



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

“EFECTO DEL TRATAMIENTO CON LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS CON CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE JUGOS Y NÉCTARES DE FRUTA”

Revisión Bibliográfica

TESINA PARA OBTENER EL TITULO DE: ESPECIALISTA
EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

PRESENTA:

I.P.A. Mauricio Montes Silvestre

DIRECTOR:

D.C. Carlos Enrique Ochoa Velasco

CO-DIRECTOR:

D. C. José Ángel Guerrero Beltrán

SEPTIEMBRE, 2018



BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE ALIMENTOS

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director de la Facultad de Ciencias Químicas
PRESENTE:

Con toda atención comunico que el alumno de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos:

I.P.A. Mauricio Montes Silvestre
(217670791)

Toda vez que cuenta con la aprobación de los maestros:

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco
Dr. José Ángel Guerrero Beltrán

Se autoriza su proyecto de **Tesina** denominado:

"Efecto del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante en los jugos y néctares de frutas.

Revisión bibliográfica"

Con esta fecha queda registrada en la Dirección de esta Facultad para los fines legales que al interesado convengan.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a 20 de junio de 2018

D.C. Ivonne Pérez Xochipa
Coord. de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos

Facultad de
Ciencias
Químicas

Av. San Claudio y 18 Sur, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72570
Edif. 105E, Cubículo 202E, Ciudad Universitaria
01 (222) 229 55 00 Ext. 2829 y 7390



BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE ALIMENTOS

D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez 

D.C. Paola Hernández Carranza 

D.C. Teresa Soledad Cid Pérez 

Docentes de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos.

PRESENTE:

Con toda atención comunico a Uds. que el comité académico de la especialidad, consideró proponerlos como integrantes de la Comisión Revisora de la alumna:

I.P.A. Mauricio Montes Silvestre

Cuyo proyecto de **TESINA** se denomina:

“Efecto del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante en los jugos y néctares de frutas.

Revisión bibliográfica”

Solicitándoles que en el término de una semana emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., a 28 de junio de 2018



D.C. Ivonne Pérez Xochipa

Coord. de la Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos





BUAP

ESPECIALIDAD EN TECNOLOGÍA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director de la Fac. de Cs. Químicas
PRESENTE:

Los que suscriben, integrantes de la comisión revisora de la **Tesina** del alumno del posgrado
Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos:

I.P.A. Mauricio Montes Silvestre

Realizado en el departamento de Bioquímica y Alimentos, comunican a usted la aprobación
de la misma con la siguiente redacción:

**"Efecto del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos
bioactivos con capacidad antioxidante en los jugos y néctares de frutas.
Revisión bibliográfica."**

Con esta fecha queda registrada en la Dirección de esta Facultad para los fines legales que
al interesado convengan.

D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez

D.C. Paola Hernández Carranza

D.C. Teresa Soledad Cid Pérez

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 21 de agosto de 2018



BUAP

MTRA. MARÍA ELENA RUIZ VELASCO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE

Por este medio me permito saludarle y a su vez comunicarle los nombres de los integrantes del **H. Jurado de Examen de Grado** que sustentará el **I.P.A. MAURICIO MONTES SILVESTRE**, pasante de la **Especialidad en Tecnología e Inocuidad de los Alimentos**. El cual se realizará el día 14 de Septiembre de 2018 a las 13:00 horas en el Salón de Alimentos del Edificio (FCQ5) de la Facultad de Ciencias Químicas.

JURADO

D.C. RAÚL ÁVILA SOSA SÁNCHEZ
D.C. PAOLA HERNÁNDEZ CARRANZA
D.C. TERESA SOLEDAD CID PEREZ

Se extiende la presente para los fines que haya lugar.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. PUEBLA DE Z., A 28 DE AGOSTO DE 2018


DR. JORGE RAÚL CERNA CORTEZ
DIRECTOR



INDICE

INDICE	VI
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
AGRADECIMIENTOS	X
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCION	2
III. ANTECEDENTES	4
3.1 Definición de jugo	4
3.2 Generalidades de los jugos de frutas	4
3.3 Compuestos bioactivos en jugos de frutas	4
3.3.1 Compuestos fenólicos	5
3.3.2 Vitaminas	7
3.3.3 Carotenoides.	9
3.3.4 Capacidad antioxidante.	10
3.4 Tecnologías emergentes	11
3.4.1 Tratamientos con luz ultravioleta de onda corta	11
3.4.2 Fundamento de su aplicación	12
3.4.3 Factores que influyen en su eficacia	12
IV. JUSTIFICACIÓN	14
V. OBJETIVOS	15
5.1 Objetivo general	15
5.2 Objetivos específicos	15
VI. METODOLOGÍA	16
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
7.1 Efecto del tratamiento de luz UV-C sobre vitaminas de los jugos y néctares de frutas	18
7.1.1 Ácido ascorbico y Vitamina C	18
7.2 Efecto del tratamiento de luz UV-C sobre los compuestos fenólicos de los jugos y néctares de fruta	22
7.2.1 Ácidos fenólicos	22
	VI

7.2.2 Flavonoides	26
7.3 Efecto del tratamiento con luz ultravioleta (UV-C) sobre la capacidad antioxidante de los jugos y néctares de fruta	30
7.4 Ventajas y desventajas del uso del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los jugos y néctares de fruta	34
VIII. CONCLUSIONES	36
IX. BIBLIOGRAFIA	37

INDICE DE TABLAS

Número	Título	Página
Tabla 1.	Contenido de fitoquímicos fenólicos en algunos alimentos (mg/1000 g).	7
Tabla 2.	Efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre la vitamina C y ácido ascórbico en los jugos y néctares de fruta.	21
Tabla 3.	Efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre los ácidos fenólicos en jugos y néctares de fruta.	25
Tabla 4.	Efectos de la luz ultravioleta (UV-C) sobre los flavonoides en los jugos y néctares de fruta.	29
Tabla 5.	Efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre la capacidad antioxidante de los jugos de fruta.	33

INDICE DE FIGURAS

Número	Título	Página
Figura 1.	Espectro electromagnético.	12
Figura 2.	Diagrama de bloques de la metodología.	17

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quisiera agradecer a Dios, creador de todo lo que existe, a Él por permitirme culminar esta Especialidad, un anhelo que tenía desde años atrás.

También agradecer a mis señores padres: Pedro Montes Pérez y Maximina Silvestre Martínez por su ayuda en todos los aspectos, por apoyarme en mi formación profesional; todo lo que soy, es gracias a ellos.

Quiero agradecer a mi prometida Janet Cruz Martínez por todo su apoyo moral, espiritual, afectivo y económico, a mis hermanos de sangre: Román Montes, Julia Montes, Melesio Montes, Lucila Montes, Elizabeth Montes, Edgar Montes y Gerardo Montes por su apoyo brindado, que, aunque estén lejos sé que cuento con ellos. A mis hermanos en la fe, a mis verdaderos amigos y compañeros que he conocido a lo largo de estos 26 años de vida.

Por último, sin olvidarlo, a los Profesores de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por su apoyo y su servicio a la Educación Profesional, detonadores del conocimiento científico.

A todos ustedes gracias.

I. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre los efectos que tiene el tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos (vitamina C, ácidos fenólicos, flavonoides) y su capacidad antioxidante en los jugos y néctares de fruta. En general, los ácidos fenólicos, flavonoides no se ven afectados por el uso de esta tecnología emergente, incluso se corroboró que en algunos casos este tratamiento puede estimular un aumento de la producción de estos fitoquímicos. En contraste, en algunos estudios revisados la vitamina C se mostró afectada al aplicar esta tecnología, y esto a su vez impacta sobre la capacidad antioxidante de los jugos y néctares, que también se ve disminuida por la aplicación de este tratamiento; sin embargo, es menor en comparación con la que se obtiene utilizando tratamientos térmicos convencionales. La luz ultravioleta de onda corta (UV-C) es una tecnología prometedora para el procesamiento de jugos y néctares de fruta.

II. INTRODUCCION

Los consumidores actuales buscan bebidas con mayor contenido de nutrientes, que sean saludables, inocuas y agradables al consumidor. Al respecto, se ha observado un reciente aumento de la demanda de alimentos funcionales, por lo cual estos productos se han vuelto objeto de interés científico y tecnológico, principalmente por contener compuestos biológicamente activos. Usualmente, los jugos y/o bebidas derivadas de frutas se procesan con calor para prolongar la vida útil; no obstante, estos tratamientos muchas veces modifican las características sensoriales (textura, sabor y color) y nutricionales (pérdida de vitaminas, compuestos fenólicos y pigmentos principalmente) de los alimentos.

Debido a estos efectos adversos de los tratamientos a altas temperaturas, se han desarrollado procesos no térmicos de conservación de alimentos también denominados tecnologías emergentes. Estos tratamientos buscan reducir el uso del calor para alargar la vida en anaquel de los alimentos, así como reducir costos de procesos y ofrecer al consumidor alimentos estables, con una calidad nutrimental y sensorial similar al producto fresco. Una de las tecnologías emergentes que está cobrando mucho interés la luz ultravioleta de onda corta (luz UV-C) la cual se puede aplicar a una amplia gama de alimentos, tales como: cárnicos, lácteos, frutas (jugos y néctares), verduras enteras o mínimamente procesadas y productos obtenidos derivados de ellas, así como en la desinfección de agua y superficies.

La aplicación de radiación UV-C (254 nm) se considera una tecnología prometedora para la pasteurización de jugos debido a su capacidad para inactivar una amplia gama de microorganismos con mínimas pérdidas nutricionales y sensoriales, por otra parte, el contenido de antioxidantes es considerado un parámetro importante de calidad en frutas, hortalizas y sus derivados, siendo de gran interés evaluar los cambios en el estado de éstos después de aplicar nuevas tecnologías.

