

Saltillo, Coahuila a 10 de septiembre de 2018

Programa de Especialización en Química Aplicada

Coordinación de Posgrado
Presente

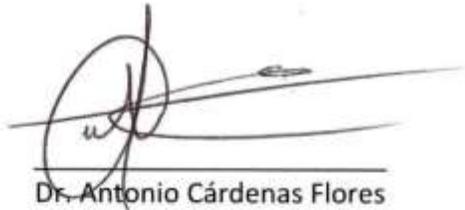
Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de Caso de Estudio preparado por **GERMÁN CUAPIO MORALES** Ácido elágico como tratamiento para prolongar la vida útil de productos poscosecha enteros y/o procesados el cual fue presentado el día 7 de septiembre de 2018, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de Caso de Estudio.

Atentamente,



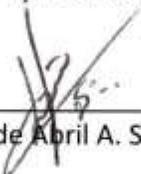
Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Presidente

SINODALES



Dr. Antonio Cárdenas Flores
Vocal

Vº. Bo. del Asesor



Dra. Lluvia de Abril A. Soriano Melgar

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**ÁCIDO ELÁGICO COMO TRATAMIENTO PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL
DE PRODUCTOS POSCOSECHA ENTEROS Y/O PROCESADOS.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

GERMÁN CUAPIO MORALES.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**ÁCIDO ELÁGICO COMO TRATAMIENTO PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL
DE PRODUCTOS POSCOSECHA ENTEROS Y/O PROCESADOS.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

GERMÁN CUAPIO MORALES.

ASESORA:

DRA. LLUVIA DE ABRIL ALEXANDRA SORIANO MELGAR.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**ÁCIDO ELÁGICO COMO TRATAMIENTO PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL
DE PRODUCTOS POSCOSECHA ENTEROS Y/O PROCESADOS.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

GERMÁN CUAPIO MORALES.

EVALUADORES:

DR. ANTONIO CÁRDENAS FLORES.

DR. RICARDO HUGO LIRA SALDIVAR.

SALTILLO, COAHUILA DE ZARAGOZA.

Agosto, 2018.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de Especialidad.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por abrirme las puertas y por darme la oportunidad de realizar la Especialización en Química con opción en Agroplasticultura.

A la Dra. Lluvia de Abril Alexandra Soriano Melgar, por darme la oportunidad de realizar este proyecto, por su disposición, por su apoyo y confianza, también por compartir sus conocimientos y sus consejos, además de permitir formar un vínculo tanto académico como personal.

Al Departamento de Plásticos en la Agricultura, así como a todos los Doctores y Maestros que han hecho de mi estancia en la Especialidad, enriquecedora tanto personal como profesional.

A mis compañeros y amigos del CIQA.

“Hay hombres que luchan un día y son buenos.
Hay otros que luchan un año y son mejores.
Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos.
Pero los hay que luchan toda la vida: esos son los imprescindibles”.

Bertolt Brech

DEDICADO A

Dios...

Por mi familia, por no dejarme nunca solo frente a las adversidades presentadas en la vida y permitirme cumplir un sueño más.

A mi familia...

Con cariño y afecto a mis padres que me dieron la vida, por sus sabios consejos de luchar y seguir a delante, por creer en mí, por apoyarme en todo momento, por darme la oportunidad de tener una formación profesional, gracias por estar a mi lado siempre y en todo momento dios los cuide y los colme de bendiciones. Mis más sinceras gracias, admiración y respeto, los amo.

A mis hermanos Cecilio, Marcelo, Alberto, Cándido, Rene, Uswaldo y Omar por estar apoyándome en todo momento y aconsejarme.

A mi esposa...

Beatriz del Carmen Coutiño Laguna, que te puedo decir, muchas gracias por estos seis años de conocernos, y en los cuales hemos compartido tantas cosas; por nuestro hijo Mario Cuapio Coutiño, por estar conmigo en las buenas y en las malas. Quiero darte las gracias por todo el apoyo que me has dado para continuar y seguir mi camino, gracias por tu paciencia, bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para ti y por estar conmigo eres muy importante para mí.

RESUMEN

El desarrollo de nuevas alternativas de tratamientos para evitar la descomposición de productos hortofrutícolas, es de gran importancia, ya que el principal objetivo es alargar la vida de anaquel de frutas y hortalizas, conservando sus atributos esenciales (sabor, firmeza y apariencia) y disminuyendo las pérdidas poscosecha. Sin embargo, existen factores bióticos y abióticos que afectan la vida útil de dichos productos, por lo que los tratamientos poscosecha se basan en disminuir o eliminar dichos factores. Por si fuera poco, cada vez se busca emplear sustancias más naturales que ayuden a retardar y/o impedir alguna acción de cualquier factor biológico o ambiental que perjudique la vida útil de los productos. Tal es caso del uso de agentes antimicrobianos de origen natural (extractos vegetales), antioxidantes, recubrimientos naturales y/o comestibles, el uso de ozono y/o radiación UV, entre otros, los cuales son empleados intencionalmente en los productos alimenticios de origen vegetal con la finalidad de conservar el valor nutricional, así como, retardar su proceso de maduración y de oxidación. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es verificar otras alternativas de origen natural, para la conservación de productos hortofrutícolas, ya que la demanda de éstos va en aumento.

Por su parte, el ácido elágico es un polifenol que se encuentra principalmente en la cascara de granada, por lo que se considera que puede ser obtenido como un subproducto de desecho, el cual podría tener algunos usos y aplicaciones como: antioxidante, biocida y/o estimulante en frutos. Ya que, tanto un estudio reciente, como mediante el presente trabajo, se indica que el ácido elágico exhibe diferentes propiedades (antiviral, antimicrobiano, inhibidor de la enzima polifenoloxidasas y antioxidante), las cuales podrían ayudar a retardar el proceso de maduración y/o a aumentar la vida poscosecha de productos enteros y procesados.

Palabras clave: ácido elágico, antioxidante, fitorregulador, productos mínimamente procesados, tratamientos poscosecha.

ABSTRACT

The development of new treatment alternatives to avoid the decomposition of fruit and vegetable products is of great importance, since the main objective is to extend the shelf life of fruit and vegetables, preserving their essential attributes (flavour, firmness and appearance) and reducing postharvest losses. However, there are biotic and abiotic factors that affect the shelf life of these products, so postharvest treatments are based on reducing or eliminating these factors. As if this were not enough, every time we try to use more natural substances that help to delay and/or prevent any action of any biological or environmental factor that may damage the useful life of the products. Such is the case of the use of natural antimicrobial agents (plant extracts), antioxidants, natural and/or edible coatings, the use of ozone and/or UV radiation, among others, which are intentionally used in food products of plant origin with the aim of preserving their nutritional value, as well as slowing down their maturation and oxidation process. Therefore, the objective of this work is to verify other alternatives of natural origin, for the conservation of fruit and vegetable products, since the demand for these is increasing.

On the other hand, ellagic acid is a polyphenol that is mainly found in pomegranate peel, so it is considered that it can be obtained as a waste by-product, which could have some uses and applications such as: antioxidant, biocide and/or stimulant in fruits. Both in recent studies and through this work, it is indicated that ellagic acid exhibits different properties (antiviral, antimicrobial, polyphenol oxidase enzyme inhibitor and antioxidant), which may help to slow the ripening process and/or increase the postharvest life of whole and processed products.

Keywords: antioxidant, ellagic acid, minimally processed products, phyto regulator, postharvest treatments.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ABREVIATURAS	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
II.1. Principales Productos Hortofrutícolas y su Importancia a Nivel Mundial	3
II.2. Producción Nacional	4
II.3. Principales Problemas en Poscosecha.....	9
II.4. Tratamientos Aplicados en Poscosecha	11
II.4.1. Bajas Temperaturas	12
II.4.2. Preenfriamiento y Choque Térmico	12
II.4.3. Atmósferas Modificadas.....	14
II.4.4. Biocidas	15
II.4.4.1. Ultravioleta	16
II.4.4.2. Hipoclorito de Sodio/Calcio	17
II.4.4.3. Ozono.....	18
II.5. Productos Mínimamente Procesados o Alimentos de la Gama IV	19
II.5.1. Problemas en la Conservación de Productos Mínimamente Procesados o Alimentos de la Gama IV.....	21
II.5.2. Efectos del Estrés por Herida	23
II.5.2.1. Estrés Oxidativo.....	26
II.6. Antioxidantes	27
II.6.1. Ácido Cítrico	28
II.6.2. Ácido Ascórbico	29
II.6.3. Ácido Elágico	31

