarata, 2010). **Intensidad:** La intensidad de los rayos UV-C que llegan a un determinado objeto, dependerá de la potencia de la lámpara, de la distancia que exista entre la lámpara y el objeto, y del tipo y cantidad de partículas existentes en el recorrido de los rayos. Al aumentar la potencia de la lámpara, aumenta la intensidad de los rayos. La intensidad es inversamente proporcional a la distancia. La mayoría de las pruebas de eficacia se lleva a cabo a una distancia de 12 in (30-48cm) (Cammarata, 2010).

Penetración: La constitución del objeto o material que es irradiado influye de forma muy importante en la eficacia del tratamiento. La penetración de los rayos ultravioleta es reducida por las sales minerales disueltas y la turbidez, incluso una débil capa de sustancias grasas o el agua pura los intercepta. No penetran en objetos opacos, por consiguiente, los rayos UV-C sólo afectan la superficie externa de los

alimentos que se irradian y no penetran en los microorganismos presentes en el interior de éste (Cammarata, 2010).

2.4.2. Principio de funcionamiento

La luz UV-C es producida por lámparas de vapor de mercurio, de las que existen varios tipos, dependiendo del uso y la potencia necesaria. Entre otras variantes, las hay con y sin generación de ozono, compactas, para uso en aire, agua, etc. Los tipos de lámparas UV utilizadas en la industria son:

- Baja presión
- Presión media
- Baja presión de alta intensidad
- Presión media de alta intensidad
- Amalgama

Las de baja presión generalmente se utilizan para situaciones de flujos bajos que no poseen elevado requerimiento de potencia. Las lámparas de alta presión son empleadas para flujos mayores que requieren alta intensidad de energía UV. Las de amalgama presentan las ventajas de las lámparas de baja presión (alta eficiencia en la emisión de una determinada longitud de onda) pero con mayor potencia. Su apariencia es similar a la de las lámparas fluorescentes. Poseen una vida útil promedio de un año de trabajo sin interrupción. En general las encontradas en el mercado producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 nm (Domínguez, 2009).

2.4.2.1. Principio de la luz UV-C

Cuando una célula viva entra en contacto con los rayos UV-C a la longitud de onda de 254 nm el ácido nucleico celular presente en él, absorbe en gran medida la energía de la luz y comienza la actividad fitoquímica, dependiendo de la dosis de irradiación

conduce a la muerte o daño de las bacterias y esporas de hongos. Por lo tanto, la luz UV-C se utiliza para el daño selectivo o la inactivación de microorganismos como bacterias, virus, levaduras y mohos (Miller *et al.*, 1999, como se citó en Rajan Radhakrishnan, 2023).

2.4.2.2. Mecanismo de acción

A excepción de las bacterias fotosintéticas, la mayoría de los microorganismos son susceptibles al daño por la radiación UV (Mendonca, 2002). El efecto destructivo de la radiación UV sobre los microorganismos está en función de la longitud de onda. Como se mencionó, la radiación UV de longitud de onda a 254 nm, se absorbe en un nivel que es suficiente para la desinfección; esto se debe a que ocasiona cambios físicos en los electrones y el rompimiento de enlaces en el ADN, inactivando así los procesos de crecimiento y reproducción microbiana (Bolton & Cotton, 2001).

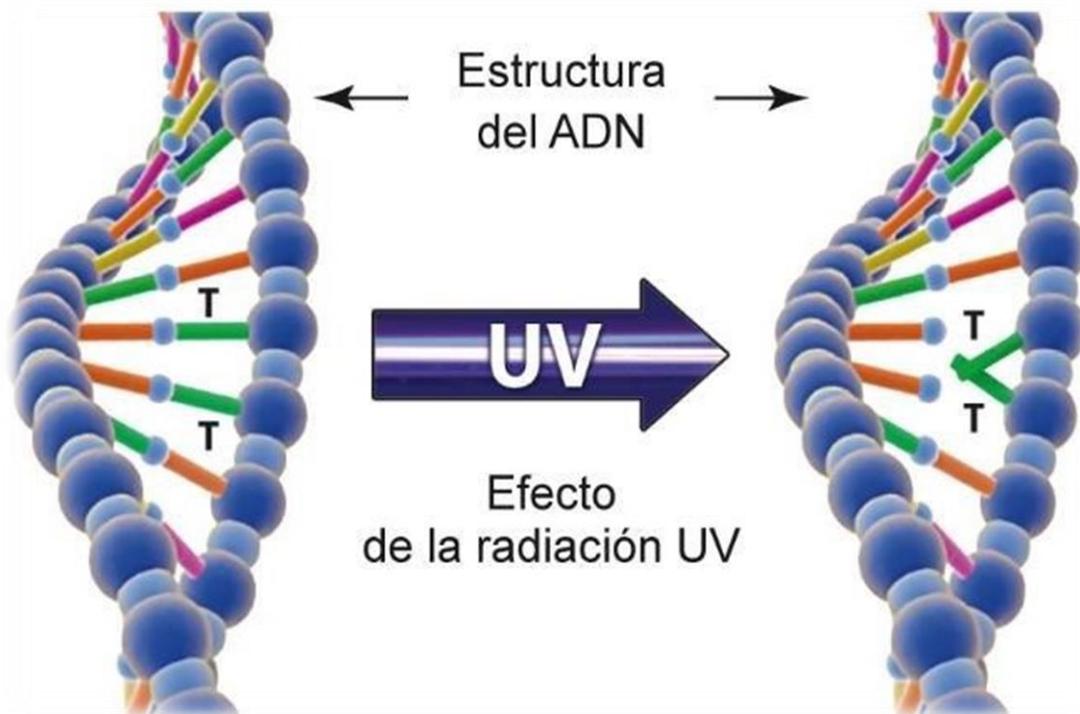


Figura 5. Efecto de la radiación UV-C sobre el ADN de los microorganismos (Infiltró, s. f.).

El proceso de desinfección en los microorganismos se realiza mediante la inactivación como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La irradiación UV-C es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, la irradiación UV-C absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes con lo que se crean moléculas dobles o dímeros (Figura 5). La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microorganismo impide que este se replique su ADN y ARN, lo que impide su reproducción (Shama, 2014). De esta manera, los tratamientos con irradiación UV-C son eficientes para procesar líquidos como té, agua y jugos de fruta (Rajan & Radhakrishnan, 2023).

2.4.3. Aplicaciones

La desinfección con luz UV-C funciona sin la necesidad de añadir ningún producto químico en el proceso. Al tratarse de un sistema físico de desinfección los microorganismos no son capaces de presentar resistencia a ella. Además, puede ser validado y monitoreado por medio de técnicas de medición apropiadas. Por otro lado, son sistemas con una inversión económica baja, mínimo mantenimiento y operación. Además, no usa ni genera ningún producto químico que deba de ser tratado o almacenado posteriormente (Keklik et al., 2012).

La luz UV-C tiene un alto poder germicida. La longitud de onda a 254 nm es absorbida en un 85 % por el núcleo de la célula inactivándola y evitando su reproducción. Por tanto, todos los microorganismos que contienen ADN (virus, bacterias, esporas, mohos) son factibles de ser eliminados usando luz UV-C. En cualquier caso, los parámetros más importantes respecto a la desinfección son, la potencia de emisión del equipo y la dosis UV requerida para inactivar el microorganismo. Entre sus aplicaciones se encuentran:

- Desinfección de agua
- Desinfección de aire

- Desinfección de superficies
- En alimentos líquidos

Cabe destacar que el poder de penetración disminuye cuando se tratan líquidos que no son transparentes y/o contienen sólidos en suspensión. Los líquidos con buena transmitancia de luz no presentan inconvenientes en el tratamiento con radiación UV.

La baja transmitancia está asociada a la concentración inicial de microorganismos, partículas en suspensión, color y composición del producto. Por ser un líquido transparente, el agua tiene el mayor índice de transmisividad. El poder germicida de la radiación disminuye al aumentar la distancia desde la fuente de luz. Por esto, el tiempo de exposición, la dosis y el perfil de flujo son esenciales para lograr la reducción microbiana necesaria (Koutchma, 2014).

Como ejemplo, puede mencionarse que la penetración de luz UV en jugos es de aproximadamente 1 mm para obtener una absorción del 90 % (Sizer & Balasubramaniam, 1999). En estos alimentos, es muy importante asegurar un flujo turbulento a fin de lograr una mayor eficiencia de contacto de la radiación con el producto.

2.4.4. Equipos utilizados para tratamiento UV

A continuación, se presentan algunos equipos que son utilizados en la industria alimentaria para la desinfección mediante irradiación UV.

2.4.4.1. Desinfección de aire

La Figura 6 muestra los equipos de desinfección para aire, estos son requeridos en la industria alimentaria debido a que aportan aire limpio y fresco, éste, es la base de la producción industrial de alimentos, los microorganismos en el aire como virus,

bacterias, levaduras y hongos pueden contaminar materias primas, productos intermedios y estropear productos terminados durante su procesamiento y envasado (Koutchma, 2014).

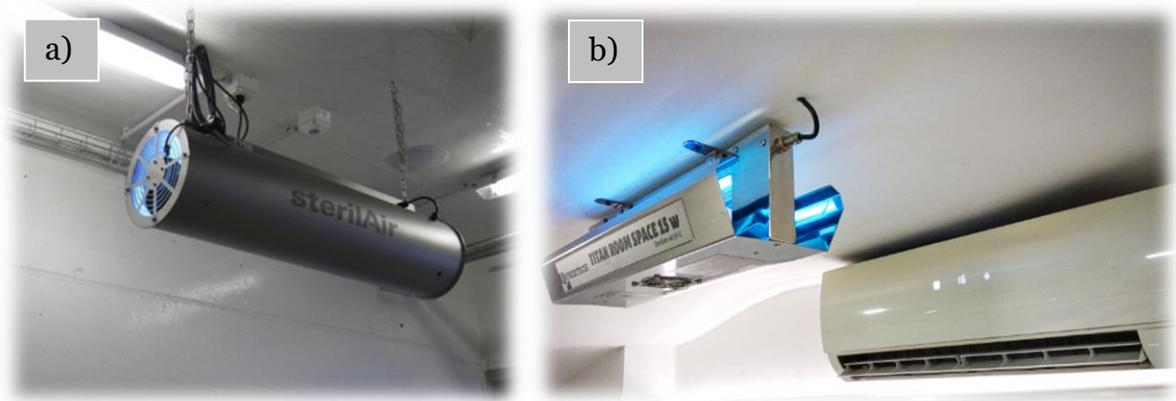


Figura 6. Equipo de desinfección UV para aire (a) sterilAir AG, s. f. y b) N y F de Colombia).

Los reactores UV-C de mercurio de baja presión se utilizan con mucho éxito en estas aplicaciones, para la desinfección en el aire, conductos de entrada, salas de almacenamiento y asegura un aire de muy bajo contenido microbiano en las áreas de producción. Para proporcionar aire limpio en las sensibles instalaciones de fabricación de alimentos, se ha utilizado una combinación de filtros y luz ultravioleta (Koutchma, 2014).

2.4.4.2. Desinfección de agua

La Figura 7 muestra un equipo de desinfección para el agua utilizado en la industria alimentaria ya que es importante tener un control de microorganismos en aguas de procesos industriales para mantener la calidad del producto o proceso (Koutchma, 2014). Además, de la limpieza, envasado y como ingrediente al ser desinfectada garantiza que los productos finales sean seguros para el consumo humano, tengan un sabor y una apariencia que la calidad lo requiera (de Pablos, 2021).



Figura 7. Equipo de desinfección UV para agua (sterilAir AG, s. f.).

2.4.4.3. Desinfección de superficies

Las cintas transportadoras son uno de los requisitos previos más importantes en la industria alimentaria para mantener la higiene y la calidad de los productos.

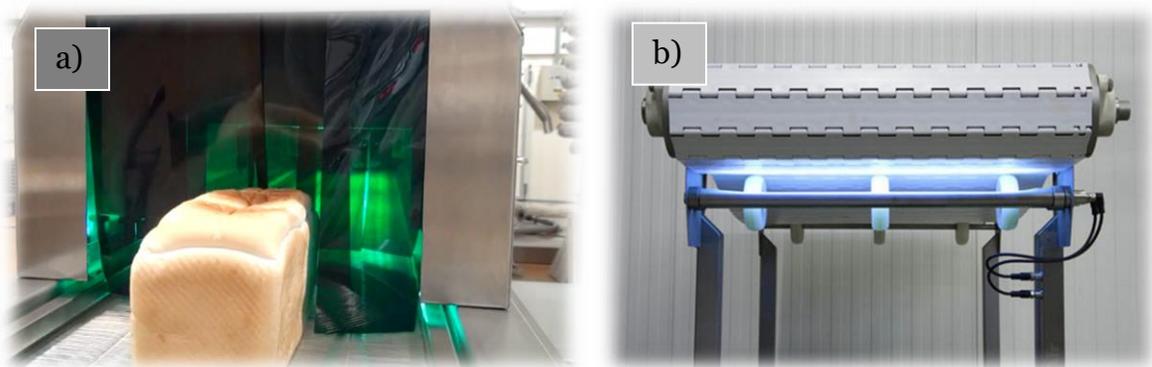


Figura 8. Equipo de desinfección UV para superficies (a) N y F de Colombia, s. f., b) sterilAir AG, s. f.).

La luz ultravioleta tiene el potencial de matar hasta el 99,9% del total de bacterias en las cintas transportadoras para el transporte de productos alimenticios y se puede aplicar tanto para la desinfección de superficies del producto en las cintas transportadoras durante el transporte (Figura 8a) y la superficie de las cintas

transportadoras (Figura 8b) (Koutchma, 2023). Este equipo puede ser una solución fácil y económica para controlar el crecimiento de bacterias psicotrópicas en el área de productos terminados.

2.4.4.4. Desinfección de alimentos líquidos

Para la desinfección por irradiación UV-C en alimentos líquidos de flujos volumétricos bajos se utiliza el equipo (fotoreactor) (Figura 9) que se muestra a continuación:



Figura 9. Fotoreactor UV-C (Viqua, s. f.).

El sistema propuesto es inocuo ya que la utilización de luz (en el espectro ultravioleta) es un proceso no térmico y no produce subproductos tóxicos además esta tecnología puede sustituir a procesos ampliamente extendidos como la pasteurización ya que permite valores de desinfección similares, pero es un proceso menos agresivo con el alimento líquido y permite conservar las propiedades organolépticas (Tran & Farid, 2004).

El tipo básico de cámara de exposición para agua a la radiación ultravioleta presenta una lámpara sumergida en el agua (Figura 10). Generalmente, se encuentra rodeada por una camisa de cuarzo, material que no interfiere el paso de la luz. De acuerdo con Domínguez (2009) el sistema de desinfección puede incluir lo siguiente:

- Una cámara de exposición de material anticorrosivo (acero inoxidable), que alberga el sistema.
- Lámpara UV-C
- Limpiadores mecánicos, ultrasónicos u otros mecanismos de auto limpieza
- Sensores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz ultravioleta
- Dispositivo de control de la velocidad de flujo
- Dispositivo de control de funcionamiento de la lámpara (dosis, fallas de encendido, etc.)
- Balasto (ordena el flujo de electrones)

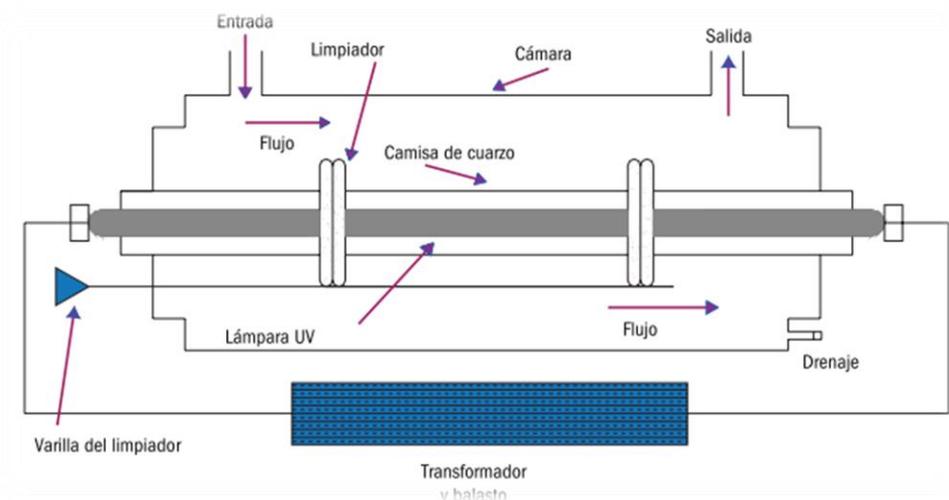


Figura 10. Esquema típico de un fotoreactor UV-C (Domínguez, 2009).