En este sentido, la aplicación de la luz UV-C sobre compuestos bioactivos con capacidad antioxidante presentes en jugos de frutas debería de minimizar los daños que se obtienen con un tratamiento térmico tradicional. Hasta el momento no existe una revisión acerca del efecto del tratamiento con luz UV-C, específicamente sobre los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante de jugos y néctares de fruta. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo el revisar y recopilar la información disponible acerca del efecto de la aplicación de luz UV-C sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de jugos y néctares de frutas.

III. ANTECEDENTES

3.1 Generalidades de los jugos de frutas

Los métodos de procesamiento de concentrados, jugos, néctares y bebidas, hace posible el consumo de estos en lugares donde no se da su cultivo. Aparte, ofrece la elaboración de productos a partir de frutas estacionales, y también en momentos fuera de la cosecha. Aunado a esto, reduce las pérdidas postcosecha e incrementa la vida útil del alimento: por consiguiente, se puede transportar y comercializar los productos procesados nacional e internacionalmente. Además, los jugos son considerados como alimentos prácticos, convenientes y nutritivos, por lo que su consumo se ha incrementado en los últimos años. Estas cualidades entre muchas otras, les otorgan un importante valor agregado a estos alimentos (Roethenbaugh, 2005).

3.2 Definición de jugo

Un jugo de fruta es un líquido sin fermentar, pero con posibilidad de fermentarse obtenido de la parte comestible de frutas maduras y en buen estado. Los jugos se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, sensoriales, y nutricionales de la fruta de la que proceden. Puede ser turbios o clarificados y algunos de ellos contienen trozos de semillas y/o cáscara (Codex Alimentarius, 2005).

3.3 Compuestos bioactivos en jugos de frutas

De acuerdo con Gil (2010) un componente bioactivo o fitoquímico de un alimento es aquel que aporta un beneficio a la salud más allá de los beneficios nutricionales básicos, estos compuestos son derivados de azúcares, lípidos, y aminoácidos muchos de ellos han sido aislados y caracterizados químicamente, la actividad más conocida y estudiada de los compuestos bioactivos es su capacidad antioxidante.

Estos compuestos fitoquímicos se encuentran abundantemente en frutas y verduras, también en sus derivados procesados como los jugos, néctares, jaleas, mermeladas, puré; entre otros.

Los compuestos bioactivos presentes en frutas han atraído la atención de los consumidores y la comunidad científica teniendo en cuenta las evidencias epidemiológicas sólidas que muestran los beneficios de la ingesta de fruta en la prevención de las enfermedades humanas (Machado y Schieber, 2010). Estos efectos benéficos son atribuidos, a la presencia de compuestos tales como, vitamina C y E, carotenoides, antocianinas, betalainas y polifenoles, especialmente flavonoides; cuyo mecanismo de acción es inhibir la iniciación o impedir la propagación de las reacciones de oxidación, evitándose así el daño oxidativo (Robles-Sánchez *et al.*, 2007). Los jugos y néctares de frutas concentran gran cantidad de sustancias de actividad biológica muy importante, entre los más sobresalientes destacan: compuestos fenólicos, vitaminas y pigmentos carotenoides.

3.3.1 Compuestos fenólicos

Químicamente los compuestos fenólicos pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados funcionales. Estos compuestos forman parte de un grupo muy heterogéneo. Los tres grupos más importantes de fenoles dietéticos son: los flavonoides, ácidos fenólicos y los taninos (Palencia, 2011).

Los flavonoides son el grupo de fenólicos más grande en los alimentos vegetales; son compuestos de bajo peso molecular que generalmente existen enlazados a moléculas de glucósidos, están agrupados en antocianinas y antoxantinas. Las antocianinas son moléculas de pigmentos rojos, azules y púrpuras. Las antoxantinas, que incluyen flavonoles, flavonas, flavanoles, e isoflavonas, son moléculas incoloras o de colores que oscilan desde el blanco hasta el amarillo. Las flavonas, como la quercetina, se encuentran en la cebolla y lechuga, otra flavanona

denominada fisetina está presente en cítricos. Entre las catequinas figuran la catequina del vino rojo y la epicatequina del té (Nijveltd, 2001).

Existe una gran variedad de ácidos fenólicos distribuidos en productos de origen vegetal como son la curcumina, presente en el curry y la mostaza, y otros fenoles ácidos como el ácido cafeico, ferúlico, c lorigénico, vainillínico, gálico, siríngico que están presentes en frutas, semillas de café y soya entre otros. Los ácidos fenólicos forman un grupo diverso que incluyen los derivados del ácido hidroxibenzoico y del ácido hidroxicinámico.

Los polifenoles, comúnmente conocidos como taninos, son compuestos de alto peso molecular que se clasifican en: taninos hidrolizables y taninos condensados. Los taninos tienen acción antioxidante, pueden reducir la peroxidación de los lípidos. El consumo frecuente de frutas y vegetales frescos se asocia con una menor incidencia de cáncer en humanos y en carcinogénesis experimental. Los polifenoles se hallan preferentemente en las capas más superficiales de verduras, frutas, cereales y otras semillas, para proteger de la oxidación los tejidos de las capas inferiores. Son también anticoagulantes, antimicrobianos, inmunoestimulantes y reguladores de la presión arterial y de la glucemia (Palencia, 2011).

En general, son productos secundarios del metabolismo de las plantas y suelen ser, en parte, los responsables del color, aroma y el sabor de los alimentos que los contienen. Entre ellos, hay pigmentos que aportan los tonos rojos, azules, y violáceos propios de las frutas y verduras como: las ciruelas, fresas, uvas, berenjenas, rábanos y también el vino tinto. Asimismo, les entregan el sabor amargo y astringente a algunos cítricos (Gil, 2010).

Tabla 1. Contenido de fitoquímicos fenólicos en algunos alimentos (mg/1000 g)
(Tomado de Palencia, 2011)

CLASE Y SUBCLASE	EJEMPLOS DE FITOQUÍMICOS	ALIMENTO CON SU CONTENIDO ^b
FLAVONOIDES		
Flavonoles	Quercetina, Kaempferol, Myricetina	Olivas (270-830), Cebolla (347), Col rizada (321), Lechuga (308), Arándanos (249), Tomate cereza (17-203), Brécol (102), Manzana (21-72), Judías verdes/amarillas (49), Hojas de nabo(48), Endivias (46), Té hojas verdes (30-45 g/kg PS ^c), Jugo de manzana (6-52), Té negro infusión (20)
Flavonas	Apigenina, Luteolina	Apio celery (130), Olivas (6-29)
Flavanoles	Catequina, Epicatequina	Pera (70-420), Vino tinto (274); Té hojas verdes (128-226 g/kg PS); Vino blanco (35), Manzana (23-30)
Isoflavonas	Genisteína, Daidzeína	Granos de soja maduros secos (888-2407), Nueces de soja (1437-2363), Proteína vegetal texturizada (1175-1191), Harina de soja (1036-1778), Tofú (280-499), Miso (256-540), Granos de soja maduros frescos (182-205), Leche de soja (105-251), Tofú yogurt (151), Perro caliente de soja (116), Queso de soja (7-14), Salsa de soja (13-23)
ÁCIDOS FENOLICOS		
Hidroxicinámicos	Ácidos cafeico, clorogénico, férúlico y neoclorogénico	Blueberry (1881-2112), Cerezas dulces (290-1280), Pera (44-1270), Manzana (2-258), Naranja (21-182), Patata blanca (100-190), Pomelo (25-60), Jugo de Cerezas (124), Jugo de Manzana (9-114), Granos de café (56 g/kg PS)
Hidroxibenzoicos	Ácidos elágico y gálico	Raspberry (19-102), Fresa (21-89), Jugo de Uva negra (79), Jugo de uva verde (110)
TANINOS		
Condensados	Catequina, polímeros de epicatequina	Lentejas (3800), Frijoles de ojo negro (141-1774), Uva oscura (43-64), Uva clara (39-53), Vino tinto (2567), Vino blanco (239), Jugo de manzana (8-87)

3.3.2 Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos (contienen al menos un átomo de carbono) que cumplen funciones vitales relacionadas con el metabolismo y con la fabricación de hormonas, neurotransmisores, células sanguíneas o material genético, también poseen función enzimática acelerando reacciones químicas. En las frutas y verduras se encuentran en cantidades muy pequeñas, que van de unos

cuantos microgramos hasta 200 mg por kilogramo, básicamente se dividen en dos categorías: hidrosolubles y liposolubles.

Hidrosolubles: Las vitaminas hidrosolubles están constituidas por el complejo B, que incluye tiamina (B1), riboflavina (B2), vitamina B6, vitamina B12, biotina, folatos, niacina y ácido pantoténico, y por la vitamina C. Excepto en el caso de esta última, la función biológica de las demás es conocida: actúan como coenzimas, en general, muchas de las B se encuentran juntas en los alimentos de origen vegetal. Por ser solubles en agua, la lixiviación es un mecanismo común de pérdida para todas ellas (Badui, 2006).

La Vitamina C es un agente antioxidante necesario para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular; puede reducir la acción perjudicial de los radicales libres y coadyuva al mejoramiento de la absorción del hierro no hemínico (Grosso *et al.*, 2013). Se encuentra casi exclusivamente en vegetales y frutas frescos y como es soluble en agua apenas se acumula en el organismo por lo que es importante un aporte diario (Bastías *et al.*, 2016). Según Marsanasco *et al.* (2011) la vitamina C es muy sensible a la luz, temperatura y oxígeno degradándose fácilmente durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos.

Liposolubles: Las vitaminas de este grupo (A, D, E y K) son solubles en disolventes orgánicos y en aceites, pero insolubles en agua. Sus estructuras contienen dobles enlaces sensibles a las reacciones de oxidación (más la A y la E) mediante mecanismos semejantes a la autoxidación de ácidos grasos insaturados (Badui, 2006).