III. ESTADO DEL ARTE DEL USO DE TRATAMIENTOS POSCOSECHA EN PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS ENTEROS Y/O PROCESADOS	34
III.1. Tratamientos en Productos Enteros	34
III.2. Tratamientos en Productos Mínimamente Procesados	35
III.3. Principales Compuestos Antioxidantes Empleados en Productos Hortofrutícolas Enteros y/o Procesados.	38
IV. HIPÓTESIS	39
V. OBJETIVOS	42
V.1. Objetivo General	42
V.2. Objetivos Específicos.....	42
VI. JUSTIFICACIÓN.....	43
VII. ÁREAS DE OPORTUNIDAD	44
VII.1. Acciones que Puede Generar el Ácido Elágico en Productos Hortofrutícolas	44
VII.1.1. Efecto Antioxidante.....	44
VII.1.2. Efecto Biocida	46
VII.1.3. Efecto como Fitorregulador o Estimulante.....	48
VII.2. Otros Mecanismos de Acción del Ácido Elágico.....	49
VII.3. Posibles Resultados de la Aplicación del Ácido Elágico	50
VIII. CONCLUSIONES.....	52
IX. REFERENCIAS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productos hortofrutícolas a nivel mundial (tomada y modificada de SIAP, 2013).....	4
Figura 2. Exportaciones de hortalizas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA, 2016).....	5
Figura 3. Exportaciones de hortalizas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA, 2016).....	6
Figura 4. Principales productos exportados por México y su valor de exportación a nivel mundial durante 2016 (tomada y modificada de SAGARPA-SIAP, 2017).	7
Figura 5. Exportaciones de frutas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA-SIAP, 2017).	7
Figura 6. La percepción de la calidad por el consumidor (tomada y modificada de López-Camelo, 2003b).	9
Figura 7. Espectro electromagnético (tomada y modificada de Rivera-Pastrana <i>et al.</i> , 2007). 16	
Figura 8. Productos mínimamente procesados en fresco o de Gama IV, listos para su consumo (tomada y modificada de Aguiló-Aguayo <i>et al.</i> , 2017).	19
Figura 9. Daño mecánico: impacto en pera y compresión en tomate (tomada y modificada de López-Camelo, 2003a).	24
Figura 10. Ataque de <i>Botrytis cinérea</i> en tomate con daño mecánico (tomada y modificada de Gago-Mesejo, 2015).	25
Figura 11. Formación de ERO y estrés oxidativo (tomada de Ariza, 2012).	27
Figura 12. Estructura química del ácido cítrico (Muñoz-Villa <i>et al.</i> , 2014).	29
Figura 13. Estructura química del ácido ascórbico (Schaefer y Santos, 2014).	30
Figura 14. Estructura química del ácido elágico (tomada de Cruz-Antonio <i>et al.</i> , 2010).	32
Figura 15. Extracción de antioxidantes de frutos rojos (tomada y modificada de Hidalgo-Indra y Almajano, 2017).	39

Figura 16. Esquema del incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) los cuales inducen estrés oxidativo. Imagen propia.	45
Figura 17. Esquema propuesto del mecanismo antioxidante de la aplicación de ácido elágico contra el estrés oxidativo. Imagen propia.....	46
Figura 18. Efecto de inhibición antifungico <i>in vitro</i> de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . A) Testigo, B) halo de inhibición con ácido elágico; antibacterial <i>in vitro</i> de <i>Staphylococcus aureus</i> , C) testigo y D) halo de inhibición con ácido elágico. Imagen generada.....	47
Figura 19. Esquema propuesto de los efectos mediados por ácido elágico. Imagen propia.	48
Figura 20. Propuesta del efecto retardador de la maduración mediado por ácido elágico. Imagen generada.....	49
Figura 21. Acción del ácido elágico sobre la enzima adolasa y sus beneficios. Imagen propia.	50
Figura 22. Aplicación del ácido elágico (imagen propia).	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales hortalizas de exportación por volumen (SAGARPA, 2016).	5
Tabla 2. Principales frutas de exportación por volumen (SAGARPA, 2016).....	6
Tabla 3. Principales productos hortofrutícolas exportados por México en 2017 (SAGARPA, 2017).....	8
Tabla 4. Especies normalmente preenfriadas mediante aire forzado (Oliva-Aguilar, 2015). ...	13
Tabla 5. Especies normalmente preenfriadas con agua (Oliva-Aguilar, 2015).....	14

ABREVIATURAS

AA	Ácido ascorbico
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ERO	Especies reactivas de oxígeno
<i>ha</i>	Hectáreas
M€	Millones de euros
mmd	Millones de dolares
MMt	Millones de toneladas
PAL	Fenilalanina amonioliasa
PMP	Productos mínimamente procesados
POX	Peroxidasa
PP	Polipropileno
PPO	Polifenol oxisada
<i>t</i>	Toneladas
UV	Ultravioleta

I. INTRODUCCIÓN

A fin de aprovechar mejor los recursos, es necesario conservar los alimentos por más tiempo. Por lo que en el área agrícola es muy importante evitar la pérdida de los productos pre- y poscosecha; ésta última ocurre debido al mal manejo de productos hortofrutícolas y a la falta de inocuidad de los alimentos, generando pérdidas de cerca del 50 % en países de bajo desarrollo (Pérez-Gago *et al.*, 2008). Dentro de la demanda de alimentos de mayor incremento en los últimos años se encuentran los productos hortofrutícolas frescos y los productos mínimamente procesados (PMP). Esto se debe principalmente al cambio de hábitos de las personas, las cuales se preocupan más por ingerir alimentos más saludables, con mayor aporte de nutrimentos y menos procesados (Mchugh y Senesi, 2000). Sin embargo, tanto en los productos frescos como en PMP se producen modificaciones que alteran las características propias de los productos poscosecha debido a la “sobrevivencia” del fruto/hortaliza al ser separado de la planta madre, a la propia senescencia y a los daños mecánicos que sufren durante su procesamiento (Jongen, 2002). Esto trae como consecuencia un incremento en la respiración, la producción de etileno y la degradación de la membrana lipídica; provocando pérdida de la firmeza, lixiviación, acumulación de metabolitos fermentativos y oscurecimiento oxidativo (Gorny y Kader, 2005).

En décadas anteriores, para evitar la oxidación de frutas y hortalizas eran empleados compuestos, tales como: sulfitos (Fazio y Warner, 1990). Estos y otros conservadores demostraron efectos negativos en la salud humana generando alergias, dermatitis y problemas respiratorios como el asma (Vally *et al.*, 2009). Por lo que, uno de los principales retos de la conservación de los productos poscosecha sigue siendo el emplear compuestos de mínima o nula toxicidad, biocompatibles y más naturales (Fernández-Valdés *et al.*, 2015). Así, se ha incrementado la búsqueda de tratamientos y compuestos que, además, den valor agregado a los productos. Algunos de los tratamientos físicos con mayor aplicación durante los últimos años incluyen radiación ultravioleta (UV), ozono, luz pulsada, ultrasonidos, plasma frío, entre otros; cuya acción es disminuir el contenido microbiológico e incrementar los componentes nutraceuticos de los alimentos de origen vegetal (Ma *et al.*, 2017). Mientras que para los compuestos naturales resalta el uso de ácidos orgánicos (ácido cítrico y ascórbico),

aminoácidos (cisteína), soluciones con calcio, propóleos y, recientemente, antioxidantes (ácido salicílico y otros fenoles) (Artés *et al.*, 2007; Toivonen y Brummell, 2008; Mogoşanu *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2017; Lata *et al.*, 2018). El empleo de compuestos antioxidantes se debe a que los procesos de descomposición y rancidez de los alimentos incluyen reacciones de estrés oxidativo, como se mencionó anteriormente, por lo que el uso de compuestos fenólicos y su sinergia son los más representativos de los compuestos antioxidantes empleados para la preservación de los alimentos (Pokorny, 1999).