2.5. Nanotecnología

La nanotecnología es la tecnología aplicada en la manipulación de nanomateriales para diversos fines, juega un papel crucial en los sectores de la alimentación y la agricultura, contribuye a la mejora de cultivos, mejora la calidad y seguridad de los alimentos, y promueve la salud humana a través de nuevos e innovadores enfoques (Duncan, 2011). Los nanomateriales son partículas diminutas de 1 a 100 nm, insoluble o bio-persistente en la naturaleza, sintetizado a través de diversas rutas y

utilizado en numerosos campos incluyendo medicina, electrónica, agricultura y la industria alimentaria (Duncan, 2011). Las nanopartículas de diferentes tamaños son utilizadas en nanotecnologías de la ciencia de los alimentos para la producción y el procesamiento potencial de alimentos más saludables, más seguros y de alta calidad (Figura 11).

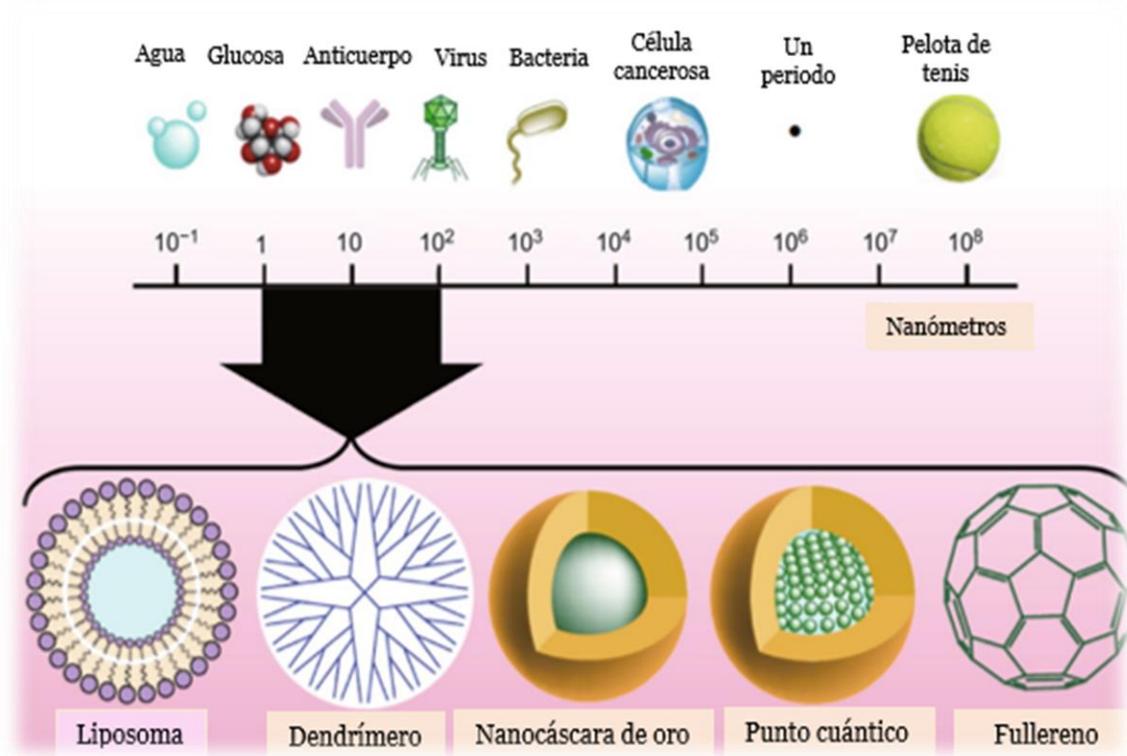


Figura 11. Nanopartículas de diferentes tamaños utilizadas en nanotecnologías de la ciencia de los alimentos (Nile et al., 2020, adaptada de McNeil, 2005).

Por el momento, el principal objetivo de la nanotecnología en la industria alimentaria es la adición de compuestos saludables en los alimentos o el desarrollo de envases que prolonguen la vida del alimento.

Aunado a esto, la nanotecnología ya está implantada en tres etapas claves en la elaboración de los alimentos: producción primaria, procesado y envasado (Figura 12) (Nile *et al.*, 2020).

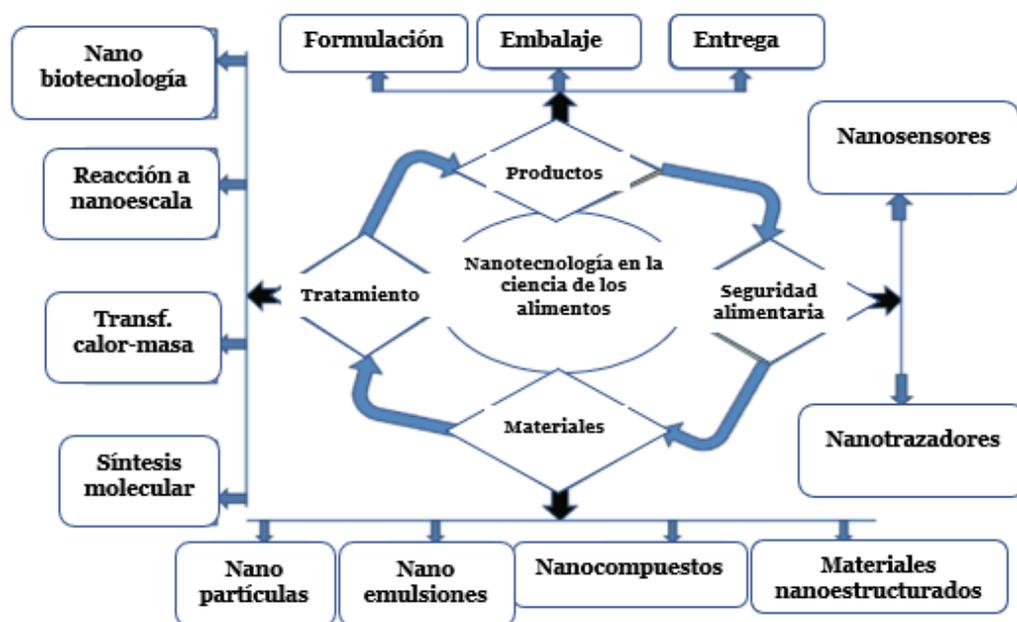


Figura 12. Nanotecnología en la ciencia y tecnología de los alimentos (Nile et al., 2020).

De acuerdo con Dasgupta *et al.*, (2015) mencionan que las principales aplicaciones de la Nanotecnología son:

- Mejora de la calidad de los alimentos: utilizando nanoemulsiones y nanorecubrimientos como medio de encapsulación de compuestos funcionales que aumenten la disponibilidad de los nutrientes o eviten olores y sabores desagradables.
- Nanoalimentos funcionales: nuevos alimentos con propiedades nutritivas funcionales.
- Nanosensores: dispositivos biodegradables para controlar la temperatura y la humedad de los alimentos. También pueden identificar la existencia de plagas y patógenos dependiendo de las condiciones en que se almacene los alimentos. Algunos nanosensores pueden identificar si un alimento es fresco o no y lo indican con un cambio de color.

- Actividad antimicrobiana: Un ejemplo, son las nanopartículas de plata utilizados como agentes antimicrobianos en envases.
- Envases inteligentes: aumentan el tiempo de conservación manteniendo la frescura y evitando la pérdida de nutrientes, detectan la contaminación y son biodegradables.
- Etiquetas inteligentes: indican la calidad del almacenamiento y el deterioro del envase.

2.5.1. Nanoencapsulación

En particular, el proceso de nanoencapsulación consiste en encapsular sustancias con varios materiales de recubrimiento a escala atómica, molecular y supramolecular, generalmente de 1 a 100 nm, aunque algunos nanomateriales pueden tener tamaños de hasta 600 nm (Pateiro *et al.*, 2021). La nanoencapsulación de componentes alimentarios hace uso de diferentes nanotecnologías, que permiten el suministro de nutrientes, nutraceuticos y otros ingredientes bioactivos a las células del cuerpo, así como mantenerse protegido de los rigores del procesamiento de alimentos y los factores ambientales dañinos. Los componentes alimentarios nanoencapsulados incluyen vitaminas, ácidos grasos esenciales, sabores, minerales, agentes antimicrobianos, colorantes alimentarios naturales, antioxidantes, polifenoles, etc. (Nallamuthu *et al.*, 2017).

Actualmente, podemos encontrar nanoencapsulados en muchos productos de uso diario, como son; cosméticos y fármacos, entre los más comunes. En la alimentación es de gran interés debido al alza y persistente prevalencia de enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer. Compuestos como las vitaminas son esenciales para una vida saludable. La vitamina C se oxida muy fácilmente y por consecuencia se pierde su actividad antioxidante, por lo tanto, las técnicas de nanoencapsulación son utilizadas para estabilizar las vitaminas A, D y E, y las del complejo B de su oxidación, al evitar su exposición al calor, luz y almacenamiento durante largos periodos. En general, los desafíos para la aplicación de la nanotecnología en la

ciencia de los alimentos aún se encuentran en etapa temprana, sin embargo, cada día aumentan los estudios acerca del uso correcto de esta técnica (Kumar y Smita, 2017; Awuchi *et al.*, 2022).

La encapsulación realizada con herramientas nanotecnológicas es prometedora, ya que la mayoría de los estudios muestran resultados positivos con respecto a su capacidad de actuar en el organismo y el potencial de su aplicación como aditivos de los alimentos es alto (Smolkova *et al.*, 2015).

2.5.1.1. Gelación Iónica

Para preparar las nanopartículas existen numerosas técnicas, y se ha sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos; en la literatura (Brazel, 1999) existen muchas técnicas que pueden llevar a cabo la nanoencapsulación de diversos compuestos y microorganismos, dentro de los cuales se pueden citar, el secado por aspersión, extrusión, lecho fluidizado, coacervación simple o compleja, polimerización interfacial y la gelación iónica (Gouin, 2004). La gelación iónica utiliza biopolímeros aniónicos como material pared, que en combinación con iones divalentes como el calcio inducen la formación del gel, que finalmente origina la nanocápsula, dentro de este grupo se destaca el alginato de sodio (AS) (Vicine *et al.*, 2015).

Los alginatos son copolímeros lineales aniónicos compuestos de β -D ácido manurónico (M) y α -L ácido gulurónico (G) unidos por enlace β 1-4 y es estructurado por bloques que pueden ser homopoliméricos (M o G) o heteropoliméricos (MG) (Dodero *et al.*, 2019). La ventaja de este polisacárido es su producción debido a que se considera que es barato, ecológico, biocompatible y no tóxico. Adicionalmente el peso molecular del alginato de sodio hace que se produzcan nanocápsulas de mayor dureza y tensión superficial. La nanoencapsulación por gelación iónica tiene un gran aporte a la Industria Alimentaria como enmascaramiento de olor, color, sabor, conservación e incorporación de componentes (Madene *et al.*, 2006; Weiss *et al.*, 2006).

2.6. Aceites Esenciales

Los aceites esenciales (AE) son líquidos incoloros, en su mayoría aromáticos y compuestos orgánicos volátiles naturales extraídos de todas las partes de la planta, como: semillas, flores, tallo, corteza y toda la planta integralmente (Bhavaniramya *et al.*, 2019). Estos se incluyen comúnmente como productos médicos, perfumes, cosméticos y suplementos dietéticos en diferentes países. A finales del siglo XIX, se utilizaron originalmente, como medicina por su aroma y sabor. Anteriormente se han informado 3000 AE y a menudo se usan aproximadamente 300 variedades de AE en fragancias debido a un sabor excesivo (Govindan *et al.*, 2022).

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios de las plantas y los utiliza como mecanismos esenciales para su supervivencia y por lo tanto, tiene beneficios medicinales específicos como actividades antibacterianas y antifúngicas (Lin *et al.*, 2022). Se ha documentado que los AE tienen importantes actividades como antiséptica, antimicrobiana, antiviral, antifúngica e insecticida (Kim *et al.*, 2021). Por lo tanto, los AE pueden actuar como un método efectivo para disminuir la resistencia microbiana (Wu *et al.*, 2021). Cabe destacar que los aceites esenciales aparte de tener propiedades antimicrobianas también tienen propiedades antioxidantes.

2.6.1. Propiedades Antimicrobianas

La actividad biológica del AE se debe principalmente a la presencia de compuestos volátiles como terpenos, alcoholes, ácidos, ésteres, epóxidos, aldehídos, cetonas, aminas y sulfuros terpineol, thujanol, mircenol, neral, tuyona, alcanfor y carvona (Rivera *et al.*, 2015). Se encontró que los aceites esenciales pueden poseer propiedades antimicrobianas que podría reemplazar a los antibióticos sintéticos convencionales (Anupama *et al.*, 2019).

Hao *et al.* (2021), investigaron la actividad antimicrobiana y el mecanismo del aceite esencial de *Litsea cubeba* (LCEO) contra *Acinetobacter baumannii*. *Litsea cubeba* es una planta que se encuentra principalmente en el sudoeste de Asia y Sur de China, el AE se extraía de la cáscara de su fruta. LCEO mostro una fuerte actividad antimicrobiana contra *Acinetobacter baumannii*. El mecanismo de su actividad fue cuando el cultivo bacteriano fue tratado con este AE, muestra un cambio en su morfología, con paredes dañadas lo que conduce a la fuga de la enzima AKP presente entre la pared y membrana celular, ácido nucleico y proteínas. Cuando la actividad de la síntesis de proteínas se inhibe, el metabolismo fisiológico normal de las bacterias también se ven afectadas, lo que conlleva a la muerte celular (Hao *et al.*, 2021).

2.6.2. Propiedades Antioxidantes

El interés por los antioxidantes naturales como el aceite esencial ha aumentado considerablemente (Ahmed *et al.*, 2019). Según He *et al.* (2022), los aceites esenciales pueden ser utilizados como conservadores naturales para los alimentos ya que entre sus componentes principales se encuentran los fenoles, sustancias que poseen dicha capacidad y poder así sustituir a los antioxidantes sintéticos.

Las diferencias en la actividad antioxidante de diferentes aceites esenciales se deben principalmente a las diferencias en los tipos y cantidades de componentes antioxidantes presentes en estos. La actividad antioxidante se ve también afectada por el método de extracción o los disolventes utilizados (Pandey *et al.*, 2014). Además, el período de recolección de la planta también determina la concentración de los principales componentes del aceite, tales como los compuestos fenólicos, que están directamente relacionados con la actividad antioxidante de los aceites esenciales (Starlipper *et al.*, 2015).

Es importante resaltar que la mayoría de los compuestos antioxidantes naturales, al igual que los compuestos antimicrobianos trabajan a menudo sinérgicamente entre sí para producir un amplio espectro de propiedades, en este caso antioxidantes, que

crean un eficaz sistema de defensa contra los radicales libres (Cevallos & Londoño, 2018).

2.6.3. Aceite esencial de menta

La menta pertenece a un género de plantas de la familia taxonómica *Lamiaceae*, además es fuente de un valioso aceite esencial ampliamente utilizado en productos con sabor a menta, fragancias y productos farmacéuticos (Lawrence, 2006). Se han atribuido varios efectos beneficiosos al uso del aceite esencial menta ya que contiene una mezcla de metabolitos volátiles con actividades antiinflamatorias, antibacterianas, antivirales, antitumorales, neuroprotectores, antifatiga y antioxidante (Lv *et al.*, 2012). En la Tabla 2 se muestran los principales componentes químicos destacando en mayor porcentaje la mentona y mentol, las estructuras químicas se muestran en la Figura 13. El aceite esencial de menta tiene muchas aplicaciones en diferentes campos industriales como la cosmética, farmacéutica, nutracéutica y en la industria alimentaria (Zhao *et al.*, 2022).

Tabla 2. Componentes químicos del aceite esencial de menta (Tsai *et al.*, 2013; Verma *et al.*, 2011).

Componente químico	Concentración %	Componente químico	Concentración %
Limoneno	0.1-6.0	Acetato de mentilo	0.7-23.0
1,8-Cineol	1.0-13.0	Isopulegol	0.2
Mentona	2.0-44.0	Mentol	35.0-60.0
Mentofurano	0.3-14.0	Neo-mentol	3.0-4.0
Isomentona	2.0-5.0	β -cariofileno	1.6-1.8

La principal aplicación del aceite esencial de menta en jugos de frutas es por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, de acuerdo con Almeida *et al.*, (2019) reportaron que el aceite esencial de menta fue efectivo para inactivar *C. albicans*, *C. tropicalis*, *P. anomala* y *S. cerevisiae* en jugos de guayaba, mango y piña donde se

ejerce efectos inhibidores contra las levaduras de deterioro en jugos de frutas a través de un mecanismo de objetivos múltiples que afecta simultáneamente diferentes funciones fisiológicas en las células de la levadura.

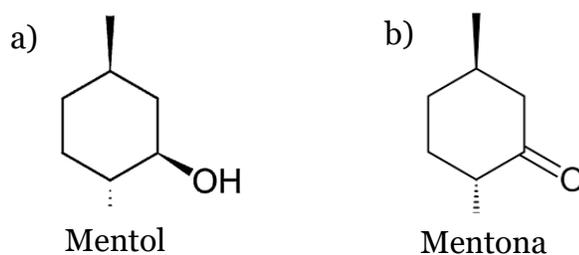


Figura 13. Estructura química de los principales componentes del aceite esencial de menta (a) de Sousa Barros et al., 2015 y b) Zhao et al., 2022).