En sus diferentes formas, la vitamina A es necesaria en la visión, crecimiento, reproducción, proliferación celular, diferenciación celular e integridad del sistema inmunitario, su actividad biológica se le atribuye al trans-retinol, es un alcohol insoluble en agua, soluble en grasas y solventes orgánicos. Estable al calor y la luz, pero se destruye por oxidación, por esta razón la cocción en contacto con el aire puede disminuir el contenido de vitamina A de los alimentos.

El término vitamina E se utiliza para identificar a las moléculas que muestran actividad biológica del tocoferol alfa, y se incluye a los derivados del tocotrienol,

tienen la capacidad de atrapar radicales libres, en el cuerpo, actúa como antioxidante, al ayudar a proteger las células contra los daños causados por los radicales libres, también tiene la particularidad de ser termolábiles. Por otra parte, el organismo necesita vitamina E para estimular el sistema inmunitario a fin de que éste pueda combatir las bacterias y los virus que lo invaden (National Institutes of Health, 2007).

3.3.3 Carotenoides.

Los carotenoides son tetraterpenos naturales derivados de la unión de 8 unidades de isopreno que origina un esqueleto de 40 átomos de carbono, en general los carotenoides se clasifican en dos grandes grupos: carotenos (estrictamente hidrocarburos) y xantofilas, la principal función biológica de los carotenoides es la de servir como pigmentos accesorios en la recolección de la luz durante el proceso fotosintético, y como sustancias fotoprotectoras, inhibiendo la propagación de especies reactivas de oxígeno y otros radicales libres, por tanto impidiendo la acción nociva de éstos a nivel celular, los carotenoides están presentes en vegetales amarillos y rojos, los más conocidos son el β caroteno, α caroteno, luteína, zeaxantina y licopeno. La mejor fuente de α -caroteno es la zanahoria y la calabaza, mientras que β -caroteno está más diversificado en frutas y vegetales como la zanahoria, el pimiento rojo, la naranja, la patata, el brócoli y vegetales verdes. β -Criptoxanteno se encuentra mayoritariamente en el pimiento maduro rojo y frutas de origen tropical como la papaya, la principal fuente de licopeno es el tomate y sus productos derivados (pasta y salsas) así como la sandía y el pomelo rojo, entre las fuentes ricas en luteína destacan los vegetales verdes como las espinacas, coles de Bruselas, brócoli, y guisantes, mientras que zeaxanteno se encuentra en concentraciones altas en la yema del huevo y el maíz (Minguez *et al.*, 2006). Al igual que el escualeno, los carotenoides protegen la piel contra la radiación ultravioleta, las propiedades antioxidantes de los carotenoides han sido relacionadas en la prevención contra la peroxidación de lípidos y ácidos nucleicos, aterogénesis y cáncer (Halsted, 2003).

3.3.4 Capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante se puede considerar como la actividad biológica responsable de reducir el estrés oxidativo, este efecto se presenta en diversos estados patológicos en los cuales se altera la funcionalidad celular, contribuyendo o retroalimentando el desarrollo de enfermedades degenerativas como la aterosclerosis, cardiomiopatías, enfermedades neurológicas y cáncer.

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 acciones se dan constantemente en las células de nuestro cuerpo, proceso que debe ser controlado con una adecuada protección antioxidante (Gutiérrez *et al.*, 2007).

La protección que las frutas y vegetales brindan ante estos mecanismos dañinos, ha sido atribuida a su alto contenido de varios antioxidantes, por ejemplo: vitamina E, C y carotenos, así como de diferentes polifenoles, un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres mediante la liberación de electrones en nuestra sangre, los que son captados por los radicales libres (Gutiérrez *et al.*, 2007). Se puede decir que la capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él.

3.4 Tecnologías emergentes

Entre los retos más importantes de la industria alimentaria se encuentran la prolongación de la vida de anaquel y el procesado de alimentos, con el desarrollo de las técnicas avanzadas de producción de alimentos, posiblemente el reto ya no sea sólo la elaboración de alimentos, sino la forma de conservarlos.

Debido a los efectos negativos de los procesos térmicos sobre los alimentos, existe un fuerte interés en utilizar tecnologías alternativas, también denominadas emergentes para el procesamiento y conservación de estos productos, su eficacia sobre los alimentos se basa básicamente en eliminar o reducir la carga de microorganismos, los cuales son la principal fuente de deterioro en estos productos, estas técnicas tienen ciertas bondades, no generan residuos tóxicos y son amigables con el medio ambiente, las características anteriores podrían favorecer la percepción de los consumidores hacia estas técnicas e incentivarlos a consumir bebidas procesadas con ellas. No se debe perder de vista que los mecanismos de inactivación microbiana y desnaturalización proteica de las tecnologías emergentes son distintos de los tratamientos térmicos convencionales (Sibaja, 2015).

Los tratamientos emergentes, incluyen técnicas como: presiones hidrostáticas elevadas, pasterización y esterilización por extrusión, calentamiento no-convencional, radiaciones ionizantes, radiación ultravioleta, campos eléctricos pulsados, pulsos de luz, agua electrolizada, ozonización entre otras.

3.4.1 Tratamientos con luz ultravioleta de onda corta

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante con una longitud de onda de 200 a 400 nm; se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La máxima eficiencia para la desinfección se sitúa en el intervalo de la UVC, específicamente a 254 nm (López-Díaz *et al.*, 2012).

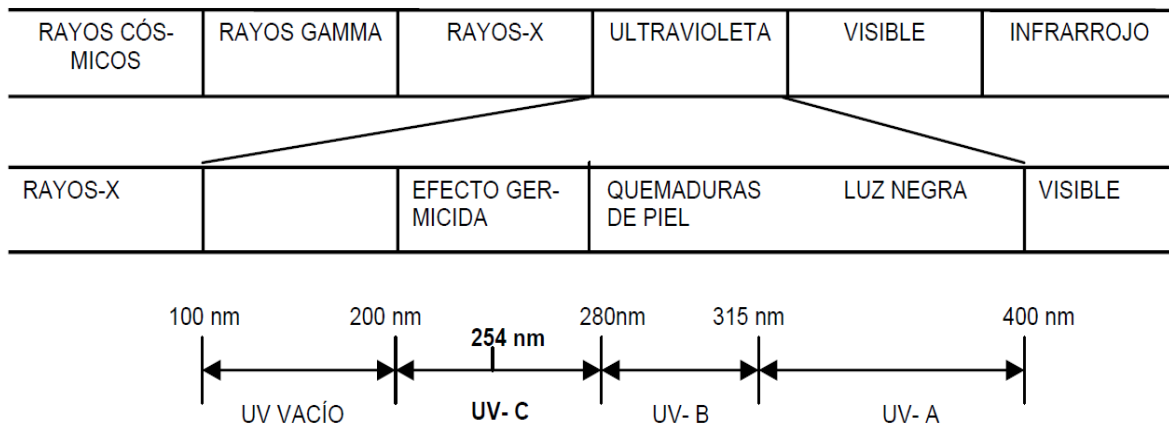


Figura 1. Espectro electromagnético
(Tomado y modificado de Snowball y Hornsey, 1988)

3.4.2 Fundamento de su aplicación

La luz ultravioleta tiene efecto antimicrobiano, esto se debe principalmente a la interacción de la radiación con el material genético de los microorganismos, cuando el ADN absorbe la luz UV-C se generan cambios en su estructura, por ejemplo, se forman enlaces cruzados entre nucleótidos de tiamina y cisteína. Estas alteraciones 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, como se mencionó anteriormente la radiación UV de longitud de onda de 254 nm, se absorbe en un nivel que es suficiente para la desinfección (López-Díaz *et al.*, 2012)

3.4.3 Factores que influyen en su eficacia:

- Tiempo: Cuanto mayor es el tiempo de exposición a una determinada dosis, tanto más eficaz es el tratamiento.
- Intensidad: La intensidad de los rayos 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 pulgadas (30-48cm).

- 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 turbiedad, incluso una débil capa de sustancias grasas o el agua pura los intercepta. No penetran en objetos opacos, por consiguiente, los rayos UV sólo afectan la superficie externa de los alimentos que se irradian y no penetran en los microorganismos presentes en el interior del mismo (Suarez, 2001).

Actualmente se ha estado utilizando la luz ultravioleta de onda corta (UVC) como método de conservación para productos alimenticios, y como tratamiento de conservación postcosecha de frutas y vegetales.

IV. JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se tienen datos relevantes sobre los efectos del tratamiento de luz ultravioleta de onda corta sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los jugos de fruta, por lo que es necesario recopilar toda la información disponible y ordenarla para su mejor comprensión, esto con el fin de realizar un análisis que apoye a estudios posteriores. Por otra parte, los jugos y néctares de frutas son bebidas populares en el mercado, debido a que son saludables y nutritivos, contienen diversos compuestos funcionales, tales como: vitaminas, compuestos fenólicos y pigmentos.

Aunado a esto, representan un mercado importante en la industria de alimentos a nivel global. Por ello es importante determinar las consecuencias que ejerce el aplicarle estos métodos de conservación, esto nos indicará si esta tecnología degrada, daña o disminuye o en su defecto potencializa estos compuestos funcionales y por ende su capacidad antioxidante en los jugos de frutas.

Esta información ayudará a evaluar y comparar esta tecnología emergente contra los tratamientos térmicos tradicionales que actualmente se aplican a estos alimentos.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general:

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los efectos que tiene el tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en los jugos y néctares de fruta.

5.2 Objetivos específicos:

- Recopilar información referente a la tecnología emergente de luz ultravioleta de onda corta aplicado los jugos y néctares de fruta.
- Conocer y presentar los efectos del tratamiento de luz ultravioleta de onda sobre las vitaminas, compuestos fenólicos y pigmentos con capacidad antioxidante en jugos y néctares de fruta.