Por su parte, el ácido elágico es un compuesto de naturaleza fenólica (polifenol) perteneciente a la familia de los elagitaninos, el cual tiende a formar complejos con proteínas, alcaloides y polisacáridos; lo que lo hace un compuesto con diversas propiedades (Martillanes *et al.*, 2017). Dentro de las propiedades más interesantes que se han logrado determinar del ácido elágico son: antimicrobianas, antioxidantes, antitumorales/anticancerígenas, protectoras y regeneradoras de células animales, antiepiléptico, por mencionar algunas (Dhingra y Jangra, 2014; Galano *et al.*, 2014). El ácido elágico se encuentra en tejidos vegetales, principalmente en frutos, tales como: fresas, granada, arándanos, moras, nueces, etc. (Álvarez-Suarez *et al.*, 2014; Muthukumarán *et al.*, 2017), pero también se encuentra en el resto de los tejidos de las plantas. Por lo que, recientemente el ácido elágico fue catalogado como la nueva molécula “*plus*” de jugos (de frutas y hortalizas) y suplementos alimenticios; siendo de los componentes nutraceuticos más importantes a cuantificar para determinar una mejor calidad nutrimental de los productos vegetales (Martillanes *et al.*, 2017). Por sus propiedades es altamente empleado en diversos productos farmacéuticos, entre ellos: tratamientos para daños celulares, regeneración de la piel y tratamientos de belleza (Ahmed *et al.*, 2016). Es por ello que, este trabajo contempla investigar los posibles efectos de la aplicación del ácido elágico tanto en productos hortofrutícolas enteros como en PMP, para mejorar la apariencia, la calidad y la vida útil, así como, para dar un aporte adicional y valor agregado con compuestos nutraceuticos que pudieran ayudar a mejorar la salud humana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. Principales Productos Hortofrutícolas y su Importancia a Nivel Mundial

Los productos hortofrutícolas son muy importantes en la alimentación humana, gracias a que son una fuente importante de vitaminas, minerales, antioxidantes, proteínas, oligoelementos y demás nutrimentos que necesita nuestro organismo (Illescas, 2016). Sin embargo, la necesidad de disposición se ha ido incrementando debido al propio aumento de la población (Romojaro *et al.*, 2006). Este tipo de productos, por su naturaleza, continúan manteniendo su metabolismo (respiración, crecimiento, transpiración, maduración y senescencia), por tal motivo en ocasiones se aplican técnicas que frenen el metabolismo poscosecha, los cuales para su comercialización deben cumplir con ciertas características de calidad (exentos de plaguicidas, plagas, materias extrañas y textura, color, madurez, aroma y sabor adecuado) (López-Camelo, 2003a; Artés, 2006).

Los productos hortofrutícolas con mayor demanda a nivel mundial son: el chile, el ejote, la cebolla, la calabaza, el esparrago, el tomate, el brócoli y la coliflor. Sin dejar de mencionar a productos como los arándanos, las frambuesas, las moras, las fresas, las alcachofas, las mandarinas y las berenjenas (Bustos-Guajardo, 2017). Dentro de los principales productos hortofrutícolas de competencia mundial podemos mencionar: al aguacate, debido a sus beneficios para la salud; el jitomate, el cual es una de las hortalizas con mucha demanda económica; así como, el pimiento, el melón y la calabacita (Fretes y Martínez, 2011; Figura 1). Además, otros productos de gran interés mundial son: el pepino, la sandía, el limón, el garbanzo, la uva, la papaya, las papas, la piña, la pera, la manzana, el mango, el plátano y la naranja (SIAP, 2013).



Figura 1. Principales productos hortofrutícolas a nivel mundial (tomada y modificada de SIAP, 2013).

El comportamiento de la producción de frutas y hortalizas en América Latina, tiene una estimación aproximada de 1,244 millones de toneladas (MMt) desde el 2002 hasta la fecha. De esta, 772.7 MMt está representado por las hortalizas, teniendo una tasa de crecimiento del 4.27 al 5 % en los últimos 10 años. Mientras que, las frutas, representan 471.3 MMt, con un crecimiento del 2.38 % en los últimos 10 años. Por lo que, América Latina ha participado con un 4.1 % de hortalizas y un 21 % de las frutas a nivel mundial (Piñeiro *et al.*, 2004; Macías-Macías, 2010).

II.2. Producción Nacional

México juega un papel muy importante a nivel mundial, ya que cuenta con una ventaja de factores, ubicación geográfica y productividad de cultivos. EUA es el principal destinatario de las exportaciones hortícolas mexicanas, de productos tanto frescos como congelados. Los Estados de Sinaloa, Sonora, Michoacán, Guanajuato y Baja California Norte, son los principales exportadores, ya que cuentan con alta tecnología para la producción (Mestiza-Rojas y Escalante, 2003).

La producción de frutas y hortalizas también son de gran importancia para nuestro país, ya que responde a los requerimientos de la apertura económica con el resto del mundo, siendo un importante eje en la política comercial nacional. Desde los años ochenta, se han tomado acuerdos importantes, tales como: el Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATTT) con la Organización Mundial de Comercio (OMC), y el acuerdo del Tratado de

Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) con EUA y Canadá (Cruz-Delgado *et al.*, 2013). Sobre éste último, actualmente se encuentra en vía de nuevos acuerdos.

Durante el primer trimestre del 2016, México exportó un 53 % de productos hortofrutícolas (hortalizas 28 % y frutas 25 %). En el caso particular de hortalizas, el tomate generó ganancias de \$1,194 millones de dólares (mmd), el pimiento \$720,583 mmd, el pepino \$314 mmd y los espárragos \$236 mmd (Figura 2). Siendo el tomate, los espárragos, el pepino y las calabazas, los productos hortícolas con mayor incremento en su exportación (SAGARPA, 2016; Tabla 1).

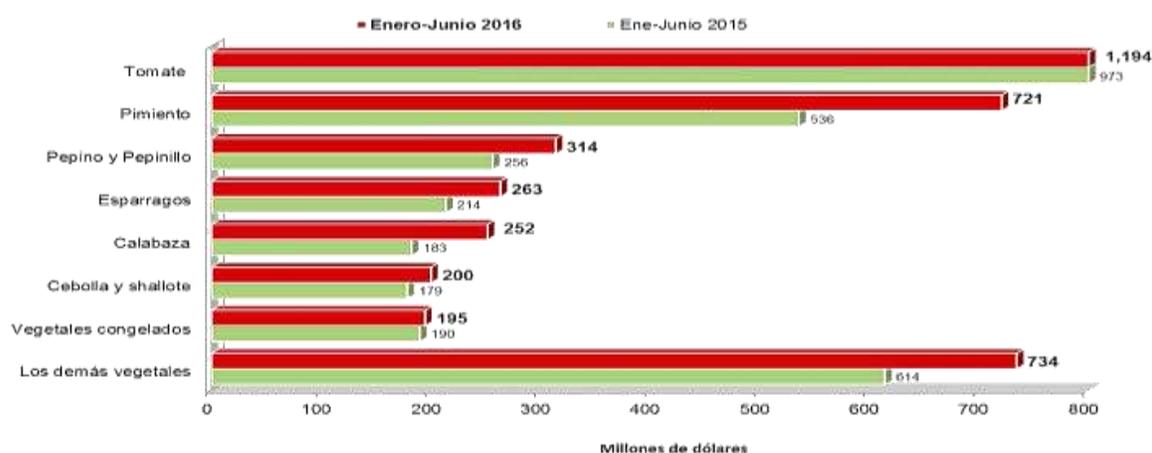


Figura 2. Exportaciones de hortalizas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA, 2016).

Tabla 1. Principales hortalizas de exportación por volumen (SAGARPA, 2016).

Principales Productos de Exportación	Enero-Junio 2015	Enero-Junio 2016	Cambio % 2015/2016
Tomate	850,370	992,214 ↑	17%
Pimiento	440,691	502,900 ↑	14%
Pepino y Pepinillo	390,917	416,740 ↑	7%
Espárragos	75,296	93,815 ↑	25%
Calabaza	212,435	260,405 ↑	23%
Cebolla y shallote	195,760	226,358 ↑	16%
Vegetales congelados	163,382	161,054 ↓	-1%

En el caso de los frutos, durante el año 2016, el aguacate produjo ganancias de \$725 mmd, la uva \$395 mmd, seguidos de productos como las “berries” (moras, zarzamoras y frambuesas) con \$529 mmd y las fresas con un valor de \$385 mmd (Figura 3). Los productos con mayor incremento en su exportación de México hacia EUA durante el año 2016 fueron las fresas, los pimientos, los tomates, las uvas y las berries (SAGARPA, 2016; Tabla 2).

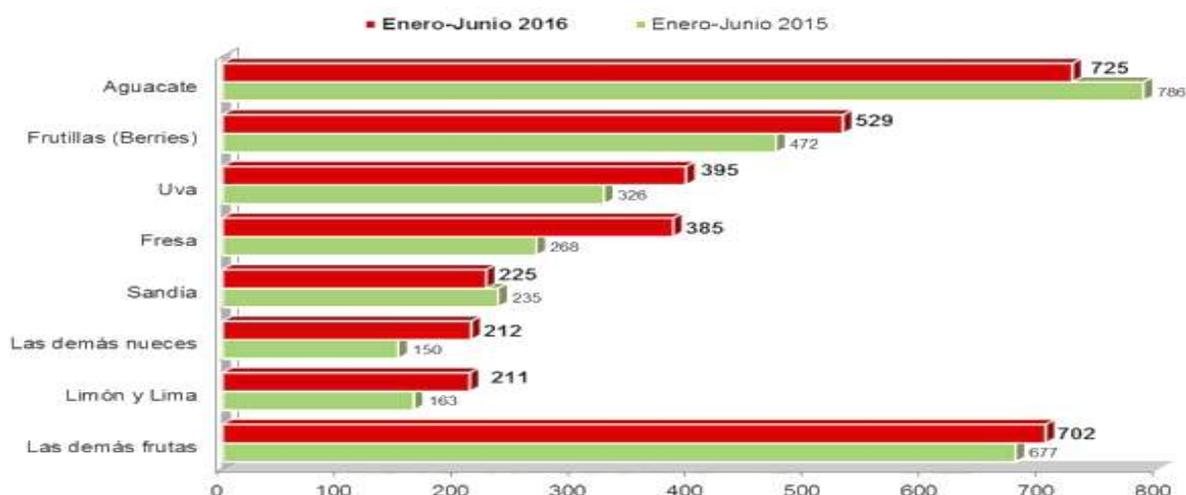


Figura 3. Exportaciones de hortalizas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA, 2016).