Por otro lado, de Sousa Guedes *et al.*, (2016) mencionan que los aceites de menta (*Mentha arvensis L.* y *Mentha piperita L.*) demostraron los efectos inhibitorios más fuertes contra *E. coli* y *Salmonella enteritidis* específicamente en los jugos de marañón, guayaba y piña, los cuales presentaron valores de pH más bajos.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

3.1. Objetivo General

Analizar el efecto del sinergismo de la pasteurización UV-C, extracto de *E. polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta durante el procesamiento del jugo clarificado de mandarina mediante métodos físicos (°Brix, color y turbidez), químicos (pH, flavonoides, fenoles totales, extracto de *E. polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta), de actividad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y microbiológico como indicador de una eficiente pasteurización donde se haya reducido la menor concentración de compuestos bioactivos y presentado una reducción total de microorganismos presentes en el jugo clarificado de mandarina.

3.2. Objetivos Particulares

- a) Establecer los tiempos de residencia en los diferentes fotoreactores (VT1, VH200, VH410) utilizando el método del trazador en la pasteurización UV-C en el jugo clarificado de mandarina con extracto de *E. polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta para su correlación con las cinéticas de degradación.
- b) Evaluar el efecto de la pasteurización UV-C por medio de parámetros físicos (°Brix, color y turbidez) como indicador de un tratamiento menos agresivo y con una mayor retención de compuestos bioactivos.
- c) Evaluar el efecto de la pasteurización UV-C mediante métodos químicos (pH, fenoles totales, flavonoides, extracto de *E. polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta) para indicar que el tratamiento es menos agresivo y efectivo para retener la mayor concentración de compuestos bioactivos.
- d) Evaluar la capacidad antioxidante (ABTS, FRAP, DPPH) de los diferentes tratamientos en la pasteurización UV-C para su correlación con la

concentración de los compuestos bioactivos presentes en el jugo de mandarina.

- e) Evaluar la reducción de microorganismos (mesófilos aerobios y mohos y levaduras) presentes en el jugo mediante un análisis microbiológico de mesófilos aerobios para indicar la eficiencia de la pasteurización UV-C.

3.3. Materiales y Métodos

3.3.1. Materiales

Aceite esencial de menta, alginato de sodio (N° CAS 9005-38-3), DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico), TPTZ (2,4,6-tri (2-piridil)-s-triazina), TROLOX (ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), Pectinasa de *Aspergillus aculeatus* en solución acuosa $\geq 3800 \frac{\text{unidades}}{\text{mL}}$, Reactivo Folin-Ciocalteu 2N, Quercetina (2-(3,4-dihidroxifenil)-3,5,7-trihidroxi-4H-1-benzopiran-4-ona) fueron adquiridos de Sigma Aldrich. Todos los demás reactivos fueron de grado analítico.

3.3.2. Materia prima

Se adquirieron 40 kg de mandarina (*Citrus reticulata*) en un mercado local de Cuautitlán, México. La mandarina fue seleccionada de acuerdo con el estado de madurez, tamaño y color.

3.3.3. Extracción de los flavonoides de *Eysenhardtia polystachya*

Se adquirió 1 kg de palo azul (*Eysenhardtia polystachya*) en el mercado municipal de Cuautitlán, México. Se extrajo la fracción rica en flavonoides con una mezcla etanol/agua en una relación 2:1 asistida por ultrasonido mediante un procesador ultrasónico (Hielscher UP200Ht, Hielscher Ultrasound Technology, Teltow, Alemania) en un intervalo de 3 h haciendo la ultrasonicación cada 20 min con

duración de 5 min cada uno a una temperatura de 25 °C con 50 W de potencia. La relación masa/volumen de producto y medio de extracción fue de 1:6. Posteriormente a la extracción se evaporó la solución a 6.6 kPa en un rotavapor (IKA® RV 10 digital, Wilmington, Carolina del Norte, EE. UU) a 40 °C. Finalmente, la solución restante fue secada en charolas en un horno convectivo a 40 °C para obtener los sólidos que serán el extracto rico en flavonoides.

3.3.4. Preparación de las nanopartículas de aceite esencial de menta

Las nanopartículas fueron formadas por gelación iónica descrito por Miranda-Linares *et al.*, (2020) con algunas modificaciones. El primer paso consistió en preparar una nanoemulsión con un tensioactivo oleoso en una solución acuosa de PVA. El segundo paso consistió en dispersar la nanoemulsión en la dispersión de alginato; mientras que el tercero fue la reacción de gelificación con cloruro de zinc. El tamaño nanométrico se logró durante el paso final, donde se utilizó agitación mecánica de alta velocidad para reducir el tamaño de las partículas formadas. Todas las dispersiones finales se mantuvieron bajo agitación magnética durante 1 h para permitir la reticulación completa.

3.3.5. Caracterización de las nanopartículas de aceite esencial de menta

La distribución del tamaño de partícula y el índice de polidispersión del sistema coloidal fueron determinados mediante la técnica de dispersión de luz láser con un ángulo fijo de 273° a 25 °C usando un equipo Zetasizer 4 (Zetasizer Nano Series Malvern Ltd., Worcestershire, UK). Las dispersiones fueron diluidas con agua Milli-Q. La potencial zeta de las dispersiones se determinó usando un equipo Zetasizer 4® (Zetasizer Nano Series Malvern Ltd., Worcestershire, UK). Para este fin, se utilizaron soluciones diluidas de las dispersiones en agua Milli-Q®. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

3.3.6. Elaboración del jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta

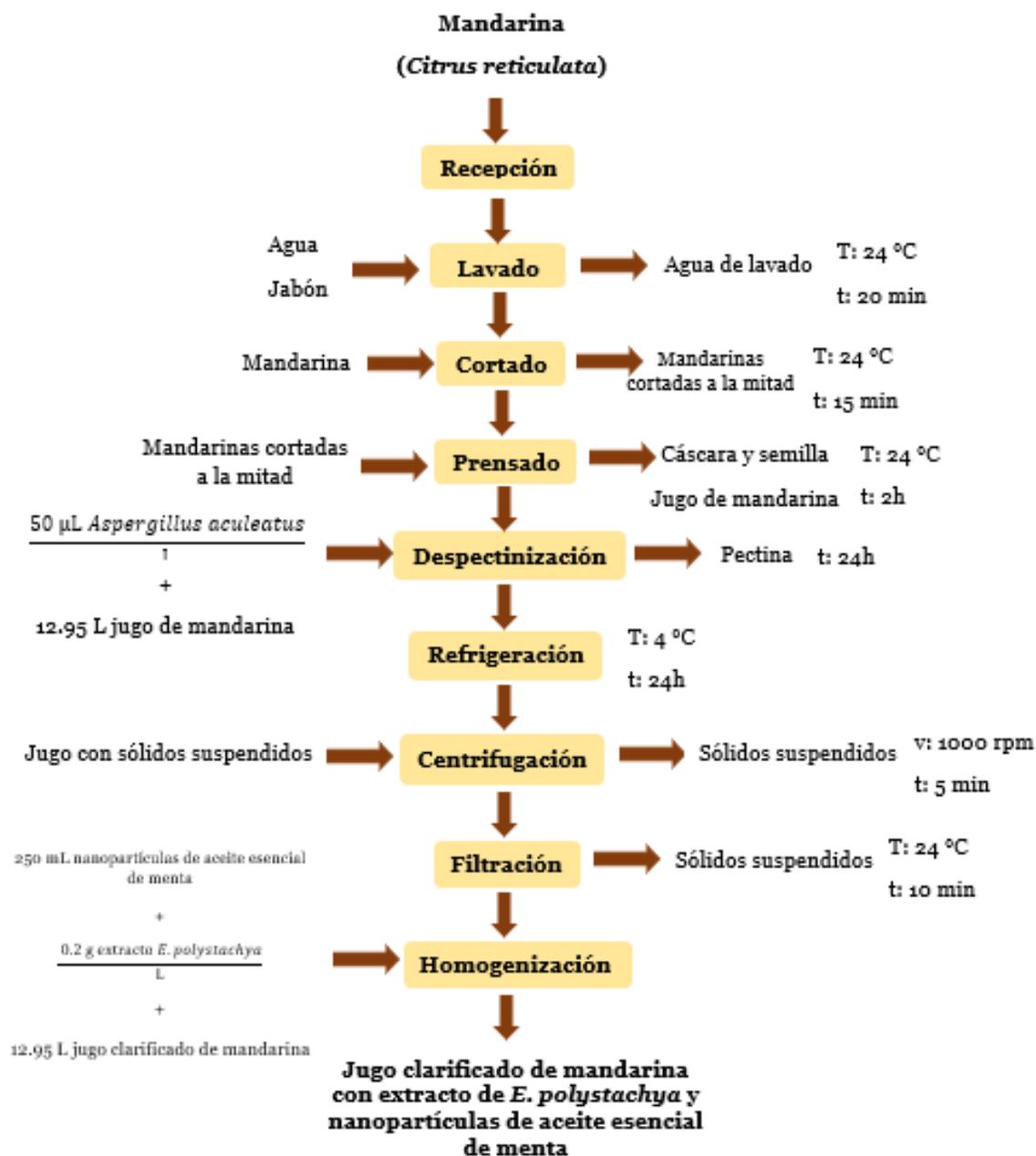


Figura 14. Diagrama de bloques para la obtención del jugo clarificado de mandarina con el extracto natural de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta.

Como se puede observar en el diagrama de bloques (Figura 14), las mandarinas fueron lavadas con agua y jabón para retirar la suciedad de su cáscara. Se procedió a cortar las mandarinas por la mitad e ir exprimiendo de forma manual para obtener el jugo. Al jugo obtenido (12.95 L) se le agregaron 50 μ L por cada litro de la enzima *Aspergillus aculeatus* con el fin de despectinizar y obtener un jugo clarificado de mandarina. Después de agregar la enzima *Aspergillus aculeatus*, el jugo de mandarina estuvo en agitación durante 5 min de forma manual para posteriormente dejarlo en refrigeración despectinizando por un tiempo de 24 h. Transcurrido el tiempo de despectinización, cuidadosamente se separó el sobrenadante clarificado del jugo de mandarina para después centrifugar la parte del jugo con los sólidos suspendidos. Para esto, se utilizó una centrifuga (Table top Centrifuge, Modelo DSC-200A-1, Shanghai Lw scientific co., Ltd). Una vez terminado de centrifugar el jugo de mandarina con los sólidos suspendidos, éste se mezcló con el jugo separado anteriormente. Al jugo clarificado de mandarina se le adicionaron 250 mL de nanopartículas de aceite esencial de menta, obteniendo un volumen final de 13.2 L y por cada litro se adicionaron 0.2 g de extracto de *Eysenhardtia polystachya*.

3.3.7. Tiempos de residencia

Para determinar los tiempos de residencia en cada fotoreactor se utilizó el método del trazador (González-Reza, 2012) que consistió en inyectar el 1% del volumen muerto de una solución con colorante azul # 1. Para el fotoreactor VT1 se inyectaron 5 mL debido a que el volumen del fotoreactor es de 0.5 L, para el fotoreactor VH200 se inyectaron 15 mL debido a que el volumen es de 1.5 L y para el fotoreactor VH410 se inyectaron 20 mL debido a que su volumen es de 2 L. Para realizar el método, primero se llenó el fotoreactor a toda su capacidad para posteriormente encender la bomba peristáltica e inyectar el 1% de colorante azul # 1, al terminar de inyectar, se fueron tomando muestras cada 10 s del líquido al salir del fotoreactor.

El método concluía al visualizar que el color del líquido que salía del fotoreactor era transparente, las muestras obtenidas fueron medidas en un espectrofotómetro Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 630 nm para poder

realizar las curvas de distribución de tiempo de residencia en cada fotoreactor. Los distintos elementos del fluido al seguir diferentes caminos tardarán diferentes tiempos en pasar a través del equipo. La distribución de estos tiempos en la corriente de fluido que sale del recipiente se denomina distribución de la edad a la salida E, o distribución del tiempo de residencia (DTR) del fluido (Levenspiel, 1999, como se citó en González-Reza, 2012). Es conveniente representar la DTR de tal manera que el área bajo la curva sea la unidad, es decir:

$$\int_0^{\infty} E dt = 1$$

Este procedimiento se denomina normalización de la distribución, y en la Figura 15 se muestra esta distribución en forma normalizada. De acuerdo con esta representación la fracción de corriente de salida cuya edad (tiempo que permanece en el recipiente) está comprendida entre t y $t+dt$ es:

$$E dt$$

La fracción con edad inferior a t_1 , es:

$$\int_0^{t_1} E dt$$

Mientras que la fracción de material con edad superior a t_1 , representada por el área sombreada en la Figura 15, es:

$$\int_{t_1}^{\infty} E dt = 1 - \int_0^{t_1} E dt$$

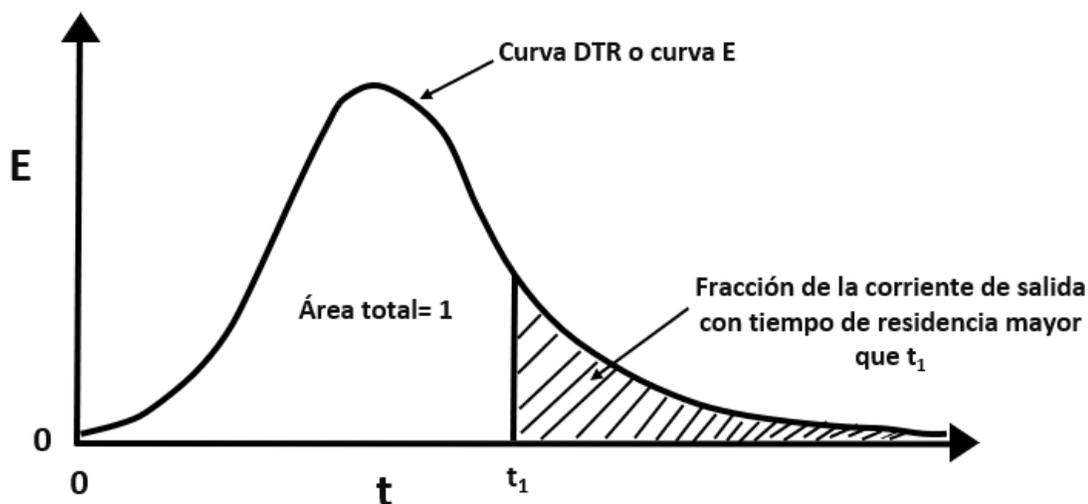


Figura 15. Curva de distribución de edad a la salida E para el fluido que pasa a través de un recipiente; también se denomina distribución del tiempo de residencia o DTR (Levenspiel, 1999, como se citó en González-Reza, 2012).

3.3.8. Pasteurización UV-C

El tratamiento de pasteurización UV-C del jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta se realizó en tres fotoreactores y combinación de éstos (VIQUA®, Modelo VT1, Potencia de la lámpara 9 W, 23 cm de longitud y 5 cm de diámetro), (VIQUA®, Modelo VH200, Potencia de la lámpara 25 W, 45 cm de longitud y 8.9 cm de diámetro), (VIQUA®, Modelo VH410, Potencia de la lámpara 46 W, 59.6 cm de longitud y 8.9 cm de diámetro). Antes de realizar el tratamiento de pasteurización del jugo, se encendió el fotoreactor por 15 min previos para que la irradiación por parte de la lámpara UV-C desinfectara el interior del reactor. Transcurrido el tiempo de desinfección del interior del fotoreactor se apagó y se esperó 10 minutos para su utilización.

El jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta fue introducido al fotoreactor por medio de mangueras flexibles utilizando una bomba peristáltica (Across International, Model PO4M/Y15, Flujo máximo $380 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$). Posteriormente se encendía el fotoreactor

para que la lámpara empezara a suministrar la radiación UV-C. El tiempo de residencia del jugo dependía de las características de cada fotoreactor (volumen) y del flujo volumétrico establecido ($380 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$, $285 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$, $190 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$). La Tabla 3 muestra los tratamientos realizados en el presente trabajo experimental, los cuales posteriormente fueron analizados.

Tabla 3. Tratamientos en la pasteurización del jugo de mandarina adicionado con extracto de *E. polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta.

Reactor	Q (mL/min)
VT1	380
VT1	285
VT1	190
VH200	380
VH200	285
VH200	190
VH410	380
VH410	285
VH410	190
VT1-VH200	380
VT1-VH200	285
VT1-VH200	190
VT1-VH410	380
VT1-VH410	285
VT1-VH410	190
VH200-VH410	380
VH200-VH410	285
VH200-VH410	190
VT1-VH200-VH410	380
VT1-VH200-VH410	285
VT1-VH200-VH410	190

3.4. Caracterización del jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta sometido a pasteurización UV-C

3.4.1. pH

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro (HANNA HI 208 pH meter, Porto, Portugal) que fue calibrado con soluciones reguladoras de pH (7 y 4). Se realizó la medición directa sobre la muestra control y las muestras después de someterlas al tratamiento de pasteurización UV-C. La medición se realizó por triplicado a temperatura ambiente.