PREGUNTAS

- ¿Qué efectos tiene el tratamiento de luz ultravioleta de onda corta sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en los jugos de fruta?
- ¿Cuáles son los beneficios y las desventajas del tratamiento luz ultravioleta de onda corta aplicado a los jugos de fruta?

VI. METODOLOGÍA

Las etapas que se seguirán para la metodología de la revisión documental son: búsqueda, organización, análisis de la información y redacción de la tesina.

Materiales y métodos:

- Se utilizarán artículos, revistas de divulgación científica y tecnológica publicados de diversas fuentes desde el año 2002 al año 2017, los temas de interés son aplicación de luz ultravioleta de onda corta sobre los jugos y néctares de frutas, también se tomarán en cuenta temas relacionados con la tecnología emergente de luz UV-C aplicada a alimentos.
- Entre las bases de datos a utilizar se encuentran: Elsevier, Scielo, Dialnet, Redalyc, Eric, Google académico etc. Se realizará búsqueda de referencias bibliográficas de por lo menos 50 fuentes, entre: artículos, revistas, tesis, libros. Se recopilará la información, para su posterior selección y análisis. Las referencias bibliográficas serán guardadas, sintetizadas y analizadas a través de Mendeley que es un gestor de referencia con una plataforma social académica muy útil.
- A través de Mendeley se ordenarán los artículos de manera alfabética y cronológica, se comenzará a revisar todo el material, haciendo un análisis minucioso.
- Se realizará una tabla donde se coloquen el tipo de fruta y compuestos bioactivos que se evaluaron y autor o autores responsables del artículo, para posteriormente empezar a redactar la revisión bibliográfica.
- Se dará inicio a la redacción de la tesina.

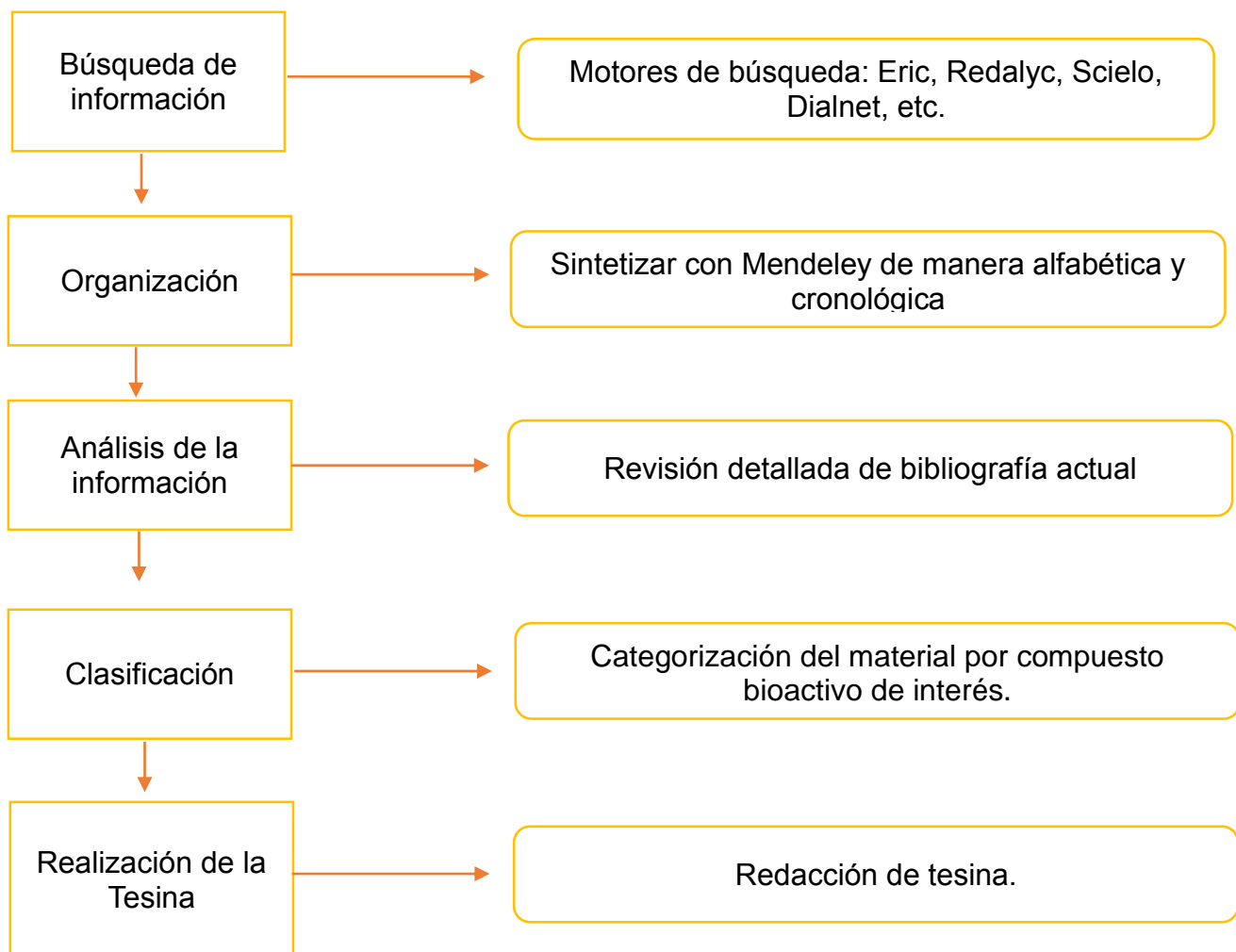


Figura 2. Diagrama de bloques de la metodología.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Efecto del tratamiento de luz UV-C sobre vitaminas de los jugos y néctares de frutas

7.1.1 Ácido ascórbico y Vitamina C

En las frutas, es posible encontrar dos vitámeros de la vitamina C: el ácido L-ascórbico, el cual es un agente reductor fuerte que presenta la mayor actividad biológica y el ácido dehidroáscrobico, su forma oxidada, esta vitamina es de las más inestables y susceptibles a la degradación al ser expuesto a factores ambientales tales como la luz, el oxígeno y las altas temperaturas. Por ello, se debe tener especial cuidado durante el procesamiento de productos ricos en estos compuestos. Diferentes estudios han evaluado el efecto de diferentes dosis de radiación UV-C sobre la estabilidad de la vitamina C, en la gran mayoría se ha logrado reducir el daño provocado por los tratamientos térmicos tradicionales.

El jugo de naranja es ampliamente conocido por su contenido de vitamina C, al cual se le reporta una cantidad de 138 mg por cada cien gramos de jugo (United States Department of Agriculture-USDA, 2012), dependiendo de la variedad de naranja; no obstante, el evitar la degradación de la vitamina C es uno de los objetivos principales de las nuevas tecnologías. En este sentido, Tran y Farid (2004) aplicaron una dosis de 100 mJ/cm² (6 W) de luz UV-C obteniendo una reducción del 17 % de la vitamina C presente en jugo de naranja, Torkamani y Niakousari (2011) determinaron que, bajo condiciones de radiación (13-144 mJ/cm²; 254 nm) se perdió aproximadamente un 18 % del contenido original de vitamina C en jugo de naranja.

Caso similar sucedió con Gayán *et al.* (2012) quienes aplicaron un tratamiento combinado de luz UV-C (27.1 J/mL) y temperatura media (55°C) y observaron una reducción de 16.5% del ácido ascórbico. Por otra parte, Pala y Toklucu (2013) informaron una reducción de 9.3% en jugo de naranja a una dosis de 48.1 J/mL de luz UV-C, mientras que Acuario *et al.* (2015) utilizaron una dosis de 15 W durante 15 min y produjeron una pérdida de 15% de vitamina C en jugo de naranja.

Estos valores obtenidos (9-18%) son inferiores a los reportados en los tratamientos térmicos tradicionales, los cuales reportan valores de 15.2-48 % (Pala y Toklucu, 2013; Acurio *et al.*, 2015). En jugo de toronja, el contenido de ácido ascórbico fue reducido considerablemente por la dosis de tratamiento con UV-C, observándose pérdidas entre 12 y 17 %, 20 y 29 % y 25 y 35 % después del uso de 1.83, 2.84, 3.94 J/cm², respectivamente, proporcionándole una estabilidad a este compuesto durante 20 días (4 °C) de almacenamiento (La Cava *et al.*, 2015).

Aunque el jugo de manzana no es rico en vitamina C, posee alrededor de 10 mg/100g, dependiendo de la variedad (Ayala *et al.*, 2015), ha sido utilizado para evaluar el efecto del tratamiento con UV-C sobre la vitamina C. En este sentido se han reportado pérdidas importantes de vitamina C (22.5-70%) en jugo de manzana al incrementar el tiempo de proceso (30-120 minutos, respectivamente), lo anterior puede deberse a las características fisicoquímicas del jugo de manzana el cual es generalmente clarificado, lo que permite una mayor afectación a los jugos (Eufrazio *et al.*, 2016). Lo anterior fue corroborado por Falguera *et al.* (2011) los cuales reportaron una mayor afectación en la vitamina C en jugos de manzana con menor pigmentación en comparación con aquellos jugos más pigmentados (Fuji, Golden y Starking), lo que se debe a que los pigmentos pueden tener un efecto protector sobre la vitamina C (Sibaja, 2015).

Al irradiar jugo de cas (*Psidium friedrichsthalianum*) (299, 598 y 896 J/m² a 35 ° C) se observó una reducción mínima en el contenido de vitamina C del 2 a 7 % (Sibaja, 2015). De igual forma sucedió al aplicar luz ultravioleta a jugo de piña (7.5 mJ/cm² durante 3 s) se observó una reducción de este compuesto del 22.8 %, en comparación con un tratamiento térmico convencional que redujo en un 38.7% (Goh *et al.*, 2012).