Tabla 2. Principales frutas de exportación por volumen (SAGARPA, 2016).

Principales Productos de Exportación	Enero-Junio 2015	Enero-Junio 2016	Cambio % 2015/2016
Aguacate	377,594	427,458 ↑	13%
Frutillas (Berries)	79,506	81,979 ↑	3%
Uva	145,173	141,945 ↓	-2%
Fresa	114,169	133,081 ↑	17%
Sandía	498,093	494,493 ↓	-1%
Las demás nueces	19,741	24,488 ↑	24%
Limón y Lima	237,429	258,018 ↑	9%

Con estos productos, México se mantuvo dentro de los primeros cinco países productores y exportadores de frutas y hortalizas (SAGARPA-SIAP, 2017; Figura 4).

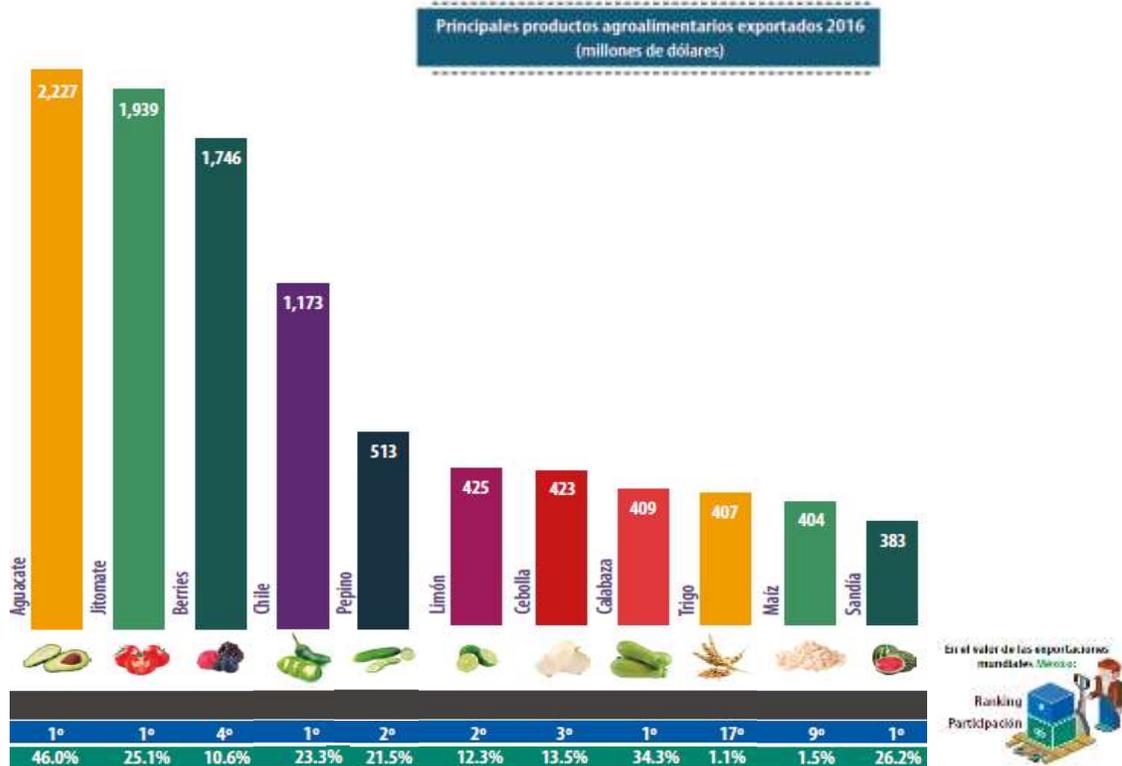


Figura 4. Principales productos exportados por México y su valor de exportación a nivel mundial durante 2016 (tomada y modificada de SAGARPA-SIAP, 2017).

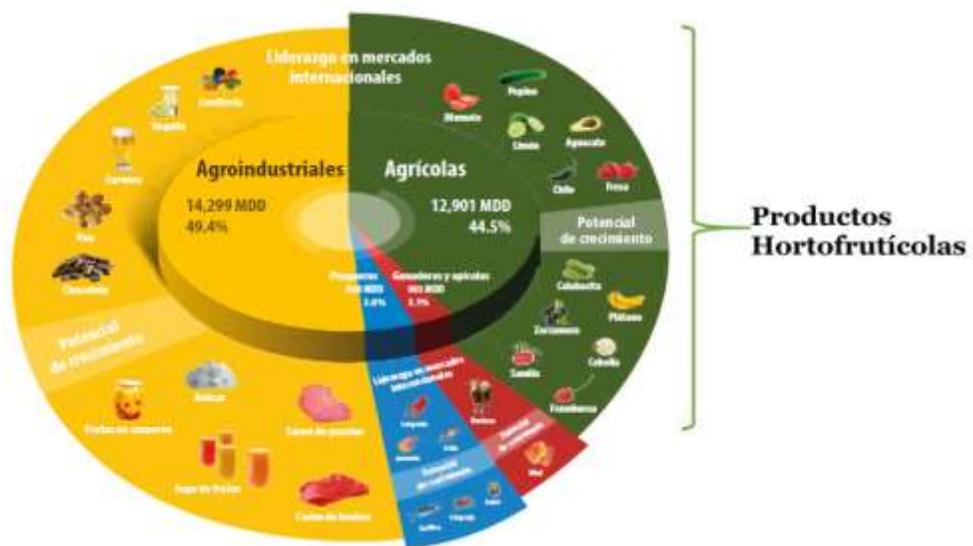


Figura 5. Exportaciones de frutas de México a Estados Unidos de América durante enero-junio de 2015 a enero-junio de 2016, representado en millones de dólares (SAGARPA-SIAP, 2017).

Gracias al incremento en el sector exportador de productos hortofrutícolas (Figura 5), México figura entre las naciones que más productos exportan, generando en el año 2016 un total de \$12,901 mmd (45 % respecto a otras exportaciones agroalimentarias), y en el año 2017, un total de 3,023 mmd (SAGARPA-SIAP, 2017). Siendo los principales mercados internacionales Canadá, EUA, Australia, China, Argelia, Venezuela, Colombia, Chile, Perú, Sudáfrica, Cuba, Guatemala, Alemania, España, Reino Unido, Italia y Japón (SAGARPA-SIAP, 2017).

En 2017, se mantuvieron en los primeros lugares como principales productos hortofrutícolas el aguacate, el jitomate, el chile, la fresa, el melón, la sandía, la papaya, el pepino, la frambuesa, las almendras, las nueces, los pistaches, el maíz, los coles, las uvas, la cebolla, las guayabas, el café y el plátano (Tabla 3). Sin dejar de lado a productos como el ejote, los espárragos, la zanahoria, la calabacita, el brócoli, el limón, la naranja, las *berries*, el mango y la toronja (SAGARPA, 2017).

Tabla 3. Principales productos hortofrutícolas exportados por México en 2017 (SAGARPA, 2017).

Aguacate	Jitomate	Pimiento	Fresas	Melón, sandía y papaya
				
Pepino	Frambuesas	Almendras, nueces y pistaches	Maíz	Coles
				
Uvas y pasas	Cebolla	Guayaba, mangos y mangostanes	Café sin tostar	Plátano
				

II.3. Principales Problemas en Poscosecha

La importancia de un apropiado manejo poscosecha de productos hortofrutícolas para estimular la compraventa, se da por tres factores importantes: gusto o sabor, madurez y apariencia (Figura 6). Esta última es la más importante, ya que es la primera en la cual se basa el consumidor para adquirir un producto, considerando si se ve bien, es comestible y con buen sabor. Acto seguido, el consumidor evalúa la textura y la ausencia de daño, percibe el olor y, finalmente, decide la adquisición o no del producto (López-Camelo, 2003b).

La disminución en la calidad incrementa las pérdidas de los productos poscosecha en mayor cantidad. Se estima una magnitud de mermas de productos poscosecha en fresco de entre 5 a 25 % en países desarrollados y entre un 20 a 50 % en países en desarrollo; los cuales dependen del tipo de producto, variedad y condiciones de manejo. Por lo tanto, los productores y distribuidores deben entender los factores biológicos (internos) y ambientales (externos) involucrados en el deterioro de dichos productos (Kader, 2011).