3.4.2. Sólidos solubles

Para la medición de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital (HANNA HI 96801, Massachusetts, EE. UU) que fue calibrado con agua destilada indicando cero °Brix. Posteriormente se fueron colocando gotas del jugo clarificado de mandarina con nanopartículas de aceite esencial de menta y extracto de *Eysenhardtia polystachya* de las muestras sometidas a pasteurización UV-C con ayuda de un gotero sobre el prisma para realizar la lectura. La medición se realizó por triplicado a temperatura ambiente.

3.4.3. Turbidez

Para la medición de la turbidez del jugo clarificado de mandarina con nanopartículas de aceite esencial de menta y extracto de *Eysenhardtia polystachya* se utilizó un turbidímetro digital (Radio Turbidimeter, Ecoshel, Model WGZ-200, Shanghai, China) que fue calibrado con agua destilada indicando valores de 0. Posteriormente se fueron vertiendo las diferentes muestras sometidas a pasteurización UV-C sobre el tubo de muestra y se fue realizando la lectura. La medición se realizó por triplicado de cada muestra a temperatura ambiente. Las unidades de turbidez fueron expresadas en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

3.4.4. Color

La determinación de color se realizó utilizando un colorímetro (Minolta CR 300, Minolta Camera Company, Osaka, Japón) con el adaptador para medición de líquidos. Se registraron las coordenadas L^* , a^* y b^* en la escala de Hunter Lab de acuerdo con lo que establece la CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) que fueron tomadas usando iluminante C y un observador estándar a 2° con ayuda de una celda de cuarzo para líquidos. Cada medición se realizó por triplicado a 25 ± 1 °C.

3.4.5. Fenoles Totales

El ensayo con Folin-Ciocalteu (FC) inicialmente fue empleado para la cuantificación de tirosina en proteínas, pero con el tiempo fue modificado para poder analizar diferentes alimentos (Singleton *et al.*, 1999). Para determinar la concentración de fenoles totales de las muestras sometidas a la pasteurización UV-C se hicieron disoluciones 1:100 de cada muestra para después tomar 250 μL y añadirle 125 μL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 1:10 y 250 μL H_2O destilada, esto, se dejó reposar 8 minutos. Transcurrido el tiempo de 8 min se le agregó a la disolución 1.25 mL Na_2CO_3 y 1 mL H_2O destilada y se dejó reposar por 1 h. Posteriormente se realizó la lectura de absorbancia a 765 nm por triplicado en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) por cada solución de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. Los resultados fueron expresados en $\frac{\text{mg EAG}}{\text{mL}}$ de la muestra, obteniéndose a partir de una curva patrón de ácido gálico.

3.4.6. Flavonoides

Para determinar la concentración de flavonoides se utilizó el método colorimétrico descrito por Chang *et al.*, (2002). Se tomaron directamente 500 μL de cada una de las muestras sometidas a pasteurización UV-C para posteriormente adicionar 100

$\mu\text{L AlCl}_3$ al 10%, 100 $\mu\text{L CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ 1M, 1.5 mL $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ al 96% y 2.8 mL H_2O destilada, la solución se dejó reposar por 30 minutos. Posteriormente se realizó la lectura de absorbancia a 415 nm por triplicado en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a cada una de las soluciones de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. Los resultados se expresaron como $\frac{\mu\text{g EQ}}{\text{mL}}$ de la muestra, obteniéndose a partir de una curva patrón de quercetina.

3.4.7. Métodos para determinar la capacidad antioxidante

3.4.7.1. ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico)

Para determinar la concentración de la actividad antioxidante por el método ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico) se utilizó la metodología propuesta por Re *et al.*, (1999). Se preparó una solución madre del radical ABTS compuesta por ABTS 7 mmol con $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 2.45mmol. La solución madre se dejó reposar en la oscuridad durante 16 h a temperatura ambiente para su previa utilización. Transcurrido el tiempo se tomaron 2 mL de la solución madre del radical ABTS concentrado y se diluyeron en 200 mL de buffer de fosfatos a pH de 7.4, si era necesario se tomaba de la solución madre otros microlitros para llegar a una absorbancia de 0.700 ± 0.02 a 734 nm. Una vez obtenida la absorbancia de 0.700 ± 0.02 se tomaron 2900 μL de la solución para cada muestra y se le añadieron 100 μL de la disolución 1:100 de cada muestra sometida a pasteurización UV-C. Pasado 7 min se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 734 nm por triplicado a cada solución obtenida de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. La capacidad de captación de radicales de las muestras se expresó como $\frac{\mu\text{mol ET}}{\text{mL}}$, obteniéndose de una curva patrón construida por el trazado de valores de absorbancia contra concentraciones de 0-1000 μmol de Trolox.

3.4.7.2. DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

Para determinar la concentración de la actividad antioxidante por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams et al., (1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución en metanol de 100 μmol con el radical DPPH el cual se dejó reposar en la oscuridad por 30 min. Posteriormente se tomaron 2900 μL de la solución para cada muestra y se le añadieron 100 μL de la disolución 1:100 de cada muestra sometida a pasteurización UV-C. Pasado 30 min se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 517 nm por triplicado a cada solución obtenida de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. La capacidad de captación de radicales de las muestras se expresó como $\frac{\mu\text{mol ET}}{\text{mL}}$, obteniéndose de una curva patrón construida por el trazado de valores de absorbancia contra concentraciones de 0-1000 μmol de Trolox.

3.4.7.3. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Para determinar la concentración de la actividad antioxidante por el método FRAP se utilizó la metodología propuesta por Benzie & Strain, (1996). Se preparó siempre el reactivo fresco constituido por 25 mL de buffer de acetato de sodio trihidratado a pH de 3.6, 2.5 mL de TPTZ 10 mmol (2,4,6-tri (2-piridil)-s-triazina) disuelto en HCl 40 mmol y 2.5 mL de FeCl_3 20 mmol. De la solución se tomaron 2900 μL para cada muestra y se le añadieron 100 μL de la disolución 1:100 de cada muestra sometida a pasteurización UV-C.

Posteriormente las soluciones se incubaron a una temperatura de 37°C por un tiempo de 30 min, transcurrido el tiempo, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 595 nm por triplicado a cada solución obtenida de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. Los resultados fueron expresados en $\frac{\mu\text{mol ET}}{\text{mL}}$, obteniéndose de

una curva patrón construida por el trazado de valores de absorbancia contra concentraciones de 100-1000 μmol de Trolox.

3.4.8. Concentración de aceite esencial residual

Para determinar la concentración de las nanopartículas de aceite esencial de menta en el jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* se realizaron disoluciones 1:20 de las muestras sometidas a pasteurización UV-C, posteriormente, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 275 nm por triplicado de cada solución de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. Las concentraciones obtenidas se reportaron como $\frac{\text{mg aceite esencial de menta}}{\text{mL}}$ en muestra, obteniéndose de una curva patrón a concentraciones conocidas de aceite esencial de menta.

3.4.9. Extracto de *Eysenhardtia polystachya*

Para determinar la concentración del extracto de *Eysenhardtia polystachya* en el jugo clarificado de mandarina con nanopartículas de aceite esencial de menta se realizaron disoluciones 1:20 de las muestras sometidas a pasteurización UV-C y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10s (Thermo scientific, Waltham, MA, EE. UU.) a 379 nm por triplicado de cada muestra. Las concentraciones obtenidas se reportaron como $\frac{\mu\text{g extracto } E.Polystachya}{\text{mL}}$ en muestra, obteniéndose de una curva patrón del extracto puro diluido en agua destilada.

3.4.10. Análisis microbiológico

Los parámetros determinados para llevar a cabo las pruebas microbiológicas en las muestras pasteurizadas fueron mesófilos aerobios y mohos y levaduras. Para tal efecto, se adquirieron kits de prueba rápida proporcionados por Millipore®, (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania). Las pruebas se realizaron por triplicado a las condiciones proporcionadas por el fabricante.

3.4.11. Análisis Estadístico

Los resultados se analizaron utilizando el software estadístico Minitab (Minitab Statistical Software 21) para determinar el efecto de la dosis de radiación suministrada y el tiempo de residencia dentro del fotoreactor sobre las propiedades físicas, químicas y actividad antioxidante del jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Distribución de tiempos de residencia (DTR)

En cuanto a estudios de DTR hay una clara necesidad de un enfoque sistemático y estudios de optimización (Pinheiro Torres & Olivera, 1998). A continuación, se muestran las curvas de DTR obtenidas en los diferentes fotoreactores. La Figura 16 muestra el efecto que tiene el flujo volumétrico sobre el tiempo de residencia en el fotoreactor VT1, el cual se revela en la amplitud de la señalización de cada campana obtenida.

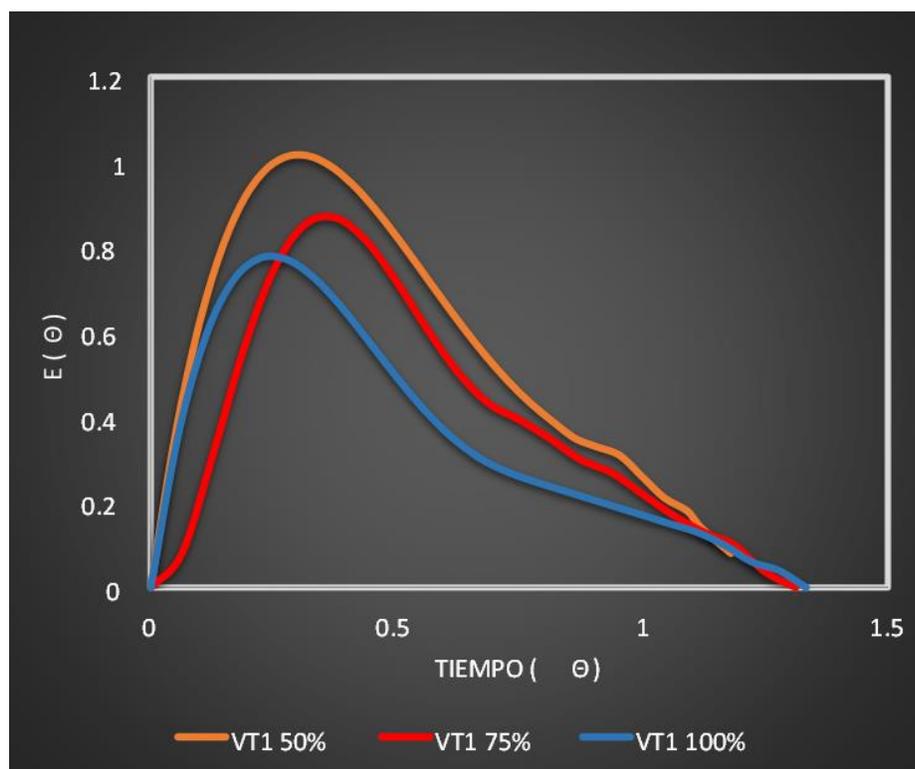


Figura 16. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VT1 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.

El efecto de mayor importancia en el estudio de distribución de tiempos de residencia es la velocidad de flujo ya que está en relación directa con su tiempo de permanencia y que son necesarios para poder determinar la dosis aplicada, así como

estudios en la cinética de muerte de los microorganismos en la pasteurización UV-C. La Figura 17, demuestra que para el fotoreactor VH200, la primera señalización obtenida es para el flujo volumétrico de 100 y 75% no es al inicio del proceso, esto debido a que este fotoreactor cuenta con una mayor longitud y además tiene un volumen muerto mayor a VT1.

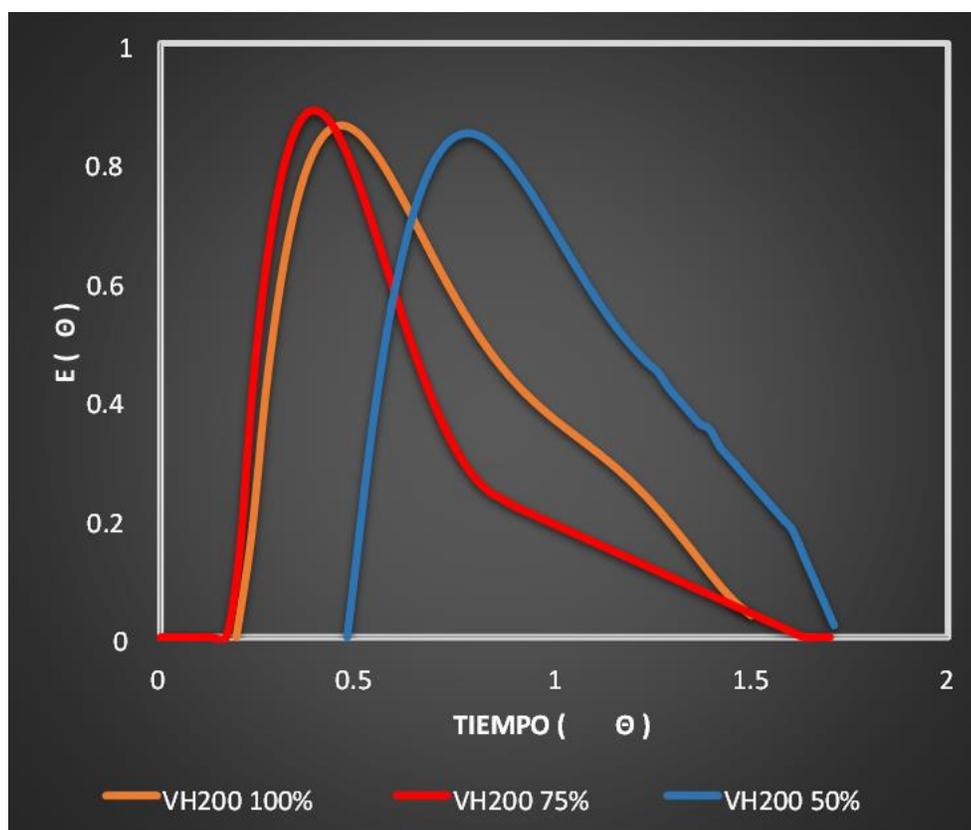


Figura 17. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VH200 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.

La Figura 18 muestra que a una velocidad de la bomba peristáltica de 50% el tiempo de residencia aumenta de manera considerable, esto debido a que este fotoreactor cuenta con una mayor longitud y además tiene un volumen muerto mayor que revela una gran resistencia al flujo.

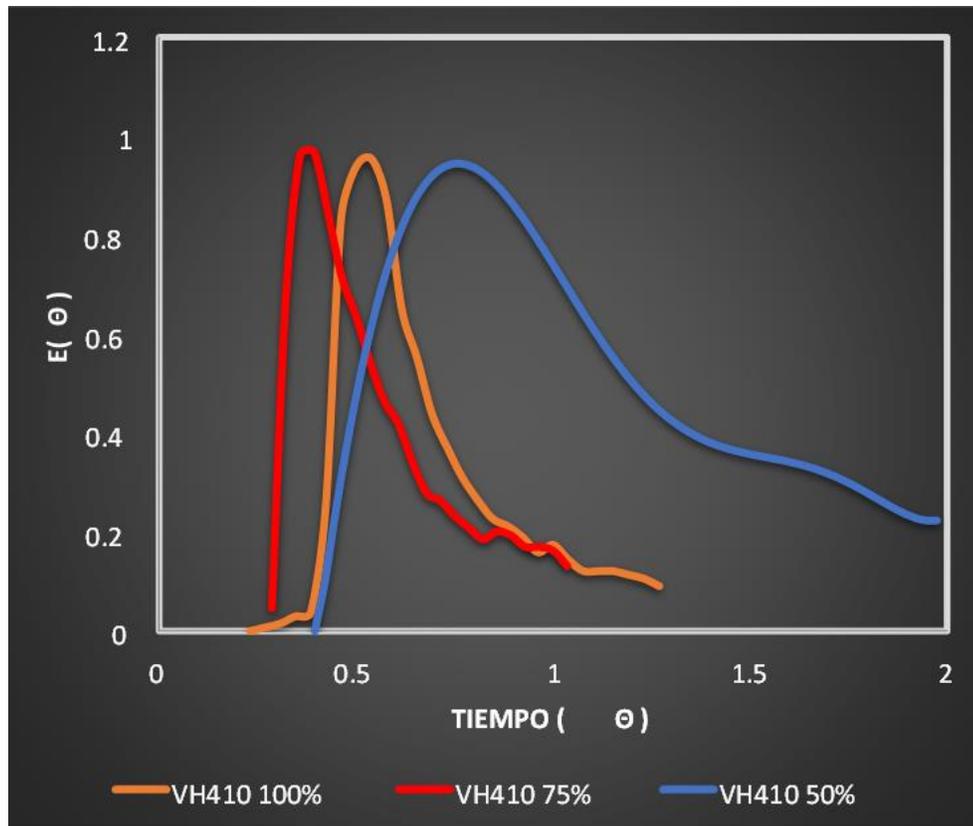


Figura 18. Distribución de tiempo de residencia en el reactor VH410 al 50, 75 y 100% de la capacidad de la bomba peristáltica.