Durante el almacenamiento, Chia *et al.* (2012) evaluaron la estabilidad de la vitamina C en jugo de piña tratado con UV-C y con un tratamiento térmico tradicional. Ellos reportaron que a una dosis de 53,42 mJ/cm² durante 4.9 s, se retuvo el 50 % del contenido de ácido ascórbico durante 10 semanas de almacenamiento (4 °C), mientras que con el tratamiento térmico solo se retuvo

durante 8 semanas, para este tipo de jugos el empleo de luz ultravioleta es una alternativa prometedora, ya que le brinda una mayor estabilidad a la vitamina C durante el almacenamiento. Otros casos análogos fueron obtenidos con jugo de carambola (2.158 J/m² durante 30 y 60 min) en el cual disminuyó el porcentaje de ácido ascórbico conforme el tiempo de tratamiento con luz UV-C aumentó, observándose una relación lineal entre el tiempo de tratamiento (30 y 60 min) y el porcentaje de pérdida (10 y 20.3%, respectivamente) (Bhat *et al.*, 2011).

Santhirasegaram *et al.* (2015) aplicaron una dosis de luz ultravioleta (3.525 J/m² durante 15,30 y 60 min) a néctar de mango (*Mangifera indica*) en la cual observaron una disminución del contenido de ácido ascórbico: 12-15 %, en comparación con tratamiento térmico tradicional (90°C durante 60s) en el cual se redujeron hasta un 65% de ácido ascórbico. El tratamiento térmico es más eficaz para inactivar microorganismos en los alimentos, pero se observaron efectos perjudiciales sobre la calidad nutrimental. Por lo tanto, el tratamiento de UV-C es una alternativa viable a la pasteurización térmica para este tipo de jugos.

En la mayoría de las investigaciones, la disminución de vitamina C y ácido ascórbico por el tratamiento con UV-C es prácticamente menor en comparación con la que se obtendría utilizando tratamientos térmicos convencionales.

Tabla 2. Efectos de la luz ultravioleta (UV-C) sobre la vitamina C y ácido ascórbico en los jugos y néctares de fruta.

Compuesto bioactivo	Jugo o néctar de fruta	Efecto	Dosis utilizada	Referencia
Vitamina C y ácido ascórbico	Naranja	Disminución 15 %	15 W; 200- 280 nm, 30 min	Acurio <i>et al.</i> , 2015
	Naranja	Disminución 16.5 %	27.1 J/mL; 55 °C	Gayán <i>et al.</i> , 2012
	Naranja	Disminución 17 %	100 mJ/cm ² ; 6 W	Tran y Farid, 2004
	Naranja	Disminución 9.25%	48.12 J/mL	Pala y Toklucu 2013
	Naranja	Disminución 18 %	13-144 mJ/cm ² ; 254 nm	Torkamani y Niakousari 2011
	Piña	Retención del 50 % de ácido ascórbico a las 10 semana de almacenamiento	53.42 mJ/cm ² ; 4.9 s	Chia <i>et al.</i> , 2012
	Piña	Disminución 22.8 %	7.5 mJ/cm ² ; t= 3.3 s	Goh <i>et al.</i> , 2012
	Manzana	Disminución 22.5-70%	254 nm, 30 -120 min	Eufrazio <i>et al.</i> , 2016
	Toronja	Disminución 12-17 %	1.83 J/cm ²	La Cava <i>et al.</i> , 2015
	Mango	Disminución 12-15 %	3.525 J/m ² ; 15,30 y 60 min	Santhirasegaram <i>et al.</i> , 2015
	Cas	Disminución 2-7 %	299-896 J/m ² , 35 °C	Sibaja, 2015
	Carambola	Disminución 10 %	2.158 J/m ² ; 30 min	Bhat <i>et al.</i> , 2011

7.2 Efecto del tratamiento de luz UV-C sobre los compuestos fenólicos de los jugos y néctares de fruta.

7.2.1 Ácidos fenólicos

El contenido de ácidos fenólicos en jugos y néctares de frutas son de interés para la salud de los consumidores, ya que se han asociado un gran número de beneficios con su consumo regular. Los resultados de compuestos fenólicos generalmente se reportan como miligramos equivalentes de ácido gálico (GAE) por mililitro o gramo de producto. El contenido de compuestos fenólicos es un importante indicador de la calidad del jugo de frutas.

Diversos estudios han evaluado el efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre este grupo de compuestos bioactivos. Al respecto, Falguera *et al.* (2011) aplicaron una dosis de 400 W durante 120 min de luz UV-C a 4 diferentes variedades de jugo de manzana, ellos observaron que no hubo ningún cambio en el contenido de compuestos fenólicos después de aplicar el tratamiento. Resultados similares fueron reportados por Caminiti *et al.* (2012); ellos aplicaron dosis de 2.66 a 53.10 J/cm² de luz UV-C a jugo de manzana, y observaron también que no hubo disminución en el contenido de compuestos fenólicos. En otro estudio realizado por Pala y Toklucu (2011) aplicaron una dosis de UV-C (12,47 a 62,4 J/mL) al jugo de granada (*Punica granatum*) y concluyeron que el uso de esta tecnología no afecta de manera significativa la cantidad de estos compuestos bioactivos.

En otra investigación, Hernández-Carranza *et al.* (2016) aplicaron una dosis (13.2 a 79.2 J/cm²) de luz UV-C a bebidas de zanahoria con diferentes concentraciones (60, 80 y 100% [v/v]), en la cual observaron que el uso de este tratamiento no afectó de manera significativa el contenido de este fitoquímico.

En cítricos, La Cava *et al.* (2015) al irradiar jugo de toronja (*Citrus paradisi*) con dosis de luz UV-C (1.83, 2.84, 3.94 J/cm²), no mostraron cambios significativos sobre los compuestos fenólicos. Mientras que Samaniego *et al.* (2015) aplicaron una dosis (500 W) de luz ultravioleta (UV-C) a dos variedades (dulce e híbrida) de jugo de naranjilla (*Solanum quitoense*) evaluaron el contenido total de polifenoles

solubles antes, durante y después del tratamiento por 480 min, teniendo una pequeña disminución de este compuesto (3.4%), la cual no es significativa. Sew *et al.* (2014) aplicaron un tratamiento combinado de tratamiento térmico suave (55°C) durante 10 min con luz UV-C (5.61 mJ/cm²) a jugo de piña (*Ananas comosus*), observaron que bajo estas condiciones se retuvo el 73 % del contenido de fenoles totales sin afectar las características deseadas del jugo de piña.

En otro estudio realizado por Ochoa-Velasco *et al.* (2013) donde se evaluó el uso de luz UV-C a jugo de pitaya roja (*Stenocereus griseus*) utilizando una dosis de 57 W/cm² durante 30 min; 30.33 mL/s, se observó que el contenido de compuestos fenólicos se redujo en 11.6 %, como consecuencia, la actividad antioxidante también disminuyó.

En algunos casos, se ha observado que existe un incremento en el contenido de compuestos fenólicos en jugos. Por ejemplo, Falguera *et al.* (2013) aplicaron una dosis (400 W durante 120 min a 25 °C) de luz UV-C a diferentes variedades de jugo de pera (*Pyrus communis*), obteniendo un ligero aumento en la cantidad de compuestos fenólicos, se encontró que era significativo en las variedades de Flor de Invierno y Blanquilla (9%) probablemente esto se debe a la descomposición de polímeros fenólicos complejos que conduce a la liberación de compuestos fenólicos más simples. Mismos resultados obtenidos por Bhat *et al.* (2011) al aplicar luz UV-C (2,158 J/m² durante 30 y 60 min) con jugo de carambola. Ellos reportaron que hubo un ligero aumento en los compuestos fenólicos (3 y 6 %) en función al tiempo de exposición (30 y 60 minutos respectivamente).

Mismos resultados obtenidos por Santhirasegaram *et al.* (2015), los cuales aplicaron una dosis de luz ultravioleta de 3.525 J/m² durante 15,30 y 60 min a néctar de mango (*Mangifera indica*) en la cual observaron un aumento (31%) del contenido fenólico total a los 30 min del tratamiento. El aumento podría atribuirse a la acumulación de compuestos fenólicos o productos derivados de ellos como medio de defensa contra los tratamientos UV (Bhat *et al.*, 2011). Además, la inactivación inducida por UV-C del polifenol oxidasa puede evitar una mayor pérdida de polifenoles (Oms-Oliu *et al.*, 2012).

Durante el almacenamiento, Feng *et al.* (2013) informaron que al irradiar jugo de sandía (*Citrullus lanatus*) con luz UV-C y almacenarlo por 37 días a 5°C, no se encontraron cambios significativos en el contenido de los compuestos fenólicos.

En la mayoría de los casos estudiados el uso de la luz UVC no afecta de manera significativa el contenido de los compuestos fenólicos en los jugos y néctares de las frutas y hortalizas, en algunos casos el empleo de esta tecnología emergente puede incrementar el contenido de estos compuestos bioactivos.

Tabla 3. Efectos de la luz ultravioleta (UV-C) sobre los ácidos fenólicos en jugos y néctares de fruta.