Figura 6. La percepción de la calidad por el consumidor (tomada y modificada de López-Camelo, 2003b).

Entre los factores biológicos que generan pérdidas poscosecha, tenemos al proceso de respiración. Mediante este proceso los materiales orgánicos almacenados (proteínas, lípidos, carbohidratos, etc.) son desdoblados en productos simples con liberación de energía, por lo que la pérdida de reservas alimenticias almacenadas en el producto significa la aceleración de la senescencia. La velocidad de deterioro de frutas, hortalizas y flores cortadas generalmente es proporcional a su velocidad de respiración (Reid, 2011). Por su parte, la transpiración y la pérdida de agua en los productos poscosecha, pueden provocar pérdidas cuantitativas directas (pérdida de peso en el producto) y pérdidas de la calidad en cuanto a apariencia, textura y contenido nutrimental. Además, el deterioro patológico es uno de los síntomas más comunes inducidos por la actividad de hongos y bacterias, lo cual pone en riesgo la calidad e inocuidad de los productos (Thompson *et al.*, 2011).

Otro factor que modifica la vida poscosecha, es el etileno (C₂H₄). Este fitorregulador (gaseoso) es un producto natural del metabolismo de las plantas, que es producido por todos los tejidos de las plantas superiores y por algunos microorganismos (Thompson *et al.*, 2011). El etileno en las plantas regula procesos de crecimiento, desarrollo y, principalmente, senescencia. Es fisiológicamente activo, generalmente en estado de madurez de los tejidos vegetales. Durante la cosecha, la velocidad de producción de etileno incrementa de forma autocatalítica provocando la aceleración de la senescencia. Para reducir su velocidad de producción se emplean bajas temperaturas, niveles reducidos de oxígeno (<8%) y elevados de dióxido de carbono (>2%) alrededor del producto (Kader, 2011).

Entre los factores ambientales que aumentan las pérdidas poscosecha tenemos a la temperatura, que es el más importante a controlar, ya que tiene influencia directa en la velocidad de deterioro y controla procesos fisiológicos de los productos en fresco, como son: respiración, transpiración y producción de etileno. Otro factor de importancia es la humedad relativa, ya que la regulación de la misma reduce la transpiración de los productos hortofrutícolas, lo que ayuda a mantener la calidad al evitar su marchitamiento o arrugamiento (Thompson y Gordon-Mitchell, 2011).

Por si fuera poco, también los diferentes tipos de daño físico o mecánico son causantes del deterioro de dichos productos poscosecha; lo que provoca oscurecimiento de los tejidos dañados, la ruptura de membranas y la exposición de los compuestos fenólicos a la acción de enzimas como la polifenol oxidasa (PPO; Kader, 2011). Estos daños mecánicos también pueden incrementar la producción de etileno (C_2H_4), generar deterioros como magulladuras/heridas sobre la superficie de los productos, infecciones por microorganismos, aceleración en la maduración y una vida de anaquel más corta. Por consecuencia, es necesario un manejo y empaque cuidadoso de los productos para que queden ajustados para reducir su movimiento (Thompson y Gordon-Mitchell, 2011), además de otros tratamientos que permitan mantener por más tiempo los productos poscosecha.

II.4. Tratamientos Aplicados en Poscosecha

Existe una tendencia mundial en el consumo de frutas y hortalizas, motivo por el cual, existe una creciente preocupación por una dieta más equilibrada, con menor proporción de carbohidratos, grasas y con una mayor participación de fibra, vitaminas y minerales (Sauceda, 2011). Es por ello que, en la actualidad, ha surgido la necesidad de buscar nuevas alternativas de conservación de frutas y hortalizas, ya que la demanda de productos en fresco y mínimamente procesados está en aumento.

Las frutas y hortalizas son muy susceptibles a la descomposición por microorganismos patógenos, que es la mayor preocupación de productos frescos y mínimamente procesados, debido a la contaminación que existe durante el almacenamiento, la preparación e incremento de nutrimentos exudados sobre la superficie cortada de los productos. Por lo tanto, es esencial implementar una apropiada operación de sanitización para controlar el crecimiento microbiano, y así, garantizar productos seguros y de gran calidad (Cagri *et al.*, 2004).

La tendencia es consumir productos sanos, frescos y lo más parecido a su forma original, debido a que se ha asociado el consumo de conservadores químicos (benzoatos, nitritos y nitratos, entre otros) a problemas de salud. Por lo que, la tendencia es utilizar productos lo más naturales posible y que sean biocompatibles. Ante esto, según Parra y Fischer (2013) se ha demostrado que el tratamiento más efectivo para prolongar la vida de

anaquel poscosecha de productos hortofrutícolas, sin causar efectos en la salud, es el almacenamiento a baja temperatura.

II.4.1. Bajas Temperaturas

La temperatura es la característica ambiental poscosecha de gran importancia en el almacenamiento de frutas y hortalizas, porque los productos de origen vegetal se deterioran rápidamente después de ser cosechados. Este deterioro, es para los productores, una función directa de la misma temperatura (Núñez-López *et al.*, 2012). El uso de frío y de la humedad relativa durante el transporte y el almacenamiento, constituyen una herramienta fundamental que disminuye el metabolismo y la deshidratación de los productos. Además, es usado para remover el calor de campo rápidamente como sea posible, puesto que es esencial para disminuir la tasa de deterioro de productos altamente perecederos, y que está determinado por el tipo de producto y la relación de beneficio económico (Thompson *et al.*, 2011). Pero, en casos extremos, las bajas temperaturas pueden generar una fisiopatía conocida como daño por frío (Thompson y Gordon-Mitchell, 2011). Por lo que se han empleado algunas técnicas adicionales para conservar la calidad del producto en poscosecha, dentro de los que podemos mencionar: el preenfriamiento y/o choque térmico, el uso de emulsiones y recubrimientos, el almacenamiento en atmosferas controladas o modificadas, los agentes antimicrobianos y biocidas, entre otros.

II.4.2. Preenfriamiento y Choque Térmico

El proceso de preenfriamiento es un proceso que garantiza la calidad e inocuidad de los alimentos, que describe el enfriamiento de los productos previos al transporte, al almacenamiento o al procesamiento, para evitar la pérdida de calidad del producto y, por lo tanto, alarga su estado de conservación prolongando la vida de anaquel (Cervera-Gasco *et al.*, 2015). Por lo que, resulta una tarea difícil el mantenimiento de frutas y hortalizas en buen estado, desde el campo de cosecha hasta el consumidor. La realidad es que solo se puede mantener la calidad con la que ingresa los productos hortofrutícolas al almacén, no se puede mejorar o incrementar (Oliva-Aguilar, 2015).

El preenfriado es un proceso beneficioso, que requiere de instalaciones especiales, aunque complementaria del almacenamiento refrigerado. Los principales métodos de preenfriado son: 1) aire frío (aire forzado, cámara) con sistema de preenfriado más versátil, utilizado en todas las especies preferentemente en tomates y pimientos (Tabla 4); 2) por agua fría (hidroenfriado), este método tiene mayor capacidad para extraer calor, por lo que es un método más rápido. El tomate, los espárragos y otras hortalizas, son hidroenfriados comercialmente (Tabla 5); 3) por contacto con hielo (hielo molido, agua-hielo y hielo seco): y 4) por la evaporación del agua superficial (vacío) (Oliva-Aguilar, 2015).

Tabla 4. Especies normalmente preenfriadas mediante aire forzado (Oliva-Aguilar, 2015).

Ananá	Cherimoya	Maracuyá	Poroto lima
Anona	Feijoa	Melones	Poroto Chaucha
Arveja china	Frutilla	Membrillo	Repollo Bruselas
Atemoya	Fruto árbol pan	Naranja	Riubarbo
Banana	Granada	Nopales	Sapote
Berenjena	Guayaba	Ñame	Tomate
Berries	Higo	Okra	Tomate árbol
Caimito	Hongos	Palta	Tomate physalis
Calabacita verano	Jenjibre	Papaya	Tangerina
Caqui	Kiwi	Pepino	Tuna
Carambola	Kumquat	Pimiento bell	Uva
Cereza Barbados	Litchi	Plátano	Yuca
Coco	Mango	Pepino dulce	Zapallo
Chayote	Mangostán	Pomelo	

Durante el almacenamiento y transporte de frutas y hortalizas, el preenfriamiento constituye una herramienta importante, dado que rápidamente como sea posible ayuda disminuir el deterioro de productos altamente perecederos (Núñez-López *et al.*, 2012). López-Mata *et al.*, (2013) mencionan que los tratamientos térmicos poscosecha surgieron como posibles alternativas no químicas de desinfección, pero se observó también que confieren protección durante el almacenamiento en frío y su posterior maduración a temperatura ambiente.