En el tratamiento por luz UV-C se desea que todas las partículas sean irradiadas para que exista una homogeneidad en la letalidad obtenida, lo equivalente a la homogeneidad en los perfiles de temperatura obtenidos por pasteurización convencional por calor.

La Tabla 4 muestra los tiempos de residencia establecidos, así como las dosis de irradiación calculadas de cada fotoreactor y las combinaciones de estos para la pasteurización UV-C, las dosis de irradiación se obtuvieron de acuerdo con la intensidad de cada fotoreactor por el tiempo de residencia. Para esto, se establecieron tres porcentajes de la capacidad de la bomba (100, 75 y 50%) con las que se caracterizaron los fotoreactores para calcular el flujo volumétrico en $\frac{\text{mL}}{\text{min}}$ y el tiempo de residencia. La intensidad se obtuvo a partir de las características de cada fotoreactor (VT1, VH200, VH410) como la potencia, longitud y diámetro.

Tabla 4. Tiempos de residencia determinados en los diferentes fotoreactores, así como la dosis calculada para los diferentes tratamientos en la pasteurización UV-C.

Fotoreactor	Q (mL/min)	Tiempo (min)	Dosis (J/L)
VT1	380	3	1421.1
VT1	285	4.5	1894.7
VT1	190	6	2842.1
VH200	380	8	5526.3
VH200	285	13.15	7368.4
VH200	190	18	11052.6
VH410	380	14.5	9473.7
VH410	285	22	12631.6
VH410	190	30	18947.4
VT1-VH200	380	11	6947.4
VT1-VH200	285	17.65	9263.2
VT1-VH200	190	24	13894.7
VT1-VH410	380	17.5	10894.7
VT1-VH410	285	26.5	14526.3
VT1-VH410	190	36	21789.5
VH200-VH410	380	22.5	15000.0
VH200-VH410	285	35.15	20000.0
VH200-VH410	190	48	30000.0
VT1-VH200-VH410	380	25.5	16421.1
VT1-VH200-VH410	285	40	21894.7
VT1-VH200-VH410	190	54	32842.1

4.2. pH, sólidos solubles y turbidez

La Tabla 5 muestra el efecto de las dosis de irradiación suministradas por los fotoreactores y la combinación de estos sobre los parámetros físicos y fisicoquímico

de la muestra control. La muestra control presenta un pH de 4.20, °Brix 10.5, Turbidez 159.6 NTU.

Tabla 5. Efecto de la pasteurización UV-C sobre la turbidez, sólidos totales y pH.

Reactor	Dosis (J/L)	pH	°Brix	Turbidez
VT1	1421.1	4.20±0.1	10.5±0	156.1±0.4
VT1	1894.7	4.20±0.1	10.5±0	154.3±0.8
VT1	2842.1	4.20±0.1	10.5±0	154.6±0.7
VH200	5526.3	4.19±0.1	10.6±0	150.3±0.1
VH200	7368.4	4.20±0.1	10.5±0	145.4±0.0
VH200	11052.6	4.20±0.1	10.5±0	144.2±0.3
VH410	9473.7	4.20±0.0	10.6±0	144.5±0.1
VH410	12631.6	4.20±0.1	10.6±0	157.4±0.7
VH410	18947.4	4.20±0.1	10.5±0	153.8±1.2
VT1-VH200	6947.4	4.20±0.1	10.5±0	148.6±0.5
VT1-VH200	9263.2	4.20±0.0	10.5±0	145.5±0.7
VT1-VH200	13894.7	4.20±0.0	10.5±0	155.4±0.7
VT1-VH410	10894.7	4.20±0.0	10.5±0	164.6±0.9
VT1-VH410	14526.3	4.20±0.0	10.6±0	156.5±1.4
VT1-VH410	21789.5	4.20±0.1	10.6±0	153.2±0.1
VH200-VH410	15000.0	4.20±0.1	10.5±0	148.1±0.9
VH200-VH410	20000.0	4.20±0.1	10.5±0	157.6±0.0
VH200-VH410	30000.0	4.20±0.1	10.5±0	152.9±0.1
VT1-VH200-VH410	16421.1	4.20±0.0	10.5±0	147.9±0.4
VT1-VH200-VH410	21894.7	4.20±0.0	10.5±0	147.2±0.6
VT1-VH200-VH410	32842.1	4.20±0.1	10.5±0	154.7±0.6

Se analiza que las dosis de irradiación suministradas por los fotoreactores y la combinación de éstos, no tienen un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre el pH y sólidos solubles después del tratamiento en comparación a la muestra control. Estudios similares han sido reportados en los que no se revelaron cambios

significativos en el pH, sólidos solubles y acidez titulable. Barraza Jáuregui *et al.*, (2015) reportaron que en jugo de granada tratado con UV-C a dosis de 18000 y 36000 J/L no tuvieron un efecto significativo en comparación a la muestra control. Por otra parte, Pala & Toklucu, (2013) reportaron que los valores de pH, sólidos solubles y acidez titulable de la muestra de jugo de naranja sometida a dosis de irradiación no tuvieron cambios significativos después del tratamiento en comparación a la muestra control sin tratamiento. Similarmente, Tran & Farid, (2004) no observaron cambios significativos en pH del jugo de naranja tratada con radiación UV-C. El resultado observado en el presente trabajo coincide con dichos autores.

En cuanto a la turbidez, se esperaba que no presentara algún cambio después del tratamiento como lo reportan algunos autores, se logra percibir una ligera disminución, los cambios en esta propiedad se deben a que en los reactores pueden quedar partículas atrapadas en las coyunturas de éstos, que se refleja en el flujo de la corriente a la salida de la distribución de tiempos de residencia. Kijpatanasilp *et al.*, (2023) reportó que la radiación UV-C conservó los atributos de turbidez del jugo de longan ya que no se encontraron variaciones significativas ($p > 0.05$) entre la muestra control, tratado con UV-C y muestras pasteurizadas.

4.3. Fenoles totales

En la Figura 19, se muestra que las dosis suministradas de cada fotoreactor y la combinación de éstos y junto con el flujo volumétrico tienen un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la concentración de fenoles totales. La muestra control presenta una concentración de $1357.53 \frac{\text{mg EAG}}{\text{mL}}$.

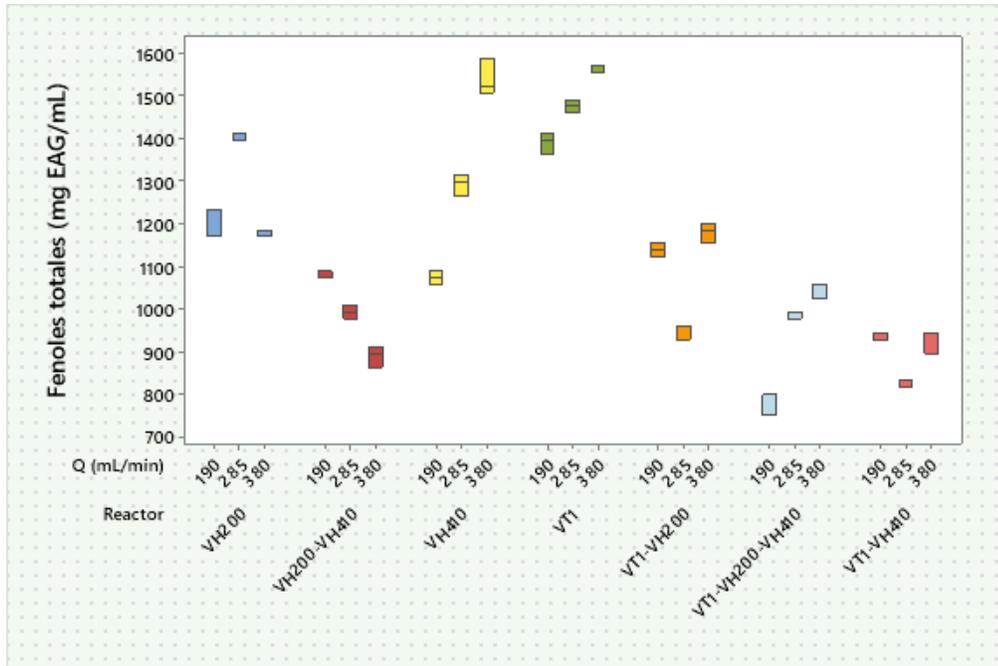


Figura 19. Concentración de fenoles totales después de la pasteurización UV-C en los diferentes tratamientos realizados.

Se observa que hubo un aumento de concentración de fenoles totales en los tratamientos por fotoreactor (VT1, VH200 y VH410) esto se atribuye a que durante el tratamiento de pasteurización UV-C las dosis de irradiación suministradas degradaron la pared capsular y por lo tanto se liberó el aceite esencial de menta al medio, éste, también es rico en compuestos fenólicos.

La concentración de fenoles totales en fotoreactor VT1 es más alta (15.2 %) ya que la dosis de irradiación y los tiempos de residencia son menores por lo que se puede apreciar que hay una ligera disminución de la concentración de fenoles totales cuando aumenta el tiempo de residencia en este fotoreactor, con el fotoreactor VH200 se aprecia que hubo una disminución de la concentración desde el flujo volumétrico de 380 mL/min esto se debe a que la dosis de irradiación y el tiempo de residencia son mayores, se logra visualizar que con el flujo de 285 mL/min hay un aumento de concentración tras la ruptura de la pared capsular que libera el aceite esencial de menta (contiene compuestos fenólicos) posteriormente se observa que

con el flujo de 190 mL/min hay una disminución de la concentración, esto, debido a la degradación de los compuestos fenólicos por parte del aceite esencial de menta ya liberado en el medio.

Este efecto resultó diferente para el fotoreactor VH410 ya que con el flujo volumétrico de 380 mL/min este presentó una concentración alta de fenoles totales pero al ir disminuyendo el flujo volumétrico el tiempo de residencia aumentó por lo que se puede apreciar que durante el tratamiento hubo una mayor degradación de nanopartículas y por lo tanto la liberación del aceite esencial de menta, con el flujo volumétrico de 285 mL/min se degradan los compuestos fenólicos del aceite esencial de menta liberado en el medio y con flujo de 190 mL/min la degradación es aún mayor debido al tiempo de residencia.

Con la combinación de fotoreactores la disminución de la concentración de fenoles totales es más visible debido al tiempo de residencia y a las dosis suministradas, se esperaba que la concentración de fenoles totales aumentara debido a la presencia del aceite esencial de menta o permaneciera igual, ya que durante el tratamiento de pasteurización UV-C los compuestos fenólicos del aceite son los que se estarían degradando o los propios del jugo de mandarina, por lo que se analiza que los compuestos fenólicos son más fotosensibles.

Similarmente, Noci *et al.*, (2008) reportaron que disminuyó significativamente la concentración de compuestos fenólicos totales en jugo de manzana tratado por UV-C aunque la magnitud de esta disminución fue menor que la observada en jugos procesados térmicamente.

4.4. Flavonoides

En la Figura 20, se muestra que las dosis de irradiación suministradas por cada uno de los fotoreactores o la combinación de estos y con el flujo volumétrico tienen un

efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la concentración de flavonoides. La muestra control presenta una concentración de $5518.84 \pm 24.154 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}$ de quercetina (QE).

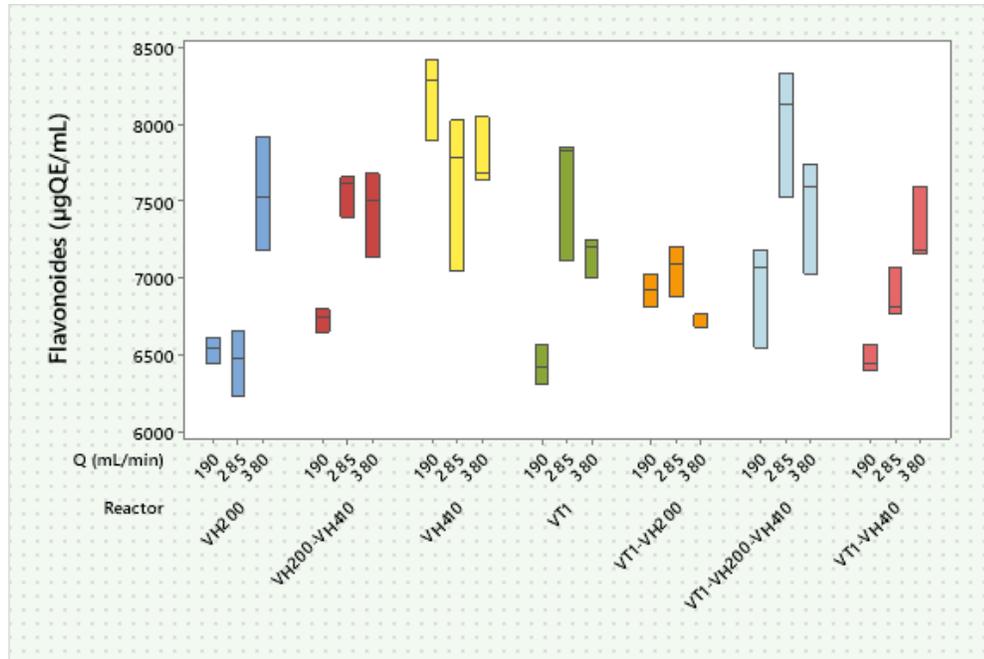


Figura 20. Cambios en la concentración de flavonoides en las muestras analizadas posterior al tratamiento por irradiación UV-C.

Se observa que al someter las muestras al tratamiento de pasteurización UV-C las dosis de irradiación suministradas tienden a aumentar la concentración de flavonoides, estos son compuestos fenólicos naturales que forman complejos ácidos lábiles en cloruro de aluminio, método colorimétrico (Mabry et al., 1970). El aumento de la concentración de los flavonoides es debido a la presencia del extracto de *Eysenhardtia polystachya* ya que durante el tratamiento de pasteurización UV-C las dosis suministradas por cada tipo de fotoreactor y la combinación de éstos, estimulan la formación de radicales que generan un estrés como la acumulación de fitoalexinas, esto se puede ver reflejado aún más por el tiempo de residencia en la que la muestra estuvo sometida a irradiación durante el tratamiento, primeramente por fotoreactor se observa que a un tiempo de residencia mayor hay un aumento de la concentración de flavonoides al igual que en la combinación de dos fotoreactores,

para la combinación de los tres fotoreactores se puede observar que al flujo volumétrico de 285 mL/min la concentración de flavonoides es mayor debido al tiempo de residencia y a la dosis de irradiación suministrada.

Allothman *et al.*, (2009) reportan que la exposición a la luz UV-C estimula la formación de radicales que pueden desencadenar respuestas de estrés como la acumulación de fitoalexinas. Como resultado, hay un aumento en el nivel de flavonoides relacionados con un mecanismo de defensa, lo cual es consistente con el presente estudio, ya que a flujos volumétricos de $285 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$ se empieza a evidenciar el aumento de flavonoides. Además, de la adición del extracto de *E. polystachya* al jugo de mandarina modifica su concentración inicial (teniendo como punto de partida los flavonoides propios contenidos en la mandarina).

4.5. Capacidad Antioxidante

4.5.1. ABTS

En la Figura 21, se muestra que las dosis de irradiación suministradas por cada uno de los fotoreactores y la combinación de estos, junto con el flujo volumétrico tienen un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la concentración de la actividad antioxidante. La muestra control presenta una concentración de $2209.52 \frac{\mu\text{mol Trolox}}{\text{mL}}$.

Se observa que al suministrar las dosis de irradiación hay un aumento en la actividad antioxidante en comparación a la muestra control, esto se debe a la presencia del extracto de *Eysenhardtia polystachya* ya que es rico en flavonoides y aparte durante el tratamiento se favorece la acumulación de fitoalexinas debido al estrés ocasionado durante la radiación UV-C. Además, que la incorporación de aceite esencial de menta nanoestructurado favoreció la retención de componentes fenólicos, y también el incremento puede atribuirse a la liberación del activo de la matriz al medio.