Compuesto bioactivo	Jugo o néctar de fruta	Efecto	Dosis utilizada	Referencia
Contenido fenólico total	Manzana	Ninguno	2.66 a 53.10 J/cm ²	Caminiti <i>et al.</i> , 2012
	Manzana	Ninguno	400 W; 120 min	Falguera <i>et al.</i> , 2011
	Carambola	Incremento de 3 y 6 %	2.158 J/m ² ; 30 y 60 min	Bhat <i>et al.</i> , 2011
	Zanahoria	Ninguno	13.2 a 79.2 J/cm ²	Hernández-Carranza <i>et al.</i> , 2016
	Toronja	Ninguno	1.83 a 3.94 J/cm ²	La Cava <i>et al.</i> , 2015
	Naranjilla	Ninguno	500 W	Samaniego <i>et al.</i> , 2014
	Pera	Incremento 9%	400 W; 120 min; 25 °C	Falguera <i>et al.</i> , 2013
	Piña	Retención de 73 %	Calor suave (55 °C; 10min) con UV-C (5.61mJ/cm ²)	Sew <i>et al.</i> , 2014
	Granada	Ninguno	12.47 a 62.4 J/mL	Pala y Toklucu, 2011
	Pitaya roja	Disminución 11.6 %	57 W/cm ² ; 30 min	Ochoa-Velasco <i>et al.</i> , 2013
Sandia	Ninguno	2.7 y 37.5 J/mL	Feng <i>et al.</i> , 2013	
Mango	Incremento 31%	3.525 J/m ² ; 30 min	Santhirasegaram <i>et al.</i> , 2015	

7.2.2 Flavonoides

Aunque los flavonoides estrictamente hablando pertenecen al grupo de compuestos fenólicos, son un grupo tan amplio de polifenoles, que se consideran un apartado diferente. Los flavonoides son compuestos bioactivos con poder antioxidante, su contenido en los jugos y néctares de fruta son un parámetro nutricional y sensorial imprescindible. Diversos estudios han evaluado el efecto que tiene el uso de luz UV-C sobre estos fitoquímicos.

El jugo de granada ha cobrado interés mundial debido a su alto contenido de antioxidantes, específicamente de compuestos fenólicos y antocianinas; en este último se han reportado cantidades entre 0.815 y 7.76 g por cada litro de jugo en ciertas variedades de este fruto (Mousavinejad *et al.*, 2009). Las antocianinas, responsables del color rojo brillante del jugo es uno de los principales parámetros de calidad que afecta la aceptabilidad sensorial del consumidor. En este aspecto, Pala y Toklucu (2011) aplicaron una dosis de UV-C de 12,47 a 62,4 J/mL a jugo de granada, no obtuvieron disminución significativa de antocianinas al aplicar este tratamiento no térmico.

Los jugos de uva son una rica fuente dietética de polifenoles, incluidos los ácidos fenólicos, flavonoides, flavonoles, resveratrol, antocianinas y taninos (Makris *et al.*, 2006). Debido a su alto contenido de polifenoles, también son una fuente importante de antioxidantes (Dani *et al.*, 2007). En este sentido Pala y Toklucu (2013) aplicaron dosis de 12.6 J/mL y 25.2 J/mL de luz UV-C a un jugo de uva roja (Karasakız/Kuntra) y observaron que no hubo diferencias significativas (6.1-8.7%) al aplicar este tratamiento en comparación con un tratamiento térmico, el cual, disminuyó significativamente la cantidad de antocianinas (11.8 %).

En otro estudio realizado por Caminiti *et al.* (2011) donde evaluaron distintos tratamientos no térmicos: luz ultravioleta (UV) (5.3 J/cm²), pulsos de luz de alta intensidad (HILP) (3.3 J/cm²), campos de pulsos eléctricos (PEF) (3.3 J/cm²) y termosonización (MTS) (5 bar, 43°C, 750 W, 20 kHz), y la combinación de estos (HILP, HILP+PEF, HILP+MTS, UV, UV + PEF, UV+MTS) en una mezcla de jugo de

manzana y arándano (90:10 v/v), concluyeron que el contenido de antocianinas fue significativamente reducido cuando el producto fue procesado por las combinaciones UV + MTS y UV + PEF y la reducción varió entre 19% y 24%, que fue similar a la muestra tratada térmicamente (15 %). Por el contrario, con la aplicación del tratamiento sin combinar con UV o HILP no se observaron cambios significativos sobre el contenido de antocianinas.

En otro estudio realizado por Goh *et al.* (2012) aplicaron una dosis (7.5 mJ/cm² durante 3 s) de luz UV-C a jugos de piña observaron que no hubo diferencias significativas en cuanto a la cantidad total de flavonoides (mg equivalentes de Catequina/100 g) con respecto a la muestra control, de igual manera a lo reportado por La Cava *et al.* (2015) al irradiar jugo de toronja (*Citrus paradisi*) con dosis de luz UV-C (1.83, 2.84, 3.94 J/cm²), no mostraron cambios significativos sobre los flavonoides totales (naringina, hesperidina y neohesperidina).

Otros investigadores han obtenido diferentes resultados, por ejemplo, Bhat *et al.* (2011) aplicaron una dosis (2,158 J/m² durante 30 y 60 min) de luz UV-C con jugo de carambola, observaron que hubo un aumento en los contenidos de flavonoides (Catequina) (17.4 %) y flavonoles (Quercetina) (1.7 y 6.5 %) en función al tiempo de exposición (30 y 60 minutos respectivamente).

Caso similar a lo reportado por Santhirasegaram *et al.* (2015) que aplicaron una dosis de luz ultravioleta de 3.525 J/m² durante 15,30 y 60 min a néctar de mango (*Mangifera indica*) en la cual observaron un ligero aumento (3% en 15 min) en la cantidad total de flavonoides (equivalente de Catequina/100 ml) el incremento del contenido total de flavonoides se debe al aumento de la biosíntesis de fenilalanina amoniaco liasa, después de la irradiación, aumenta el contenido de este biocatalizador (Pombo *et al.*, 2011) y esto a su vez aumenta la biosíntesis de flavonoides (González *et al.*, 2007). Por otra parte, Borja *et al.* (2012) utilizaron una dosis de 30 W con un flujo de 1,49 L/min de luz UV-C a un jugo de mortiño o arándano de los Andes. Ellos observaron que el contenido de antocianinas aumento de manera gradual (74%) en función del tiempo de exposición (180 min).

Esto se podría deber, según Kong *et al.* (2003) a que las antocianinas pueden ser inducidas o estimuladas rápidamente en respuesta al frío, radiación ultravioleta o ataques de patógenos.

Por otro lado, Barraza *et al.* (2015) aplicaron un tratamiento con luz UV-C (18 y 36 J/mL) a jugo de granada (*Punica granatum Linn.*), observaron que el uso de esta tecnología disminuyó de manera significativa el contenido de antocianinas (13.65 y 21.45%, respectivamente). Posiblemente, la exposición a largo plazo de la luz UV-C puede causar la fotodegradación de antocianinas debido al efecto de decoloración de pigmentos. Esta diferencia pudo deberse al tipo de reactor utilizado, ya que la disminución de antocianinas se asocia por un mayor tiempo de exposición (Barraza *et al.*, 2015). De acuerdo con Koutchma y Parisi (2004) los fotones de la luz UV a 254 nm son absorbidos por moléculas orgánicas y afectan enlaces conjugados incluyendo enlaces disulfuro y, por tanto, puede reducir el contenido de antocianinas. En la mayoría de estudios el uso de luz UV-C no afecta de manera significativa el contenido de flavonoides, en algunos casos estimula el aumento de estos.

Tabla 4. Efectos de la luz ultravioleta (UV-C) sobre los flavonoides en los jugos y néctares de fruta.

Compuesto bioactivo: flavonoides	Jugo o néctar de fruta	Efecto	Dosis utilizada	Referencia
Antocianinas	Granada	Disminución 13.65 y 21.45%	18 y 36 J/mL	Barraza <i>et al.</i> , 2015
	Granada	Ninguno	12.47 a 62.4 J/mL	Pala y Toklucu, 2011
	Uva	Ninguno	12.6 J/mL y 25.2 J/mL	Pala y Toklucu, 2013
	Arándano con manzana	Ninguno	5.3 J/cm ²	Caminiti <i>et al.</i> , 2011
	Arándano de los Andes	Aumento 74%	30 W; 1.49 L/min.	Borja <i>et al.</i> , 2012
Catequinas	Carambola	Aumento 17%	2.158 J/m ² ; 30 min	Bhat <i>et al.</i> , 2011
	Mango	Ligero incremento 3%	3.525 J/m ² ; 15 min	Santhirasegaram <i>et al.</i> , 2015
	Piña	Ninguno	7.5 mJ/cm ² ; t= 3.3 s	Goh <i>et al.</i> , 2012
Naringina, hesperidina y neohesperidina	Toronja	Ninguno	1.83 J/cm ²	La Cava <i>et al.</i> , 2015

7.3 Efecto del tratamiento con luz ultravioleta (UV-C) sobre la capacidad antioxidante de los jugos y néctares de fruta.

La capacidad antioxidante en los jugos de frutas se ha vuelto un atributo nutricional de suma importancia y relevancia dado el incremento en las enfermedades asociadas al estrés oxidativo. Diferentes metodologías han sido empleadas para evaluar la capacidad antioxidante de estos alimentos: Poder antioxidante de reducción del ion férrico (FRAP, por sus siglas en inglés), 2,2'-Azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), Capacidad de absorbanza de radicales de oxígeno (ORAC) son los más ampliamente utilizados y TEAC (Capacidad antioxidante expresada en equivalentes Trolox) (Cárdenas *et al.*, 2015).

Diferentes estudios han evaluado el efecto de la dosis de radiación UV-C sobre este parámetro. En este aspecto, Santhirasegaram *et al.* (2015) aplicaron una dosis de luz ultravioleta UV-C de 3.525 J/m² durante 30 min a néctar de mango (*Mangifera indica*), observaron un aumento significativo (12 %) en la capacidad antioxidante (DPPH), según Bhat *et al.* (2011) esto se puede deber al estrés inducido por el procesamiento UV-C, ya que puede aumentar la generación de compuestos antioxidantes.