Tabla 5. Especies normalmente preenfriadas con agua (Oliva-Aguilar, 2015).

Acelga	Calabacita verano	Kiwi	Rabanito
Alcaucil	Cebolla verdeo	Maíz dulce	Rábano
Apio	Chirivía	Melón cantalupo	Remolacha
Apio raíz	Coliflor	Naranja	Repollo Bruselas
Arveja china	Colrábano	Papa temprana	Repollo chino
Arveja verde	Endivia	Pepino	Riubarbo
Berenjena	Escarola	Perejil	Salsifí
Berro	Espárrago	Puerro	Topinambur
Brócoli	Espinaca	Poroto lima	Yuka
Caimito	Granada	Poroto chaucha	Zanahoria

II.4.3. Atmosferas Modificadas

El almacenamiento en atmósferas modificadas es una de las tecnologías aplicadas para la comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. La conservación de los productos en fresco puede extenderse mediante su envasado donde permita controlar la disponibilidad de oxígeno (O₂) y del dióxido de carbono (CO₂). Una vez embalado el producto, la atmosfera se desarrolla como efecto de la propia fisiología del fruto y de las características del material de envase hasta alcanzar un estado de equilibrio dinámico o estado estacionario; en donde la concentración de O₂ disminuye y la de CO₂ aumenta (Tamayo *et al.*, 2012).

Los recubrimientos y/o atmosferas modificadas presentan grandes ventajas para el manejo de productos hortofrutícolas, las cuales incluyen: 1) prevenir y controlar algunos desordenes fisiológicos (daño por frio, escaldado, etc.); 2) retardan la maduración y senescencia para prolongar la vida de anaquel en poscosecha; 3) controlan las infestaciones por insectos; 4) controlar y prevenir enfermedades ocasionadas por microorganismos; y 5) mantienen la calidad nutracéutica de dichos productos (Coop-Gamas *et al.*, 2011).

Los recubrimientos comestibles son utilizados desde hace tiempo, ya que mantienen y extienden la vida útil de algunos productos en los cuales se ha logrado aplicar de forma comercial (manzanas, cítricos y pepinos). Las frutas y hortalizas son sumergidas o asperjadas,

formando una membrana semipermeable en la superficie del producto, reduciendo su respiración, pérdida de humedad, entre otras funciones (Eissa, 2007). Algunos recubrimientos a base de lípidos hechos de monoglicéridos acetilados, ceras y surfactantes, se han utilizados exitosamente en frutas y hortalizas enteras. En su mayoría, pueden ser utilizados en los alimentos que responden a retos asociados con estabilidad de la calidad, seguridad comercial, valor nutrimental y costos de producción (Falguera *et al.*, 2011).

II.4.4. Biocidas

Durante muchos años han tratado de conseguir tecnologías adecuadas en la aplicación de biocidas para la producción, el desarrollo tecnológico sostenible y la conservación de los alimentos. Los biocidas son una “sustancia química sintética, natural, de origen biológico o físico que está destinado a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control sobre cualquier organismo considerado nocivo para el hombre” (Borrego-Alonso, 2015). Éstos desempeñan un papel esencial y eficaz para limitar la propagación de infecciones y enfermedades. En la industria alimentaria, la escala de producción de alimentos aliada a los consumidores demandadas de alimentos nutritivos y mínimamente procesados saludables, carentes de aditivos y otros agentes antimicrobianos, ha tenido un importante impacto en el volumen de biocidas usados en este entorno (Condell *et al.*, 2012). La industria de alimentos ha aumentado la utilización de biocidas (productos químicos) para controlar la ecología microbiana. Su aplicación es importante para prevenir pérdidas en procesos de alimentos, por lo que tienen efecto sobre los alimentos en sí. Por ello, es de suma importancia el tipo de biocidas, efectos, potencia biológica y riesgos para la salud humana y del ecosistema (Ozonas, 2010).

En cuanto a agentes antimicrobianos de origen natural como sustitutos de los tradicionalmente utilizados, se ha observado que algunos compuestos fenólicos presentes en extractos o aceites esenciales en hierbas y plantas afectan la actividad antimicrobiana. Por lo que, así mismo resulta de gran interés el uso de antimicrobianos provenientes de plantas, conocidos como “biocidas vegetales” que son utilizados para controlar el biodeterioro por microorganismos (hongos y bacterias) e insectos (Borrego-Alonso, 2015). Además, actualmente algunos de los antimicrobianos naturales más utilizados, están siendo extraídos

generalmente de plantas y hierbas, los cuales contiene altas concentraciones de fenoles. Otros como: el orégano, la vainilla, el ajo, la cebolla, la canela, especias, etc., se emplean para la conservación de alimentos (Sauceda, 2011). Por lo que, actualmente se está buscando otras alternativas, las cuales puedan ser utilizadas como nuevos agentes antimicrobianos y, hecho de ello, es que se están utilizando compuestos de origen natural (Sauceda, 2011). Cabe señalar que, se siguen estudiando nuevas plantas, como el estudio reciente realizado con extractos de semilla de toronja, donde se determinó a nivel de laboratorio la efectividad de su acción como bactericida y fungicida (Borrego-Alonso, 2015).

Por muchos años, los conservadores (sintetizados químicamente) han sido altamente utilizados en la industria de alimentos, los cuales se ha demostrado que causan daños en la salud de los consumidores. Por lo cual, surge la necesidad de buscar otras opciones más naturales, tales como: el uso de antioxidantes, recubrimientos naturales y comestibles, el uso de biocidas naturales (extractos vegetales), ozono, radiación UV, entre otros (Ruelas-Chacón *et al.*, 2013).

II.4.4.1. Ultravioleta

La radiación UV es no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400 nm. Rivera-Pastrana *et al.* (2007) mencionan que se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm; Figura 7).

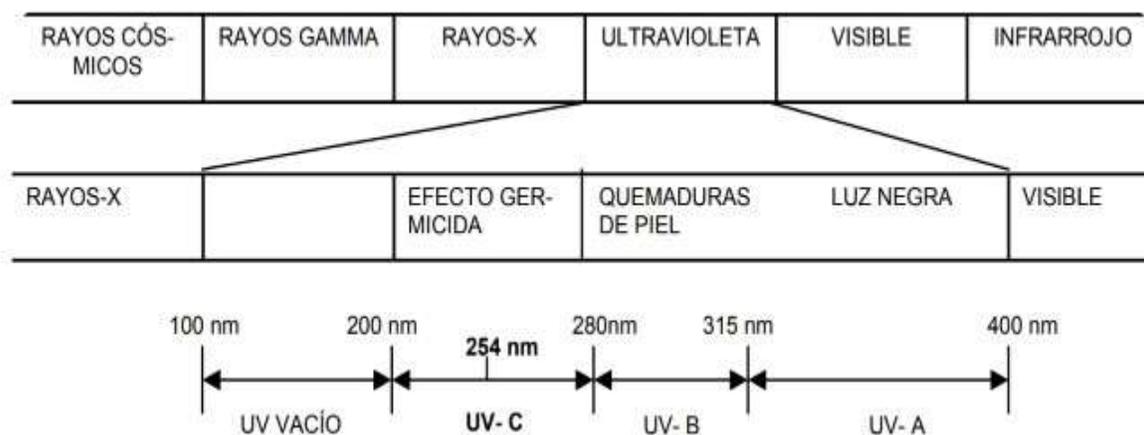


Figura 7. Espectro electromagnético (tomada y modificada de Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

La radiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 254 nm y se ha comprobado que es en esta longitud de onda donde se presenta su mayor acción germicida. En la actualidad, ha aumentado el interés de investigadores que buscan soluciones urgentes para evitar la descomposición de alimentos y, como una solución, han comenzado a utilizar la UV-C para desinfectar la superficie de productos hortofrutícolas poscosecha, reduciendo su descomposición y, a su vez, alargando su vida de anaquel (Lara-Olviedo *et al.*, 2018).

El uso de UV-C en productos hortofrutícolas y mínimamente procesados tiene tres propósitos: 1) reducir el conteo inicial de células viables tanto de bacterias, mohos y levaduras que se encuentran sobre la superficie del alimento, 2) influenciar la síntesis de fenilpropanoides y expresión de proteínas como mecanismos de defensa y 3) conservar la calidad organoléptica al ralentizar la actividad enzimática ligada con el ablandamiento de tejidos, daño por frío y el oscurecimiento enzimático (Quintero-Cerón *et al.*, 2013). Otros beneficios adicionales, es que incrementa el contenido de compuestos antioxidantes (compuestos fenólicos), ya que la UV-C estimula principalmente a la enzima fenilalanina amonioliase (PAL), la cual se encarga de sintetizar compuestos fenólicos (Quintero-Cerón *et al.*, 2013).