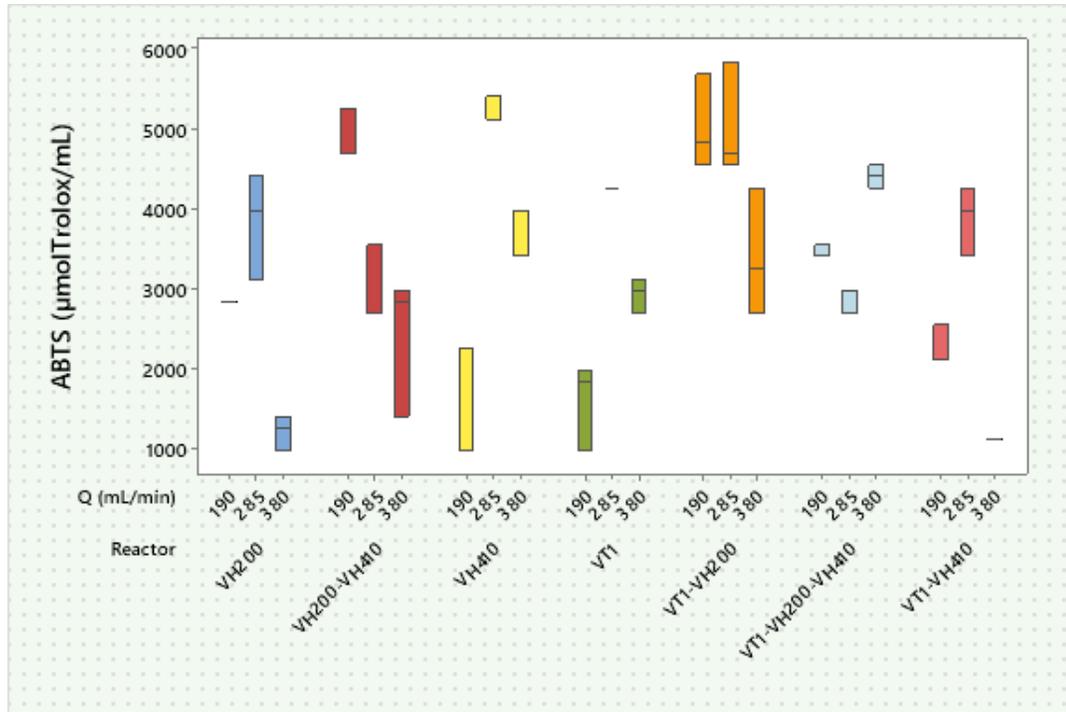


Figura 21. Actividad antioxidante por ABTS de los diferentes tratamientos después de la pasteurización UV-C.

El aumento de la actividad antioxidante se ve reflejada al aumentar las dosis de irradiación y el tiempo de residencia lo que provoca que haya una degradación de la pared capsular y se libere el sistema oleoso al medio. Por fotoreactor, VT1 a flujo volumétrico de 380 mL/min presenta una concentración alta de actividad antioxidante a comparación de la muestra sin tratamiento, con flujo de 285 mL/min se aprecia un aumento de la capacidad antioxidante esto debido a la degradación de la pared capsular y la liberación del sistema oleoso al medio y con flujo de 190 mL/min hay una disminución de la concentración de la actividad antioxidante esto por la degradación del aceite esencial del medio.

Con fotoreactor VH200 a flujo volumétrico de 380 mL/min se aprecia que hubo una degradación a comparación de la muestra inicial esto debido a que la dosis de irradiación suministrada es mayor, con flujo de 285 mL/min se observa un aumento de la concentración de actividad antioxidante y para flujo de 190 mL/min hay una

disminución debido a la degradación del aceite esencial de menta. Con fotoreactor VH410 a flujo volumétrico de 380 mL/min se logra visualizar que hay un aumento en la concentración de la actividad antioxidante, para flujo volumétrico de 285 mL/min hay otro aumento de la concentración esto se atribuye a la degradación del aceite esencial de menta, con flujo de 190 mL/min se logra percibir una reducción de la concentración parecida a la muestra sin tratamiento de irradiación.

Con la combinación de fotoreactores se visualiza un aumento en la concentración de actividad antioxidante a comparación de la muestra sin tratamiento con todos los flujos volumétricos esto se atribuye a las dosis de irradiación suministradas ya que a dosis mayores los flavonoides se ven beneficiados durante el tratamiento de pasteurización UV-C y por efecto hay un aumento en la actividad antioxidante. Esta tendencia no se refleja en fotoreactor VT1 y VH200 si no que a partir de VH410 donde el aumento de la concentración de la actividad antioxidante se empieza a evidenciar a flujo volumétrico de 190 mL/min donde el tiempo de residencia es mayor.

Pala & Toklucu, (2011) reportaron que al someter a irradiación UV-C a las dosis de 12500, 34400 y 62400 J/L a un jugo de granada utilizando el método ABTS no hubo un efecto significativo sobre las muestras tratadas en comparación con la muestra sin tratamiento. Comparando con el presente trabajo se esperaba que no cambiara la concentración de la actividad antioxidante por el método ABTS ya que ha sido reportado por así por dichos autores, al contrario, hubo un aumento en la concentración de la actividad antioxidante y es congruente ya que está presente el extracto de *Eysenhardtia polystachya* y las nanopartículas de aceite esencial de menta.

4.5.2. DPPH

En la Figura 22, se muestra que las dosis de irradiación suministradas por parte de los fotoreactores y la combinación de estos junto con el flujo volumétrico tienen un

efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la actividad antioxidante. La muestra control presenta una concentración de $23942.86 \frac{\mu\text{mol Trolox}}{\text{mL}}$.

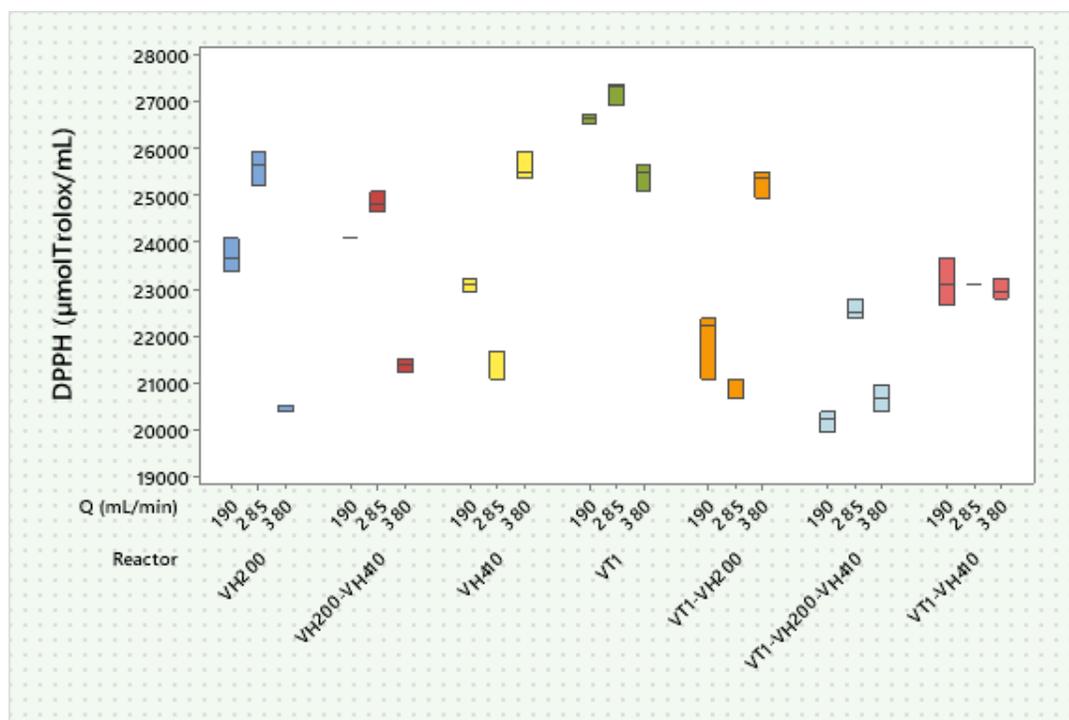


Figura 22. Actividad antioxidante por DPPH después de la pasteurización UV-C.

Se observa que al suministrar las dosis de irradiación por fotoreactor hay un aumento en la actividad antioxidante y esta se va reduciendo al aumentar las dosis suministradas por combinación de fotoreactores. La actividad antioxidante DPPH se atribuye en mayor proporción al aceite esencial de menta adicionado a las muestras, dado a su naturaleza lipofílica, en contraste con la actividad que confiere el extracto de *Eysenhardtia polystachya*. La concentración de la actividad antioxidante para fotoreactor VT1 se visualiza que hubo un aumento a comparación de la muestra sin tratamiento, con el flujo volumétrico de 380 mL/min, esto se puede atribuir a la degradación de la pared capsular por lo que se libera el sistema oleoso al medio, con flujo volumétrico de 285 mL/min se visualiza un aumento de la concentración debido a que se siguen degradando las nanoestructuras y por efecto se libera más aceite esencial de menta, para el flujo volumétrico de 190 mL/min se aprecia una

disminución de la concentración de la actividad antioxidante debido a que el tiempo de residencia es mayor.

Para fotoreactor VH200 se visualiza que hubo una degradación mayor a flujo volumétrico de 380 mL/min a comparación con la muestra sin tratamiento esto debido a que la dosis de irradiación es mayor a comparación de fotoreactor VT1, con flujo volumétrico 285 mL/min se aprecia un aumento de la concentración debido a la degradación de la pared capsular y la liberación del aceite esencial de menta al medio, con flujo volumétrico de 190 mL/min se disminuye la concentración por la degradación del aceite esencial que ya había sido liberado. Para fotoreactor VH410 a flujo volumétrico de 380 mL/min hay un aumento de concentración debido a la degradación de la pared capsular, para flujo volumétrico de 285 mL/min hubo una disminución de la concentración debido a la degradación del aceite liberado en el medio, para flujo de 190 mL/min se presenta un aumento de la concentración debido al seguimiento de la degradación de la pared capsular.

Para combinación de fotoreactores se observa que la concentración de la actividad antioxidante decrece a dosis de irradiación mayores durante el tratamiento de pasteurización UV-C. Santhirasegaram *et al.*, (2015) reportaron un aumento significativo del 12% al irradiar con UV-C a un néctar de mango a una dosis de 3.525 J/m² por 30 min por el método DPPH, esto se corrobora con el presente trabajo, a menores dosis de irradiación UV-C tiende a aumentar la concentración de la actividad antioxidante como se refleja con el reactor VT1. En contraste, Barraza Jáuregui *et al.*, (2015) reportaron que la irradiación UV-C a 36000 J/L a un jugo de granada hubo un efecto significativo disminuyendo la concentración de la actividad antioxidante en un 22.54%, esto se corrobora con el presente trabajo, al aumentar el tiempo de residencia aumentan las dosis de irradiación y se puede notar en la combinación de fotoreactores VT1-VH200-VH410. De acuerdo con Allothman *et al.*, (2009) informó que el tratamiento UV-C puede aumentar o disminuir la estabilidad de los antioxidantes debido a algunas variables, incluidas las dosis suministradas, el tiempo de exposición y tipo de materia prima.

4.5.3. FRAP

En la Figura 23, se muestra que las dosis de irradiación suministradas de los fotoreactores y la combinación de estos junto con el flujo volumétrico tienen un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la actividad antioxidante. La muestra control presenta una concentración de $5447.06 \frac{\mu\text{mol Trolox}}{\text{mL}}$.

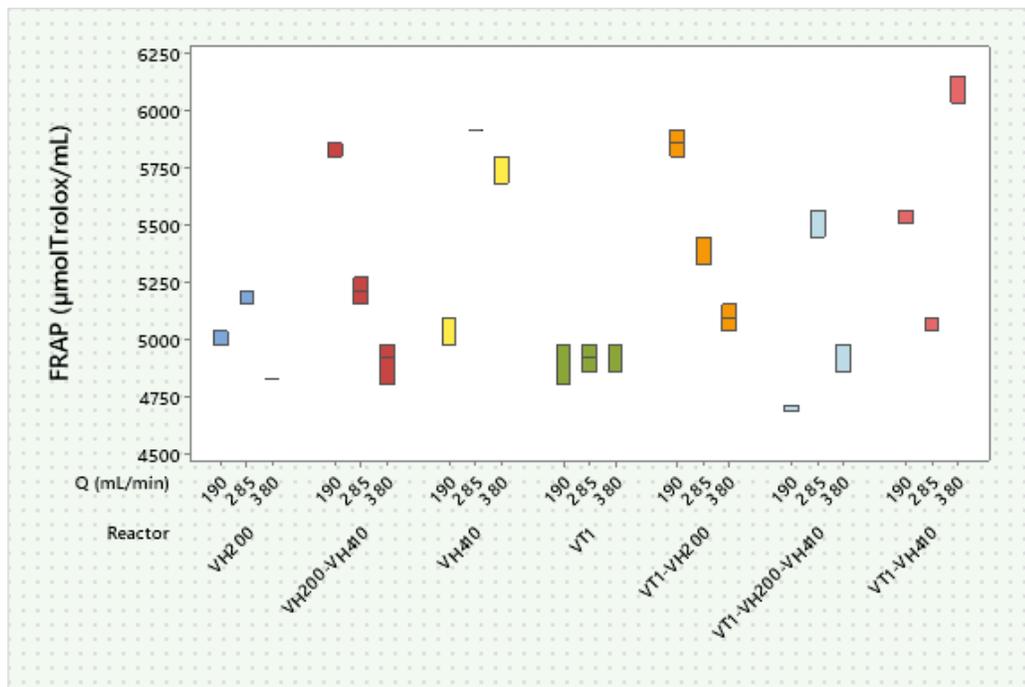


Figura 23. Actividad antioxidante por FRAP después de la pasteurización UV-C.

El ensayo de FRAP revela el poder quelante de un sistema, en este caso el jugo, se observa que la concentración de la actividad antioxidante disminuye de manera notable en el fotoreactor VT1 y VH200 se podría atribuir a la degradación de los compuestos bioactivos (fenoles totales) iniciales de la muestra control. Para los demás fotoreactores, las dosis de irradiación al ser mayores tendrán un efecto de degradación sobre la pared capsular lo que liberará el aceite esencial de menta al medio, lo que se atribuye al aumento de la concentración de la actividad antioxidante (puesto que el aceite esencial de menta tiene capacidad quelante).

Se esperaba que la concentración de la actividad antioxidante por el ensayo de FRAP hubiera aumentado debido a la presencia del extracto de *Eysenhardtia polystachya* y del aceite esencial de menta liberado en el medio pero al aumentar el tiempo de residencia el aceite se degradó a tal manera de que la concentración final restante después de la irradiación empezara actuar como quelante. Kijpatanasilp *et al.*, (2023) reportaron un efecto significativo sobre la concentración de la actividad antioxidante del jugo de longan al final del tratamiento de irradiación UV-C donde hubo una ligera disminución del 5.3% aun utilizando la mayor dosis (149.76 J/m²) de irradiación a comparación de la muestra control.

4.6. Concentración de *Eysenhardtia polystachya* y color

La Tabla 6, muestra el efecto de las dosis de irradiación suministradas por los fotoreactores y la combinación de éstos sobre la concentración de *Eysenhardtia polystachya* y de color de la muestra control. La muestra control presenta una concentración de 617.84 $\frac{\mu\text{g extracto } E. \text{ polystachya}}{\text{mL}}$. Se analiza que las dosis de irradiación suministradas tienen un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la concentración de *Eysenhardtia polystachya*.

Para el análisis de los cambios en el perfil de color se obtuvieron para la muestra control los siguientes resultados: $L^* = 69.45$, $a^* = 10.26$ y $b^* = 41.16$. De acuerdo con el análisis de varianza realizado, se encontró que la dosis suministrada modificó de manera significativa ($p \leq 0.05$) el cambio total de color en las muestras analizadas.

De acuerdo con la escala de cambio total de color propuesta por Wang et al., (2014) los $\Delta E < 2$ presentan pequeñas diferencias, los ΔE entre 2 y 3 presentan diferencias poco perceptibles y $\Delta E > 3$ presentan diferencias perceptibles, lo cual reafirma que la retención de componentes bioactivos por UV-C que se asocian a pérdida por color en este tipo de tratamientos se mantienen.

Tabla 6. Efecto de la pasteurización UV-C sobre ΔE y extracto de *Eysenhardtia polystachya*.