Por otra parte, Pala y Toklucu (2011) sometieron a una dosis de irradiación de luz ultravioleta (UV-C) de 12.47 J/mL, 37.41J/mL y 62.35 J/mL a jugo de granada (*Punica granatum*); utilizando el método ABTS reportaron que este tratamiento no afectó la actividad antioxidante. Mismos resultados obtenidos por Hernández-Carranza *et al.* (2016) quienes aplicaron una dosis de 13.2 a 79.2 J/cm² de luz UV-C a bebidas y jugo de zanahoria (*Daucus carota*), señalaron que esta tecnología no afecta la capacidad antioxidante.

Por otro lado, Pala y Toklucu (2013) aplicaron dosis de 12.6 J/mL y 25.2 J/mL de luz UV-C a un jugo de uva roja (Karacakız/Kuntra) y uva blanca (Çavuş), observaron que no hubo diferencias significativas al aplicar este tratamiento sobre la capacidad antioxidante en ambos jugos.

Estos resultados también fueron corroborados por Caminiti *et al.* (2011) quienes evaluaron la aplicación de luz ultravioleta UV-C (5.3 J/cm^2), en una mezcla de jugo de manzana y arándano (90:10 v/v), concluyendo que la capacidad antioxidante no sufrió cambios significativos al aplicar este tratamiento no térmico. Por otra parte, Pala y Toklucu (2013) informaron que no hubo cambios significativos sobre la capacidad antioxidante en jugo de naranja a una dosis de 48.1 J/mL de luz UV-C.

En contraste, La Cava *et al.*, (2015) irradiaron jugo de toronja (*Citrus paradisi*) con dosis de luz UV-C ($1.83, 2.84, 3.94 \text{ J/cm}^2$), observaron disminución significativa sobre la capacidad antioxidante (10% a 27%), esto se relacionó con la dosis aplicada. En otro estudio realizado por Ochoa-Velasco *et al.* (2013) donde evaluaron el uso de luz UV-C en jugo de pitaya roja (*Stenocereus griseus*) utilizando una dosis de 57 W/cm^2 durante 30 min. Ellos indicaron que la actividad antioxidante (ABTS) también disminuyó (37.0%) provocado por el tratamiento.

Por su parte, Barraza *et al.* (2015) aplicaron una dosis de luz UV-C de 36 J/mL a jugo de granada (*Punica granatum*) y observaron que el uso de esta tecnología disminuyó de manera significativa la capacidad antioxidante (22.54 %). Mismos resultados obtenidos por Caminiti *et al.* (2012) quienes aplicaron una dosis 53.10 J/cm^2 de luz UV-C a jugo de manzana, y observaron que también hubo una disminución de la capacidad antioxidante (11%), sin embargo, los que recibieron una dosis de 5.31 J/cm^2 no mostraron cambios significativos en comparación con la muestra control no tratado. De igual forma sucedió al aplicar luz ultravioleta a jugos de piña de 7.5 mJ/cm^2 durante 3 s se observó una reducción en la capacidad antioxidante del 16 % (Goh *et al.*, 2012).

La disminución o aumento de la capacidad antioxidante está relacionada a distintos factores, principalmente, está relacionada con la cantidad de compuestos bioactivos (vitamina C, carotenoides, compuestos fenólicos: ácidos fenólicos, flavonoides) que tiene el jugo de fruta, si estos fitoquímicos son reducidos por la aplicación de luz UV-C, también será reducida su capacidad antioxidante. Según Allothman *et al.* (2009) informaron que el tratamiento con UV-C puede aumentar o disminuir la

capacidad antioxidante debido a algunas variables, como la dosis administrada, el tiempo de exposición y tipo de materia prima.

Otros factores podrían ser: el tipo de reactor o equipo que se utiliza, así como la combinación de otros tratamientos térmicos y tecnologías emergentes podrían incidir sobre este parámetro. En menor medida, el tipo de técnica utilizada para la determinación de la capacidad antioxidante podría ser también un factor significativo.

Tabla 5. Efecto de la luz ultravioleta (UV-C) sobre la capacidad antioxidante de los jugos y néctares de fruta.

Parámetro	Jugo o néctar de fruta	Efecto	Dosis	Referencia
Capacidad antioxidante	Manzana	Disminución 11%	53.10 J/cm ²	Caminiti <i>et al.</i> , 2012
	Zanahoria	Ninguna	13.2 a 79.2 J/cm ²	Hernández-Carranza <i>et al.</i> , 2016
	Arándano con manzana	Ninguna	5.3 J/cm ²	Caminiti <i>et al.</i> , 2011
	Uva	Ninguna	12.6 J/mL y 25.2 J/mL	Pala y Toklucu, 2013
	Toronja	Disminución 10 a 27%.	1.83 J/cm ² – 3.94 J/cm ²	La Cava <i>et al.</i> , 2015
	Mango	Incremento 12%	3.525 J/m ² ; 30 min	Santhirasegaram <i>et al.</i> , 2015
	Naranja	Ninguna	48.12 J/mL	Pala y Toklucu 2013
	Piña	Disminución 16 %	7.5 mJ/cm ² ; t= 3.3 s	Goh <i>et al.</i> , 2012
	Granada	Disminución 22.54 %	36 J/mL	Barraza <i>et al.</i> , 2015
	Granada	Ninguna	12.47 a 62.4 J/mL	Pala y Toklucu, 2011
Pitaya roja	Disminución 37 %	57 W/cm ² ; 30 min	Ochoa-Velasco <i>et al.</i> , 2013	

7.4 Ventajas y desventajas del uso del tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los jugos y néctares de fruta.

La aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) genera grandes beneficios, debido a su capacidad para inactivar una amplia gama de microorganismos con pérdidas nutricionales y sensoriales mínimas (López-Malo y Palou, 2004; Gayán *et al.*, 2012). Debido al interés actual de los compuestos bioactivos, se ha observado que el uso de radiación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) no tiene efectos significativos sobre los ácidos fenólicos y los flavonoides (Caminiti *et al.*, 2011; Falguera *et al.*, 2011; Pala y Toklucu, 2011; Caminiti *et al.*, 2012; Goh *et al.*, 2012; Pala y Toklucu, 2013; Feng *et al.*, 2013; Samaniego *et al.*, 2014; Santhirasegaram *et al.*, 2014; La Cava *et al.*, 2015; Hernández-Carranza *et al.*, 2016).

Sin embargo, algunos fitoquímicos como la vitamina C (Tran y Farid, 2004; Bhat *et al.*, 2011; Torkamani y Niakousari 2011; Gayán *et al.*, 2012; Goh *et al.*, 2012; Pala y Toklucu 2013; Santhirasegaram *et al.*, 2014; Acurio *et al.*, 2015; La Cava *et al.*, 2015; Sibaja, 2015; Eufrazio *et al.*, 2016) y la capacidad antioxidante (Caminiti *et al.*, 2012; Goh *et al.*, 2012; Ochoa-Velasco *et al.*, 2013; Barraza *et al.*, 2015; La Cava *et al.*, 2015) se ven disminuidos al aplicar esta tecnología, pero la ventaja es que su reducción es menor en comparación con un proceso térmico convencional.

Adicionalmente, presenta la ventaja de ser amigable con el medio ambiente (Falguera *et al.*, 2011) porque se les asocia con una mayor eficiencia, un consumo energético bajo y una generación minoritaria o nula de efluentes. Aunado a esto, la radiación UV-C posee ventajas para ser utilizada en la industria de jugos y bebidas ya que hace un tratamiento continuo y en periodos cortos de volúmenes importantes de producto, además, la adquisición de los equipos y la puesta en operación es de bajo costo, en comparación con otras tecnologías emergentes (Sibaja, 2015) también presenta la ventaja de que no se forman productos químicos tóxicos, ni promueve la formación de subproductos mutagénicos y carcinógenos (La Cava y Sgroppo, 2015).

Los beneficios anteriores podrían favorecer la aceptación de la gente e incentivarlos a consumir bebidas funcionales de fruta procesadas con esta tecnología emergente.

Sin embargo, se han encontrado varias desventajas que tiene el uso de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los jugos de fruta, por ejemplo: la eficiencia de esta tecnología se ve limitada en jugos turbios, poco clarificados y con alta cantidad de sólidos solubles, ya que su poder de penetración es limitado. De hecho, el mayor inconveniente de la desinfección con luz ultravioleta es su baja penetración, ya que para la inactivación de microorganismos estos tienen que ser directamente expuestos a la irradiación (Gutiérrez, 2010)

VIII. CONCLUSIONES

En general, esta revisión bibliográfica demostró que la luz ultravioleta de onda corta (UV-C) en la mayoría de los casos estudiados no tiene efectos significativos sobre los ácidos fenólicos y flavonoides, incluso se pudo corroborar que, en algunos casos, este tratamiento puede estimular la producción de estos fitoquímicos. En contraste, en algunos estudios revisados la vitamina C se ve disminuida por la aplicación de este tratamiento, esto ocasiona que también la capacidad antioxidante se vea afectada al aplicar esta tecnología, sin embargo, es menor en comparación con la que se obtiene utilizando tratamientos térmicos convencionales.

La luz ultravioleta de onda corta (UV-C) utilizada para el procesamiento de jugos de frutas no es una tecnología estandarizada, por lo cual se requiere de pruebas para cada tipo de jugo en las condiciones específicas deseadas para el proceso, esto con el fin de poder evaluar y definir la relación más óptima sobre los parámetros de procesamiento (tipo de reactor, tiempo de exposición, dosis de radiación administrada, volúmenes de procesamiento, temperatura, combinación con otro tratamiento etc.) y su efecto deseado sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas, enzimáticas y sensoriales de estos alimentos.

IX. BIBLIOGRAFIA

Acurio, L., Villacís, J., Salazar, D., Pérez, L., Valencia, A. (2015). Efecto de la temperatura y radiación ultravioleta de onda corta en el contenido de ácido L-ascórbico en zumo de naranja (*Citrus sinensis*). 23(36), 75–87.

Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. Trends in Food Science and Technology, 20(5), 201–212.

Ayala, J.G., Hernández, L.R. (2015). Comparación del perfil vitamínico en jugos ultrapasteurizados de manzana y su impacto térmico de degradación. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Chihuahua, México, 3 (6).

Bhat, R., Ameran, S. A., Ching Voon, H., Karim, A. A., & Min Tze, L. (2011). Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. Food Chemistry, 127: 641- 644.

Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Editorial Pearson. Mexico, DF, 368, 406.

Barraza, G., Soriano, J.L., & Obregón, J. (2015). Contenido de antocianinas, actividad antioxidante y recuento de mohos y levaduras en jugo de granada tratado con UV-C. Pueblo cont. 26: 145–154.

Bastías M, J. M., & Cepero B, Y. (2016). La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. Revista Chilena de Nutrición, 43(1), 81–86. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100012>

Borja, A., Alcivar, A., Santacruz, S. (2012). Desarrollo de una bebida de *Vaccinium floribundum kunth* con aplicación de luz ultravioleta como método de pasteurización. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Vitae. 19 (1), 165-167.

Caminiti, I. M., Noci, F., Muñoz, A., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. A., & Lyng, J. G. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chemistry*, 124(4), 1387–1392.

Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., 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>

Cárdenas, G., Arrazola, G., Villalba, M. (2015). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos, *Ingenium*, 17 (33), 29-40.

Chia, S., Rosnah, S., Noranizan, M., & Wan Ramli, W. (2012). The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal*, 19(3), 1001-1010.

CODEX ALIMENTARIUS. (2005). Norma general del Codex para zumos y néctares de frutas (CODEX STAN 247-2005). INTERNET. http://www.fao.org/input/download/standards/10154/CXS_247s.pdf. Recuperado 01 de febrero de 2018.

Dani, C., Oliboni, L. S., Vanderlinde, R., Bonatto, D., Salvador, M., & Henriques, J. A. P. (2007). Phenolic content and antioxidant activities of white and purple juices manufactured with organically- or conventionally-produced grapes. *Food and Chemical Toxicology*, 45: 2574–2580.

Eufrazio, F.A., Sosa, M.E., López-Malo, A., Palou, E. (2016). Retención de ácido ascórbico en jugo de manzana después de tratamientos térmicos o con luz ultravioleta. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(2), 285–289.

Falguera, V., Pagán, J., & Ibarz, A. (2011). Effect of UV radiation on enzymatic activities and physicochemical properties of Apple juices from different varieties. *LWT- Food Science and Technology*, 44:115–119.

Falguera, V., Garvín, A., Garza, S., Pagán, J., & Ibarz, A. (2014). Effect of UV-Vis Photochemical Processing on Pear Juices from Six Different Varieties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 84–92. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1069-9>.

Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., & Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon-coil on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19:133-139.

Gayán, E., Serrano, M., Alvarez, I., Condón, S. (2012). Combining ultraviolet light and mild temperatures for the inactivation of *Escherichia coli* in Orange juice. *Journal of Food Engineering*, 113 (4), 598-605.

Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición*. Madrid, España, Editorial Panamericana, 2 edición.

González, G., Zavaleta, R., & Tiznado, M. (2007). Improving postharvest quality of mango Haden by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology* 45: 108-116.

Goh, S. G., Noranizan, M., Leong, C. M., Sew, C. C., & Sobhi, B. (2012). Effect of thermal and ultraviolet treatments on the stability of antioxidant compounds in single strength pineapple juice throughout refrigerated storage. *International Food Research Journal*, 19(3), 1131-1136.

Grosso, G., Bei, R., Mistretta, A., Marventano, S., Calabrese G., Masuelli L., Gazzolo, D. (2013). Effects of vitamin C on health: A review of evidence. 18:1017-1021.

Gutiérrez, M. (2010). Pasteurización de zumos con luz ultravioleta. Recuperado el 15 de abril de 2018, de Gutiérrez, M. 2010. Pasteurización de zumos con luz ultravioleta. [En línea], [fecha de consulta. 15 http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&task=view&id=669&Itemid=59

Gutiérrez, Á., Ledesma, L., García, I., Grajales, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33 (1).

Halsted, C.H. (2003). Dietary supplements and functional foods: 2 sides of a coin? *The American Journal of Clinical Nutrition*. 77:1001-1007.

Hernández-Carranza, P., Ruiz-López, I.I., Pacheco-Aguirre, F.M., Guerrero-Beltrán, J.A., Ávila-Sosa, R., Ochoa-Velasco, C.E. (2016). Ultraviolet-C light effect on physicochemical, bioactive, microbiological, and sensorial characteristics of carrot (*Daucus carota*) beverages. *Food Science and Technology International*, 22: 536–546.

Kong, J.M., Chiam, L.S., Goh, N.K., Chia, T.F., Brouillard, C. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*. 64:923-933.

Koutchma, T., Parisi, B. (2004). Biodosimetry of *E. coli* UV inactivation in model juices with regard to dose and RTD distribution in annular UV reactor. *Journal Food Science*, 69(1), 14-22.

La Cava, E., & Sgroppo, S. (2015). Evolution during refrigerated storage of bioactive compounds and quality characteristics of grapefruit [*Citrus paradisi* (Macf.)] juice treated with UV-C light. *LWT - Food Science and Technology*, 1-9.

López-Díaz, A., Palou, E., López-Malo, A. (2012). Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2: 79–93.

López-Malo, A. y Palou, E. (2004). Ultraviolet light and food preservations. *Emerging Technologies for the Food Industry*, 405-421

Makris, D. P., Kallithraka, S., & Kefalas, P. (2006). Flavonols in grapes, grape products and wines: Burden, profile and influential parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 396–404.

Machado, S., Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera Indica* L.). Federal University of Vicosa, Department of Health and Nutrition, Vicosa, Minas Gerais State, Brazil, 34.

Marsanasco, M., Márquez, A., Wagner, J., Del, V., Alonso, S., Chiaramoni, N. (2011). Liposomes as vehicles for vitamins E and C: An alternative to fortify orange juice and offer vitamin C protection after heat treatment, *Food Res Int.* 44(9), 3039-46.

Minguez, M.I., Pérez, A., & Hornero, D. (2006). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples “colorantes” naturales. Departamento de Biotecnología de Alimentos. Instituto de la Grasa (CSIC). Sevilla, España, 26: 108-113.

Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaci, K., Hossein, M., Khodaparast, H. (2009). Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry.* 115: 1274-1278.

National Institutes of Health. (2007). Datos sobre la Vitamina E 1. Dietary Supplements, 1–2. Retrieved from <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-DatosEnEspañol/#h6>.

Nijveltd R.J., Van Nood E., Van Hoorn D. E.C., Boelens P.G., Van Norren K., Van Leewen P.A.M. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74 (4):418-425.

Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero Beltrán, J. Á. (2013). Short-wave ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice inoculated with *Zygosaccharomyces bailii*. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 34–41.

Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Martín-Belloso, O., 2012. The effects of non-thermal technologies on phytochemicals. In: Rao, V. (Ed.), *Phytochemicals: A Global Perspective of Their Role in Nutrition and Health*. InTech, Croatia.

Pala, C., Toklucu, A.K. (2011). Effect of UV-C on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(6), 790-79.

Pala, C., 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.

Pala, Ç., Toklucu, A. K. (2013). Effects of UV-C Light Processing on Some Quality Characteristics of Grape Juices. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 719–725.

Palencia, Y. (2011). Sustancias bioactivas en los alimentos. *Prevention Juventud*, 2, 1–9. Retrieved from [http://www.unizar.es/med_naturista/bioactivos en alimentos.pdf](http://www.unizar.es/med_naturista/bioactivos_en_alimentos.pdf)

Pombo, M.A., Rosli, H.G., Martínez, G.A., Civello, P.M. (2011). UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch.). *Postharvest Biology and Technology* 59: 94-102.

Robles–Sánchez, M., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Astiazarán-García, H., González-Aguilar, G., Cruz- Valenzuela, R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia* 32(4), 227-232.

Roethenbaugh, G. (2005). Trends in beverage markets. In Ashurst, P. *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices*, 2 ed. Blackwell, Oxford, Reino Unido, 15-34.

Samaniego, E., Ibarz, A., Ruales, J. (2014). Efecto de la Irradiación Ultravioleta en la Actividad Enzimática de la Polifenoloxidasas y Peroxidasas y las Propiedades Fisicoquímicas del Jugo de dos Variedades de Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam). *Revista EPN*, 33(2), 1–6.

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(March), 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.03.011>.

Sew, C.C., Ghazali, H.M., Martin-Belloso, O., Mohd Adzahan, N. (2014). Effects of combining ultraviolet and mildheat treatments on enzymatic activities and total phenolic contents in pineapple juice. *Innov. Food Science. Emergent. Technology*. 26, 511–516.

Sibaja, P. (2015). Evaluación del efecto de la aplicación de tecnologías emergentes (ultrasonido y ultravioleta) sobre la calidad fisicoquímica, microbiológica, y sensorial del jugo de cas (*Psidium friedrichsthalianum*) (Berg.) Niedz.) y agua de pipa (*Cocus nucifera* L.). Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.

Snowball, M.R., Hornsey, I.S. (1988). Purifications of water supplies using ultraviolet light. In: *Developments in Food Microbiology*. R K Robinson (ed). Elsevier Applied Science Publishers. London, 171-191.

Suarez, R. (2001). Conservación de alimentos por irradiación. *Revista Invenio*, 4(6), 85-124.

Torkamani, A., & Niakousari, M. (2011). Impact of UV-C light on orange juice quality and shelf life. *International Food Research Journal*, 18(4).

USDA. (2012). National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. Recuperado de <https://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/12354500/Data/SR25/nutrlist/sr25w401.pdf>.