II.4.4.2. Hipoclorito de Sodio/Calcio

Dentro de los métodos químicos para desinfectar los productos hortofrutícolas poscosecha, para evitar el deterioro por microorganismos patogénicos tenemos, el uso de desinfectantes que se hacen en solución acuosa por inmersión o aspersión (Garmendia y Vero, 2006), dentro de los cuales podemos mencionar al hipoclorito de sodio y de calcio.

El hipoclorito de sodio (NaOCl), es un compuesto químico desarrollado por el francés Berthollet (1787) para blanquear telas. Después, Luis Pasteur, a fines del siglo XIX, comprobó su poder de desinfección, extendiendo su uso contra gérmenes y bacterias (Balandrano-Pinal, 2007). Utilizado frecuentemente para la purificación de superficies, eliminación de olores, blanqueamiento y desinfección del agua por su gran potencial bactericida (letal para varios microorganismos, virus y bacterias vegetativas), pero tiene la desventaja de ser altamente

corrosivo, dificultad en su manejo, se evapora en contacto con la luz, aire y altas temperaturas, y tiene un periodo corto de conservación (González-Quintero, 2016).

Por otro lado, el hipoclorito de calcio $[Ca(ClO)_2]$ es un compuesto químico eficaz para el tratamiento de agua contra bacterias, hongos, moho y microorganismos que son potencialmente peligrosos para la salud de los seres humanos (González-Quintero, 2016). Además, tiene amplios usos como: sanitización de frutas y verduras, restaurantes, hospitales, clínicas, industria textil, contenedores de comida, colegios, agua de piscinas, etc. Al igual que el hipoclorito de sodio, es utilizado a gran escala en: agricultura, industria química, pinturas, industria de alimentos, farmacéutica, entre otros (González-Quintero, 2016).

II.4.4.3. Ozono

El ozono es un gas, en altas concentraciones es bastante tóxico y con olor fuerte, el cual indica su presencia en la atmósfera (aire ambiental), especialmente se percibe después de tormentas eléctricas (Seminario *et al.*, 2014). Se descubrió en 1840 por Christian Schönbein, químico alemán quien acuñó el término ozono del griego “ozein”, que significa “oler” (Seminario *et al.*, 2014). Posee un elevado potencial de oxidación, oxida metales pesados (magnesio, hierro y otros), su poder oxidante reduce la carga microbiana y compuestos tóxicos, su uso en productos hortofrutícolas garantiza calidad y seguridad microbiológica mediante el uso de agua ozonificada con el objetivo de prolongar la vida útil de los productos (Vicente y Tallaa, 2010).

El uso de soluciones higienizantes, ha desatado una gran polémica por los riesgos graves que pueden presentar en la salud humana, que pueden ser tóxicos y cancerígenos; como es el caso del uso de hipoclorito de sodio y calcio. Por ello, el ozono es desinfectante de opción viable, por su alto poder oxidativo y autodegradarse, sin generar productos de reacción (Seminario *et al.*, 2010). Uno de los principales objetivos de ser utilizado en procesadoras de frutas y hortalizas, es evitar la contaminación y de protegerlos contra agentes fisicoquímicos, ya que es un agente antimicrobiano de amplio espectro contra (bacterias, hongos, protozoos y virus), por lo que tiene más aceptación como alternativa eficaz (Gil *et al.*, 2003).

II.5. Productos Mínimamente Procesados o Alimentos de la Gama IV

Actualmente, la población mundial busca mantener mejores condiciones de salud con la finalidad de prolongar la vida; por lo que se ha buscado consumir alimentos nutritivos y saludables. Con esto las empresas agroindustriales han tenido la iniciativa de preparar PMP, teniendo como principal alternativa usar la tecnología conocida como Gama IV (Méndez, 2008, Figura 8). Estos son alterados físicamente en su forma original, pero que mantienen su estado fresco. Para la manipulación de estos productos se utilizan procesos que incluyen tratamientos mínimos como: lavado, pelado, cortado, troceado, rallado y picado. En su mayoría son empacados utilizando diversidad de materiales como láminas, plásticos, al vacío, películas plásticas, bolsas, etc., y son almacenados en frío prolongando su vida útil; lo que los hace apetecidos para los consumidores, ya que disminuyen considerablemente el tiempo de preparación, además de mantener sus características organolépticas y nutrimentales, dándoles un valor agregado (Tapia *et al.*, 2015).



Figura 8. Productos mínimamente procesados en fresco o de Gama IV, listos para su consumo (imagen propia).

Considerando que estos productos requieren un proceso agroindustrial, es necesario tomar en cuenta las etapas que siguen (Pefaur, 2014):

- 1) La cosecha, donde provienen inicialmente, por lo que debe ser cuidadosa con la finalidad de no dañar al producto.

2) Selección, considerando el tamaño, este proceso es realizado generalmente de manera manual considerando tener el mínimo porcentaje de pérdidas.

3) Limpieza y desinfección, la cual debe realizarse evitando generar daño en los productos.

4) Secado, para eliminar la humedad, con la finalidad de prolongar lo más tiempo posible la vida útil de los productos.

5) Corte, en muchos casos también se les da un procesamiento mínimo de alteración física, ya que los que se venden troceados tienen que ser cortados de diferentes formas, tales como: cubo, rodaja, rallado o en bastones.

6) Presentación o envasado, como parte final de las etapas estos son envasados y almacenados en frío.

Estos alimentos deben estar listos para ser consumidos, ya que deben garantizar su inocuidad y sus propiedades. Sin embargo, al ser cortados o productos con heridas mecánicas, aumentan la tasa de respiración, generando la aceleración en su deterioro, además que se incrementa la susceptibilidad a infección microbiana dado que el tejido se encuentra expuesto (Pefaur, 2014). Por tales motivos, surge la necesidad de buscar diferentes alternativas para preservar los PMP, haciendo hincapié en los antimicrobianos como conservadores, ya sean sintetizados químicamente (nitritos, nisinas, ácidos propiónico, benzoico, etc.), los cuales pueden resultar dañinos para la salud del consumidor. Una alternativa serían los antimicrobianos de origen natural (extractos de tallos, frutos, flores, cortezas y hojas), principalmente aquellos que sean ricos en compuestos fenólicos, ya que presentan actividad antimicrobiana (Sauceda, 2011). Otra alternativa sería el envasado en atmósferas modificadas o controladas, para reducir la concentración de O_2 y moderar la concentración de CO_2 , y reducir el crecimiento microbiano (Pefaur, 2014). Así, también se puede reducir la concentración de etileno, lo cual ayudaría a retener parámetros importantes, tales como: la firmeza, la turgencia, los ácidos orgánicos, los azúcares, las vitaminas, las clorofilas y la calidad sensorial de los PMP; para poder ofrecer en el mercado alimentos de gama IV de calidad (Torales *et al.*, 2015).

II.5.1. Problemas en la Conservación de Productos Mínimamente Procesados o Alimentos de la Gama IV

En comparación a los diferentes productos enteros que comúnmente se consumen en el mercado, los productos de gama IV son más susceptibles a la perecibilidad (Tapia *et al.*, 2015). Debido a que son tejidos vivos, desde la perspectiva fisiológica, los procesos que se utilizan para su preparación, aceleran las reacciones de deterioro, dando origen principalmente a la aceleración de las reacciones metabólicas disminuyendo la calidad del producto en cuanto a su textura, madurez y senescencia acelerada, provocando malos olores y decoloración en la superficie del producto, dando como resultado un aspecto indeseable (Tapia *et al.*, 2015). Estos problemas dependen de diversos factores, tanto internos como externos, los cuales se describen a continuación:

Como factor principal está la respiración y la producción de etileno, proceso por el cual se degradan los carbohidratos a CO₂, H₂O y energía. Dicho proceso requiere de O₂, por tal motivo, estos alimentos deben tener cierto contenido de O₂ en el envase (De la Vega, 2011). De no ser así, se produce la anaerobiosis generando compuestos como etanol, producto de procesos de fermentación, lo cual daña los tejidos. Sin dejar de lado la pérdida de agua, la cual se condensa en los envases acumulándose y, por ende, creando un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos (De la Vega, 2011). Este factor acelera la senescencia, reduciendo el valor nutrimental del alimento y, en consecuencia, afectando las características organolépticas.