Fotoreactor	Dosis (J/L)	ΔE	[] <i>E. polystachya</i> ($\frac{\mu\text{g extracto } E. \text{ polystachya}}{\text{mL}}$)
VT1	1421.1	0.95±0.21	690.58±1.61
VT1	1894.7	1.01±0.18	709.67±1.21
VT1	2842.1	1.03±0.13	695.56±2.64
VH200	5526.3	1.12±0.12	629.66±1.30
VH200	7368.4	1.32±0.21	637.40±0.63
VH200	11052.6	2.24±0.16	695.55±1.61
VH410	9473.7	2.44±0.13	610.13±1.31
VH410	12631.6	2.91±0.28	612.38±0.61
VH410	18947.4	3.22±0.05	619.65±0.60
VT1-VH200	6947.4	1.21±0.19	703.31±0.91
VT1-VH200	9263.2	1.96±0.23	630.57±0.61
VT1-VH200	13894.7	2.43±0.05	630.11±1.30
VT1-VH410	10894.7	2.65±0.14	683.30±1.20
VT1-VH410	14526.3	2.96±0.32	659.64±0.63
VT1-VH410	21789.5	3.25±0.25	686.01±0.69
VH200-VH410	15000.0	2.74±0.21	648.30±0.61
VH200-VH410	20000.0	3.01±0.31	631.48±1.91
VH200-VH410	30000.0	3.49±0.12	655.10±2.73
VT1-VH200-VH410	16421.1	2.86±0.31	708.31±0.61
VT1-VH200-VH410	21894.7	3.13±0.12	655.55±1.70
VT1-VH200-VH410	32842.1	3.73±0.27	625.09±2.28

En Tabla 6, se observa que las dosis superiores a $18947.4 \frac{J}{L}$ están en la escala de cambio total de color $\Delta E > 3$ que indica que hay una diferencia perceptible, esto es debido al tiempo de residencia de las muestras sometidas a pasteurización UV-C. Además, un aumento en ΔE podría atribuirse a la degradación de los compuestos bioactivos debido al tiempo de exposición durante el tratamiento UV-C como se informó previamente por Bhat et al., (2011). Por otra parte, la concentración del extracto *Eysenhardtia polystachya* aumentó en todos los tratamientos debido a que este es rico en flavonoides y éstos se ven beneficiados durante el tratamiento de irradiación UV-C, lo que produce un estrés como la acumulación de fitoalexinas y además no tuvo ninguna reducción de manera significativa lo cual lo hace un componente fotoresistente.

4.7. Concentración de aceite esencial menta

En la Figura 24, se muestra que las dosis de irradiación suministradas por cada uno de los fotoreactores o la combinación de éstos, no tienen efecto significativo y el flujo volumétrico tiene un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la concentración de aceite esencial de menta. La muestra control presenta una concentración de $90100 \frac{mg}{mL}$ de aceite esencial de menta (AEM).

Se puede observar que en los fotoreactores VT1 y VH200 la concentración de aceite aumenta con el flujo de 285 mL/min debido a que durante el tratamiento de pasteurización UV-C puede existir una fotodegradación del alginato (pared capsular) del sistema nanoestructurado, el cual permite la liberación del núcleo oleoso al medio. Cuando el flujo volumétrico es de 190 mL/min la concentración de aceite esencial de menta tiende a disminuir debido al tiempo de residencia y a la dosis de radiación suministrada.

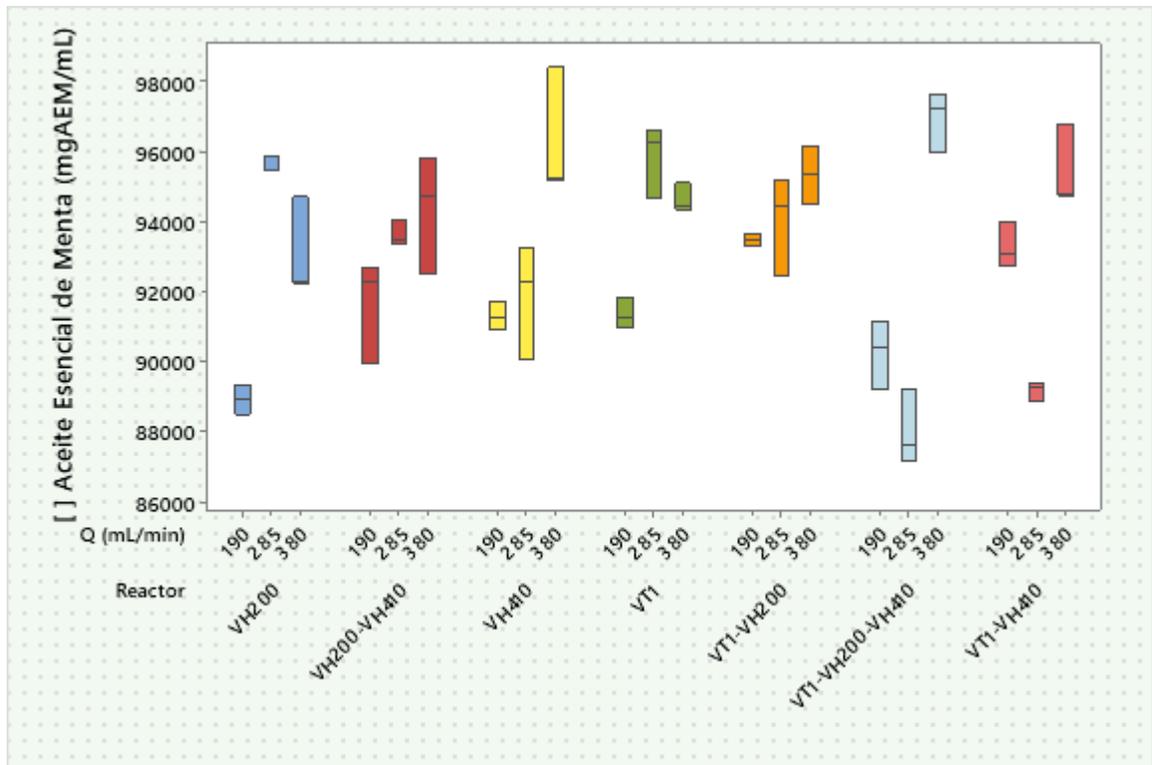


Figura 24. Concentración de aceite esencial de menta contenido en las muestras después de la pasteurización UV-C.

Este comportamiento no se ve reflejado en el fotoreactor VH410 y en la combinación de fotoreactores, ya que a partir del flujo volumétrico de 380 mL/min la concentración de aceite esencial de menta empieza a degradarse debido al tiempo de residencia y a la dosis suministrada durante el tratamiento. La concentración de aceite esencial de menta estuvo en un rango de 88000-98000 mg/mL por lo que se analiza que hubo una pérdida de 2.3 % con la combinación de fotoreactores (VT1-VH200-VH410) y un aumento de 8.8 % con el fotoreactor VH410 comparando con la muestra control, el tratamiento de irradiación UV-C no fue tan agresivo por lo que se preservó el aceite esencial de menta.

4.8. Análisis microbiológico

Mesófilos aerobios totales y levaduras y mohos fueron los microorganismos monitoreados para determinar el efecto letal de los tratamientos por erradicación

UV-C en los jugos. La Tabla 7, muestra los conteos obtenidos para el presente desarrollo experimental.

Tabla 7. Conteo de ciclos logarítmicos reducidos de los microorganismos en cada tratamiento de pasteurización UV-C en los jugos.

Fotoreactor	Dosis (J/L)	Mohos y levaduras (Ciclos logarítmicos reducidos)	Mesófilos aerobios (Ciclos logarítmicos reducidos)
VT1	1421.1	2.1±0.3	1.9±0.3
VT1	1894.7	2.2±0.3	2.0±0.3
VT1	2842.1	2.3±0.2	2.2±0.2
VH200	5526.3	2.6±0.2	2.4±0.2
VH200	7368.4	3.1±0.2	4.0±0.2
VH200	11052.6	3.5±0.2	4.3±0.2
VH410	9473.7	3.7±0.2	4.9±0.2
VH410	12631.6	4.5±0.1	5.7±0.1
VH410	18947.4	4.8±0.2	5.9±0.2
VT1-VH200	6947.4	2.7±0.2	2.5±0.2
VT1-VH200	9263.2	3.2±0.3	4.0±0.3
VT1-VH200	13894.7	3.6±0.2	4.3±0.1
VT1-VH410	10894.7	3.7±0.1	4.9±0.2
VT1-VH410	14526.3	4.5±0.2	5.7±0.1
VT1-VH410	21789.5	4.8±0.2	6.0±0.1
VH200-VH410	15000.0	3.9±0.2	5.3±0.2
VH200-VH410	20000.0	4.7±0.2	6.0±0.1
VH200-VH410	30000.0	5.6±0.1	6.0±0.1
VT1-VH200-VH410	16421.1	4.0±0.2	5.3±0.2
VT1-VH200-VH410	21894.7	4.7±0.1	6±0.1
VT1-VH200-VH410	32842.1	5.6±0.1	6±0.1

El conteo de carga de estos microorganismos fue de $4.2 \times 10^6 \pm 0.3$ y $5.4 \times 10^5 \pm 0.4$ $\frac{\text{UFC}}{\text{mL}}$ para mesófilos totales y levaduras y mohos, respectivamente. El ANOVA realizado revela que las dosis de irradiación suministradas por cada uno de los fotoreactores o la combinación de estos tienen efecto significativo sobre las UFC log₁₀ de las muestras analizadas, las dosis superiores a $18947.4 \frac{\text{J}}{\text{L}}$ inhibían en su totalidad los mohos y levaduras, mientras que dosis aplicadas superiores a $30000.0 \frac{\text{J}}{\text{L}}$ inhiben en su totalidad a los mesófilos aerobios.

Estudios realizados por Fundo et al., (2019) de irradiación UV-C como alternativa a la pasteurización convencional del jugo de melón (tiempo de exposición de entre 5 y 20 minutos) permitieron lograr una reducción de 3.7 ciclos logarítmicos para *L. innocua* y 4.7 para esporas de *A. acidoterrestris* con respecto a la inactivación de la microflora intrínseca del jugo evaluada en términos de mesófilos totales y levaduras y mohos, ya que estos son una mezcla de microorganismos que pueden tener diferente resistencia a la radiación UV-C. Esto es consistente con el presente estudio experimental.

CONCLUSIONES

Se establecieron los tiempos de residencia para cada fotoreactor (VT1, VH200, VH410) los cuales fueron utilizados para el cálculo de las dosis aplicadas y que reflejarían el efecto sobre los componentes de importancia biológica. Se analizó que las dosis de irradiación suministradas a las muestras durante el tratamiento de pasteurización UV-C no presentaron un efecto significativo en los parámetros físicos (pH, °Brix y turbidez).

Se estableció que las dosis de irradiación suministradas a las muestras durante el tratamiento presentaron un efecto significativo sobre los componentes de importancia biológica (fenoles totales, flavonoides, extracto de *Eysenhardtia polystachya* y nanopartículas de aceite esencial de menta). Resaltando el aumento de la concentración de los flavonoides después del tratamiento de pasteurización UV-C.

Se determinó que las dosis de irradiación suministradas a las muestras durante el tratamiento de pasteurización UV-C tuvieron un efecto significativo sobre la actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) ya que se observó un aumento en este parámetro en comparación con la muestra control, sin someterla al tratamiento de pasteurización UV-C, esto se debe a la presencia del extracto de *Eysenhardtia polystachya* y a las nanopartículas de aceite esencial de menta por tener propiedades antioxidantes, resaltando, que el extracto *Eysenhardtia polystachya* es rico en flavonoides y éstos se ven beneficiados durante el tratamiento de pasteurización UV-C ya que se estimula la formación de radicales que generan un estrés como la acumulación de fitoalexinas.

En cuanto al análisis microbiológico, no hubo presencia de mesófilos aerobios y mohos y levaduras a dosis de 30000 y 32842 J/L destacando el efecto letal que tiene el tratamiento de pasteurización UV-C, se conservaron los compuestos bioactivos (flavonoides) en el jugo clarificado de mandarina con extracto de *Eysenhardtia*

polystachya y nanopartículas de aceite esencial de menta por lo que resultó una buena alternativa para eliminar a los microorganismos y por otro lado conservar los compuestos bioactivos de interés para así proporcionar un jugo con las características de un producto fresco, inocuo y con la posibilidad de tener un valor agregado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adminarod. (2021). ¿La Luz Ultravioleta tipo C (UV-C) puede eliminar el Coronavirus? *Arod*. <https://arod.com.mx/2021/05/06/la-luz-ultravioleta-tipo-c-uv-c-puede-eliminar-el-coronavirus/>
- Ağcam, E., Akyildiz, A., & Dündar, B. (2018). Thermal Pasteurization and Microbial Inactivation of Fruit Juices. In *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00017-5>
- Ahmed, A. F., Attia, F. A. K., Liu, Z., Li, C., Wei, J., & Kang, W. (2019). Food Science and Human Wellness Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L .) plants. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.07.004>
- Almeida, E. T. da C., de Souza, G. T., de Sousa Guedes, J. P., Barbosa, I. M., de Sousa, C. P., Castellano, L. R. C., Magnani, M., & de Souza, E. L. (2019). Mentha piperita L. essential oil inactivates spoilage yeasts in fruit juices through the perturbation of different physiological functions in yeast cells. *Food Microbiology*, 82(January), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.023>
- Alonso-Castro, A. J., Villarreal, M. L., Salazar-Olivo, L. A., Gomez-Sanchez, M., Dominguez, F., & Garcia-Carranca, A. (2011). Mexican medicinal plants used for cancer treatment: Pharmacological, phytochemical and ethnobotanical studies. *Journal of Ethnopharmacology*, 133(3), 945–972. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.11.055>
- Allothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 512–516. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.03.004>
- Anandharamakrishnan, C., & Parthasarathi, S. (2019). (Eds.) *Food nanotechnology: principles and applications*. CRC Press.

- Ancillo, G., & Medina, A. (2015). *Los cítricos (monografías botánicas)*.
http://jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion_2_84_LOS_CITRICOS-ESP.pdf
- Argueta, V.A., Cano, A.L.M., Rodarte, M.E. (1994). *Atlas de las Plantas de la Medicina*. Tomo II. Instituto Nacional Indigenista, México, pp.1102-1103.
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, 494, 161–172.
<https://doi.org/10.4067/s0718-04622006000200010>
- Awuchi, C. G., Morya, S., Dendegh, T. A., Okpala, C. O. R., & Korzeniowska, M. (2022). Nanoencapsulation of food bioactive constituents and its associated processes: A revisit. *Bioresource Technology Reports*, 19(May).
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101088>
- Barraza Jáuregui, G., Soriano Colchado, J. L., & Obregón Domínguez, J. (2015). *contenido de antocianinas , actividad antioxidante y recuento de mohos y levaduras en jugo de granada tratado con UV-C Physicochemical characteristics , anthocyanins content , antioxidant activity and yeast and mold counts on pomegranate juice treated wit.* 26, 145–154.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bhavaniramya, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., Vijayakumar, R., & Baskaran, D. (2019). Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain & Oil Science and Technology*, 2(2), 49–55.
<https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.03.001>
- Bolton, J. R. & Cotton, C. (2001). *Ultraviolet Applications Handbook*. Segunda edición. American Water Works Association, EE. UU. 168 p.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–

30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brazel, C.S. (1999). Microencapsulation: offering solutions for the food industry. *Cereal Foods World*, 44, 388-393.
- Calvo, M. S., & Lamberg-Allardt, C. J. (2015). Phosphorus. *Advances in Nutrition*, 6(6), 860–862. <https://doi.org/10.3945/an.115.008516>
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. A., & Lyng, J. G. (2012). The Effect of Ultraviolet Light on Microbial Inactivation and Quality Attributes of Apple Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 680–686. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0365-x>
- Cammarata, G. E. (2010). Conservación de alimentos por irradiación. *Universidad de Belgrano*, 1–52.
- Castillo, Y. M., Hernández, M. S., & Lares, M. (2017). Componentes bioactivos del Asai. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 36(3), 58–66. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55950806002>
- Cevallos, V., & Londoño, L. (2018). *ACEITES ESENCIALES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS* Valeria Ceballos Toro , Lina M. Londoño Giraldo. 1–13. [file:///H:/3659-Texto del artículo-6039-1-10-20181029.pdf](file:///H:/3659-Texto%20del%20articulo-6039-1-10-20181029.pdf)
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Christen, L., Lai, C. T., Hartmann, B., Hartmann, P. E., & Geddes, D. T. (2013). Ultraviolet-C Irradiation: A Novel Pasteurization Method for Donor Human Milk. *PLoS ONE*, 8(6), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068120>
- Coronado H., M., Vega Y León, S., Gutiérrez T., R., Marcela, V. F., & Radilla V., C. (2015). Antioxidants: Present perspective for the human health. *Revista Chilena de Nutricion*, 42(2), 206–212. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>

- Das, D. R., Sachan, A. K., Shuaib, M., & Imtiyaz, M. (2014). Chemical characterization of volatile oil components of *Citrus reticulata* by GC-MS analysis. *Nitric Oxide*, 1(1), 243.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R., & Kumar, A. (2015). Nanotechnology in agro-food: From field to plate. *Food Research International*, 69, 381–400. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.005>
- de Pablos, V. (2021, 13 septiembre). *Importancia del agua en la industria alimentaria. Usos y calidades - TRAZA. TRAZA.* <https://www.traza.net/2021/09/09/importancia-del-agua-en-la-industria-alimentaria/>
- de Sousa Barros, A., de Moraes, S. M., Ferreira, P. A. T., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A., dos Santos Fontenelle, R. O., de Menezes, J. E. S. A., da Silva, F. W. F., & de Sousa, H. A. (2015). Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, 76, 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.004>
- de Sousa Guedes, J. P., da Costa Medeiros, J. A., de Souza e Silva, R. S., de Sousa, J. M. B., da Conceição, M. L., & de Souza, E. L. (2016). The efficacy of *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in reducing pathogenic bacteria and maintaining quality characteristics in cashew, guava, mango, and pineapple juices. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.005>
- Dodero, A., Pianella, L., Vicini, S., Alloisio, M., Ottonelli, M., & Castellano, M. (2019). Alginate-based hydrogels prepared via ionic gelation: An experimental design approach to predict the crosslinking degree. *European Polymer Journal*, 118(June), 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.06.028>
- Domínguez, E., & Ordoñez, E. (2014). EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, VITAMINA C DE ZUMOS CÍTRICOS DE LIMA DULCE (*Citrus limetta*), LIMÓN TAHITÍ (*Citrus latifolia*), LIMÓN RUGOSO (*Citrus jambhiri* Lush) Y MANDARINA CLEOPATRA (*Citrus reshni*) ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN. *Investigación y Amazonía*, 3(1), 30–35.

<https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/78/63>

- Domínguez, L. (2009). Luz Ultravioleta en Alimentos. *Alimentos Argentinos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Gobierno Argentino*, 1(1), 71–73.
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Fuchs, F. M., Bibinov, N., Blanco, E. V, Pfaender, S., Thei, S., Wolter, H., & Awakowicz, P. (2022). *Characterization of a robot-assisted UV-C disinfection for the inactivation of surface-associated microorganisms and viruses*. 11(February). <https://doi.org/10.1016/j.jpap.2022.100123>
- Fundo, J. F., Miller, F. A., Mandro, G. F., Tremarin, A., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2019). UV-C light processing of Cantaloupe melon juice: Evaluation of the impact on microbiological, and some quality characteristics, during refrigerated storage. *LWT*, 103, 247-252.
- González-Reza, R. M. (2012). Optimización energética y cinética del proceso de pasteurización de un fluido modelo en un intercambiador de superficie raspada. Tesis para obtener el título en Ingeniero en alimentos. UNAM
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15(7–8), 330–347. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>
- Govindan, R., Chackaravarthi, G., Ramachandran, G., Chelliah, C. K., Muthuchamy, M., Quero, F., Mothana, R. A., Noman, O. M., Siddiqui, N. A., & Li, W. J. (2022). Effective removal of biofilm formation in *Acinetobacter baumannii* using chitosan nanoparticles loaded plant essential oils. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101845. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101845>

- Grosso, G., Bei, R., Mistretta, A., Marventano, S., Calabrese, G., Masuelli, L., Giganti, G., Modesti, A., Galvano, F., & Gazzolo, D. (2013). *Table of contents 1. 2*, 1017–1029.
- Guerrero-Beltran, J. A., & Ochoa-Velasco, C. E. (2020). Ultraviolet-C Light Technology and Systems for Preservation of Fruit Juices and Beverages. *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review*, 2, 210–226. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22937-5>
- Gutierrez, R. M., & Baez, E. (2014). Evaluation of antidiabetic, antioxidant and antiglycating activities of the *Eysenhardtia polystachya*. *Pharmacognosy Magazine*, 10(38), 404. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.133295>
- Gutiérrez Zavala, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., & Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1), 0–0. <https://doi.org/10.1590/s0864-34662007000100008>
- Hao, K., Xu, B., Zhang, G., Lv, F., Wang, Y., Ma, M., & Si, H. (2021). *Antibacterial Activity and Mechanism of Litsea cubeba L . Essential Oil Against Acinetobacter baumannii*. <https://doi.org/10.1177/1934578X21999146>
- He, Q., Zhang, L., Yang, Z., Ding, T., & Ye, X. (2022). Antibacterial mechanisms of thyme essential oil nanoemulsions against *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus*: Alterations in membrane compositions and characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 75(June 2021), 102902. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102902>
- Holdsworth, D. (2001). Continuous Thermal Processing of Foods - Pasteurization and UHT Sterilization. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 36, Issue 6). <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.0512a.x>
- Infiltró. (s. f.). *Desinfección de Virus y Covid-19 por luz ultravioleta*. <http://www.infiltró.es/index.php/infiltró-filtros-de-aire->

[productos/desinfeccion-de-virus-bacterias-y-hongos-mediante-luz-ultravioleta](#)

- Jordan, W. K., Holland, R. F., & White, J. C. (1949). The Determination of the Holding Time in High-Temperature, Short-Time Pasteurizing Units. *Journal of Milk and Food Technology*, 12(2), 87–92. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-12.2.87>
- Kathirvelan, C., Premchandar, D., Purushothaman, M. R., Vasanthakumar, P., & Chandrasekaran, D. (2015). International Journal of Agriculture and Biosciences. *Mortality*, 4(2), 64–68.
- Keklik, N. M., Krishnamurthy, K., & Demirci, A. (2012). Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. In *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095756.2.344>
- Kijpatanasilp, I., Narumonlittikrai, P., Sheikh, K. A., Jafari, S., Worobo, R. W., & Assatarakul, K. (2023). Microbial inhibition and shelf-life extension of longan (*Dimocarpus longan*) juice by UV radiation. *Food Control*, 149(December 2022), 109694. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109694>
- Kim, J., Kim, H., Beuchat, L. R., & Ryu, J. H. (2021). Synergistic antimicrobial activities of plant essential oils against *Listeria monocytogenes* in organic tomato juice. *Food Control*, 125, 108000. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108000>
- Koutchma, T. (2014). UV Disinfection of Air, Water, and Surfaces. *Food Plant Safety*, 15–30. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416620-2.00003-5>
- Koutchma, T. (2023). Evolvement of Ultraviolet Light (UV) Technology for Microbial and Viral Control in Food Applications. In *Reference Module in Food Science* (Second Edi). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822521-9.00085-x>
- Kuhnau, J. (1976). Flavonoids. A class of semi-essential food components: Their role in human nutrition. *World review of nutrition and dietetics*.

- Kumar, B., & Smita, K. (2017). Scope of Nanotechnology in Nutraceuticals. *Nanotechnology Applications in Food: Flavor, Stability, Nutrition and Safety*, 43–63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00003-0>
- Lawrence, B. M. (2006). *Mint: The genus Mentha* (1st. ed.). Boca Raton, LF: CRC Press
- Lin, H. J., Lin, Y. L., Huang, B. Bin, Lin, Y. T., Li, H. K., Lu, W. J., Lin, T. C., Tsui, Y. C., & Lin, H. T. V. (2022). Solid- and vapour-phase antifungal activities of six essential oils and their applications in postharvest fungal control of peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Lwt*, 156, 113031. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113031>
- López-Díaz, a. S., Palou, E., & López-Malo, a. (2012). Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2, 79–93.
- Ly, J., Huang, H., Yu, L., Whent, M., Niu, Y., Shi, H., Wang, T. T. Y., Luthria, D., Charles, D., & Yu, L. L. (2012). Phenolic composition and nutraceutical properties of organic and conventional cinnamon and peppermint. *Food Chemistry*, 132(3), 1442–1450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.135>
- Mabry, T., Markhan, K., Thomas, M. (1970). The systematic identification of Flavonoids. Springer-Verlag. New York. Heidelberg. Berlin. pp: 16-147.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Mandarina* – *SicarFarms*. (s. f.). <https://sicarfarms.com/es/productos/citricos/mandarina/>
- Manthey, J. A., & Grohmann, K. (2001). Phenols in citrus peel byproducts. Concentrations of hydroxycinnamates and polymethoxylated flavones in citrus peel molasses. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(7), 3268-3273.

- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, *17*(6), 271–278.
- Martinez de Victoria, E. (2016). Calcium, essential for health. *Nutrición Hospitalaria*, *33*(4), 26–31.
- McNeil, S. E. (2005). Nanotechnology for the biologist. *Journal of Leukocyte Biology*, *78*(3), 585–594. <https://doi.org/10.1189/jlb.0205074>
- Mendonca, A. (2002). Inactivation by irradiation. Control of Foodborne Microorganisms. New York. CRC Press.
- Mikić, A. (2018). Lupinus L. In *Lexicon of Pulse Crops*. <https://doi.org/10.1201/b22282-12>
- Milani, G. P., Macchi, M., & Guz-Mark, A. (2021). Vitamin c in the treatment of covid-19. *Nutrients*, *13*(4), 1–10. <https://doi.org/10.3390/nu13041172>
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). Ultraviolet light: microbial inactivation on fruits. *Saber*, *27*(3), 454–469. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://ve.scielo.org/sciel o.php?script=sci_abstract&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Miller, D. M., & Gulbis, J. M. (2014). Potassium. *RSC Metallobiology*, *2014-Janua*(2), 43–82. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821848-8.00165-7>
- Miranda-Linares, V., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., & Zambrano-Zaragoza, M. L. (2020). Spray-drying method for the encapsulation of a functionalized ingredient in alginate-pectin nano- and microparticles loaded with distinct natural actives: Stability and antioxidant effect. *Food Hydrocolloids*, *101*(August 2019), 105560. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105560>
- Molina, G. A., González-Fuentes, F., Loske, A. M., Fernández, F., & Estevez, M. (2020). Shock wave-assisted extraction of phenolic acids and flavonoids from

- Eysenhardtia polystachya heartwood: A novel method and its comparison with conventional methodologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61(September 2019), 104809. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104809>
- Nallamuthu, I., Khanum, F., Fathima, S. J., Patil, M. M., & Anand, T. (2017). Enhanced nutrient delivery through nanoencapsulation techniques: the current trend in food industry. *Nutrient Delivery*, 619–651. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804304-2.00016-0>
- Narváez-Mastache, J. M., Garduño-Ramírez, M. L., Alvarez, L., & Delgado, G. (2006). Antihyperglycemic activity and chemical constituents of Eysenhardtia platycarpa. *Journal of Natural Products*, 69(12), 1687–1691. <https://doi.org/10.1021/np060166z>
- National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF). (2006). Requisite Scientific Parameters for Establishing the Equivalence of Alternative Methods of Pasteurization. *Journal of Food Protection*, 69(5): 1190-1216.
- National Institutes of Health. Office of Dietary Supplements. (2022). *Datos sobre el manesio*. <http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx>.
- NIH. (2019). *Datos sobre el folato*. 3 pág. <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Copper-DatosEnEspanol.pdf>
- Nile, S. H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., & Kai, G. (2020). Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. In *Nano-Micro Letters* (Vol. 12, Issue 1). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-0383-9>
- Noci, F., Riener, J., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2008). *Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple Juice*. 85, 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.011>

- Norma Oficial Mexicana NOM-173-SCFI-2009. Jugos de frutas preenvasados-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5107330#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20establece,informaci%C3%B3n%20comercial%20que%20deben%20cumplir.
- N y F de Colombia. (s. f.). *Desinfección por Luz Ultravioleta - NyF de Colombia*. NyF de Colombia. <https://www.synertech.com.co/uv/industria-de-alimentos>
- Pablo-Pérez, S. S., Estévez-Carmona, M. M., Meléndez-Camargo, M. E. (2016). Diuretic activity of the bark of *Eysenhardtia polystachya*. *Bangladesh Journal of Pharmacology*. 11(1), 212-217.
- Pala, çiğdem U., & Toklucu, A. K. (2013). Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 426-431. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.001>
- Pala, Ç. U., & Toklucu, A. K. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 790-795. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.003>
- Pandey, A. K., Mohan, M., Singh, P., Palni, U. T., & Tripathi, N. N. (2014). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of essential oil of *Eupatorium adenophorum* Spreng. from Eastern Uttar Pradesh, India. *Food Bioscience*, 7, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.06.001>
- Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products. *Molecules*, 26(6). <https://doi.org/10.3390/molecules26061547>
- Pátkai, G. (2012). Fruit and Fruit Products as Ingredients. In *Handbook of Fruits and Fruit Processing: Second Edition*.

<https://doi.org/10.1002/9781118352533.ch16>

- Pelayo, M. (2009). Alternativas a los tratamientos térmicos para garantizar la seguridad de los alimentos. *Ingeniería de Alimentos*. 16-17.
- Pinheiro Torres, A., & Oliveira, F. A. R. (1998). Residence time distribution studies in continuous thermal processing of liquid foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 36(1-4), 1-30.
- Rajan, A., & Radhakrishnan, M. (2023). Green Technologies for Sustainable Food Production and Preservation: An Overview of Ohmic Heating, Infrared Heating and UV Light Technology. In *Reference Module in Food Science* (Vol. 4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823960-5.00066-4>
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Noci, F., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44(7), 1875–1887. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rivera, J., Crandall, P. G., Bryan, C. A. O., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems e A review. *Food Control*, 54, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
- Rodiles, J. O., & Zamora, R., (Consultado el 8 de enero de 2023). Tecnologías emergentes en la conservación de los alimentos. Tecno Agro. <https://tecnoagro.com.mx/no.-146/tecnologias-emergentes-en-la-conservacion-de-los-alimentos>
- Rupasinghe, H.P.V., & Yu, L.J., (2012). In: El-Samragy, Y. (Ed.), Emerging Preservation Methods for Fruit Juices and Beverages. *Food Additive*, InTech, pp. 65–82.

- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores, (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., & Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Food and Bioprocess Processing*, 94(August 2013), 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.03.011>
- Shama, G. (2014). Ultraviolet Light. In *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition* (Second Edi, Vol. 3). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00341-4>
- Simón. (2018, 2 junio). *Eysenhardtia polystachya* - Taray - Plantas medicinales. Plantas medicinales. <https://www.plantas-medicinales.org/eysenhardtia-polystachya-taray/>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- Sizer, C. E., & Balasubramanian, V. M., (1999). New intervention processes for minimally processed juicy. *Food Technology*. 53 (10): 64-67.
- Smolkova, B., El Yamani, N., Collins, A. R., Gutleb, A. C., & Dusinska, M. (2015). Nanoparticles in food: Epigenetic changes induced by nanomaterials and possible impact on health. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.12.015>
- Starliper, C. E., Ketola, H. G., Noyes, A. D., Schill, W. B., Henson, F. G., Chalupnicki, M. A., & Dittman, D. E. (2015). An investigation of the bactericidal activity of selected essential oils to *Aeromonas* spp. *Journal of Advanced Research*, 6(1), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.12.007>

- sterilAir AG. (s.f). *La mayor capacidad para la desinfección UVC. - sterilAir AG, Schweiz.* <https://www.sterilair.com/es/>
- Súarez de Ronderos, M. del P. (2009). Ácido Fólico: nutriente redescubierto. *Acta Médica Costarricense*, 45(1). <https://doi.org/10.51481/amc.v45i1.83>
- T. Burns, D., G. Dalgarno, B., E. Gargan, P., & Grimshaw, J. (1984). An isoflavone and a coumestan from eysenhardtia polystachya-Robert Boyle's fluorescent acid-base indicator. *Phytochemistry*, 23(1), 167–169. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(84\)83100-3](https://doi.org/10.1016/0031-9422(84)83100-3)
- Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(4), 495–502. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.08.002>
- Tsai, M. L., Wu, C. T., Lin, T. F., Lin, W. C., Huang, Y. C., & Yang, C. H. (2013). Chemical composition and biological properties of essential oils of two mint species. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12(4), 577–582. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v12i4.20>
- Valero Gaspar, T., Rodríguez Alonso, P., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. M., Valera Moreiras, G., & Molinero Hernando, R. (2018). La alimentación, características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta. In *Fundación Española de la Nutrición*. <http://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>
- Verma, R. S., Pandey, V., Padalia, R. C., Saikia, D., & Krishna, B. (2011). Chemical composition and antimicrobial potential of aqueous distillate volatiles of Indian peppermint (*Mentha piperita*) and spearmint (*Mentha spicata*). *Journal of herbs, spices & medicinal plants*, 17(3), 258-267.
- Vicini, S., Castellano, M., Mauri, M., & Marsano, E. (2015). Gelling process for sodium alginate: New technical approach by using calcium rich micro-spheres. *Carbohydrate Polymers*, 134, 767–774. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.064>

Viqua - Pure Aqua, Inc. (s. f.). <https://es.pureaqua.com/brands/Viqua.html>

Wang, S., Lin, T., Man, G., Li, H., Zhao, L., Wu, J., & Liao, X. (2014). Effects of Anti-browning Combinations of Ascorbic Acid, Citric Acid, Nitrogen and Carbon Dioxide on the Quality of Banana Smoothies. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1107-7>

Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), 107–116. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x>

Wu, K., Jin, R., Bao, X., Yu, G., & Yi, F. (2021). Food Bioscience Potential roles of essential oils from the flower , fruit and leaf of Citrus medica L . var . sarcodactylis in preventing spoilage of Chinese steamed bread. *Food Bioscience*, 43(100), 101271. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101271>

Xu, F., Cao, S., Shi, L., Chen, W., Su, X., & Yang, Z. (2014). Blue light irradiation affects anthocyanin content and enzyme activities involved in postharvest strawberry fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(20), 4778-4783.

Zhao, H., Ren, S., Yang, H., Tang, S., Guo, C., Liu, M., Tao, Q., Ming, T., & Xu, H. (2022). Peppermint essential oil: its phytochemistry, biological activity, pharmacological effect and application. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 154, 113559. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113559>