Cabe mencionar que es necesario tomar en cuenta la manera en como estos productos son manipulados, ya que uno de los factores principales es la tasa de respiración (TR), debido a que los productos cortados son más susceptibles a pérdidas rápidas de ácidos orgánicos y azúcares (Tapia *et al.*, 2015). El aumento de la TR es proporcional al aumento de la producción de etileno, el cual estimula la síntesis de enzimas como la PAL (Tapia *et al.*, 2015). También hay que tomar en cuenta la temperatura a la cual es almacenada, dado que, si aumenta la temperatura de almacenamiento, aumentara la TR y la producción de etileno (Tapia *et al.*, 2015). Otro factor, es el especial cuidado en el empaque, ya que bajo condiciones anaeróbicas los alimentos se exponen a altas concentraciones de CO₂ y bajo O₂, para prevenir

la manifestación de sabores extraños que podrían ser derivados de la fermentación (Tapia *et al.*, 2015).

Retomando la producción de etileno, durante el almacenamiento de los PMP, aumenta su producción, generando pérdidas de color en algunos productos debido a la pérdida de clorofila, dejando un color amarillo y, finalmente, provocando la senescencia (Tapia *et al.*, 2015).

Otro factor es el oscurecimiento enzimático (oxidación), proceso que ocurre debido al contacto entre sustratos y enzimas oxidativas, y a que los tejidos una vez que son cortados se exponen al O₂, provocando una oxidación enzimática de los fenoles a ortoquinonas (polimerizadas). Es importante mencionar que, las principales enzimas responsables de este proceso son la PPO, la peroxidasa (POX), la PAL, las tirosinasas y las catecolasas (De la Vega, 2011; Tapia *et al.*, 2015).

La transpiración es un proceso vital para este tipo de alimentos, dado que se da una pérdida considerada de agua, debido al gradiente de presión de vapor de agua entre la atmósfera externa e interna cercana a la superficie de la estructura (De la Vega, 2011). Tomando en consideración que estos alimentos se encuentran constituidos por el 90 % de agua, es de importancia poner atención en la pérdida de agua debido a que esto afecta su calidad; dado que este proceso implica la deshidratación, liberando enzimas y, por ende, desencadenando un deterioro acelerado (De la Vega, 2011). Por lo tanto, a mayor transpiración se da una mayor respiración, disminuyendo el tiempo de vida útil, textura, sabor, provocando marchitez, y lo que conlleva a perder la calidad nutrimental y comercial. Como los alimentos de gama IV en su mayoría están más expuestos a la pérdida de agua, la cual es mayor entre mayor sea el daño mecánico generado, es muy importante considerar el uso de chuchillos bien afilados, además de considerar los empaques y recubrimientos comestibles adecuados para disminuir la pérdida de agua (De la Vega, 2011; Tapia *et al.*, 2015).

Los procesos de transformación fisiológica a la que son sometidos en la preparación de productos de gama IV, abren una ventana a la proliferación de microorganismos en las zonas de los cortes, que es el área en donde se liberan los nutrientes (lixiviación), los cuales son utilizados como sustrato en el metabolismo de los microorganismos (De la Vega, 2011). Estos

proviene principalmente desde la materia prima, de los cuales, muchos son contaminantes, tales como: bacterias deteriorativas, levaduras, mohos, bacterias patógenas, parásitos y virus (*Giardia lamblia*, *Cyclospora cayetanensis*, *Cryptosporidium parvum*); capaces de provocar infecciones. Los patógenos principales son: *Listeria monocytogenes*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus* y, en casos más graves, *Clostridium botulinu*, *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella* spp y *Staphylococcus aureus* (Artés *et al.*, 2011). Pero la cantidad y especie de los microorganismos que se desarrollen, estará determinado de acuerdo a las prácticas de cultivo empleadas y las condiciones higiénicas en las que éstos son manipulados o procesados (Artés *et al.*, 2011). Considerando que la temperatura es un factor importante y que estos productos se encuentran en su mayoría en empaques y/o atmosferas modificadas, hay que tomar en cuenta la presencia de algunas bacterias psicrófilas las cuales son capaces de resistir temperaturas de refrigeración (Artés *et al.*, 2007; Artés *et al.*, 2011).

Como medidas preventivas, para minimizar los riesgos de contaminación (suciedad, residuos de plaguicidas y microorganismos) causantes de los efectos antes mencionados, sería utilizar guías de seguridad (Gil-Muñoz *et al.*, 2005). Tomando como primera opción la higiene, con ayuda del lavado en combinación de soluciones antimicrobianas con ácidos orgánicos, tales como: el cloro y NaClO (concentraciones de 50-150 ppm); ya que éstos son baratos y eficaces. Existen otros más, tales como: el ácido peroxiacético (solo o combinado con ácido peracético y peróxido de hidrógeno, ácido cítrico y ácido ascórbico), el clorito sódico acidificado, el dodecil benzen sulfonato sódico, el ion clorito (ClO₂) y el ácido láctico, algunos otros bactericidas, el ozono, el agua electrolizada, entre otros (Artés *et al.*, 2011); los cuales serían un tanto más naturales o con menos riesgo en comparación con el uso de hipocloritos.

II.5.2. Efectos del Estrés por Herida

Las pérdidas de los diferentes productos hortofrutícolas se pueden presentar en cualquiera de las diferentes etapas por las que pasan dichos productos, desde la cosecha hasta la comercialización. En el caso de los productos enteros y frescos, las pérdidas originadas durante el transporte es la que cobra mayor importancia, ya que éstas están vinculadas con el

estrés que ocurre una vez que el producto es transportado en condiciones ambientales desfavorables, ya sea de temperatura o de humedad relativa (HR) (Silveira *et al.*, 2010). Los daños mecánicos son resultado de impactos, compresión o vibración, generando magulladuras, roces o abrasión, cortes, deformación, punciones, fracturas y fisuras (López-Camelo, 2003a; Figura 9). Dicha manifestación del daño estará directamente relacionada con el estado de madurez del producto, severidad y tejido afectado.

Una vez ocasionado la ruptura de la epidermis, lo cual ocurre tanto en frutos enteros por una herida como durante el corte o procesamiento de los PMP, se desencadena diversas respuestas al estrés causado por dicho daño. Por ejemplo, el cambio en el tejido volviéndolo corchoso, cambiando la coloración y, principalmente, aumentando las actividades metabólicas, como la respiración y la producción de etileno (acelerando los procesos de maduración y ablandamiento) (López-Camelo, 2003a). También se ponen en contacto enzimas y sustratos, sintetizando compuestos secundarios, los cuales afectan el sabor, el aroma, la calidad nutritiva y la textura (López-Camelo, 2003a). Como respuesta a estos sucesos, los productos inician un proceso de cicatrización, gracias a que cada célula tiene la capacidad de activar mecanismos reparadores y de defensa con la finalidad de evitar infecciones (López-Camelo, 2003a).

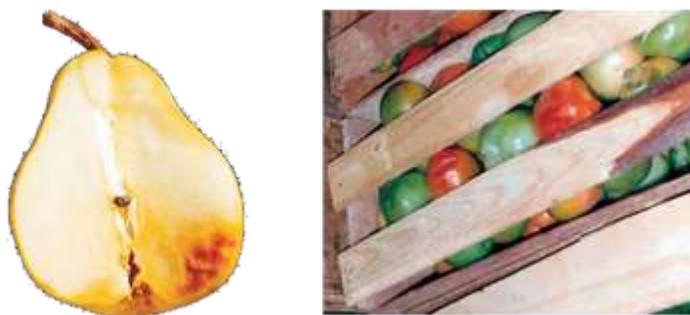


Figura 9. Daño mecánico: impacto en pera y compresión en tomate (tomada y modificada de López-Camelo, 2003a).

Otra de las consecuencias del daño, es la eliminación de la primera barrera física de los productos, lo que permite la liberación de sus nutrientes, los cuales son utilizados por los microorganismos patógenos (Lopez-Camelo, 2003a). Tal es el caso de *Botrytis cinérea* (hongo patógeno necrófago), principal responsable del moho gris que ataca a los productos durante la

pre- y poscosecha de algunos cultivos (tomate, uva, bayas, etc.), desarrollando una capa gris y, por ende, provocando el deterioro del producto (Gago-Mesejo, 2015; Figura 10).

Una alternativa para mejorar la regulación de las funciones fisiológicas de los productos hortofrutícolas durante la poscosecha es la aplicación de calcio gracias a que este ion cuenta con una carga de $+2$, además de que sirve como intermedio químico de estímulos fisiológicos logrando con ello ajustar las funciones fisiológicas de los productos hortofrutícolas (Pérez y Quintero, 2015). Cumpliendo funciones como agente reafirmante, gracias a que los iones de calcio actúan sobre las cadenas de pectina formando puentes entre éstos, e incrementando la fuerza de la pared celular (Pérez y Quintero, 2015). Sin dejar de mencionar que, también ejerce un efecto positivo en los fosfolípidos contenidos en la membrana, con la finalidad de disminuir la senescencia y, además, preserva la integridad de la membrana; ya que ayuda a posponer los cambios en los lípidos de ésta y también ayuda en el aumento de los procesos de reestructuración de la membrana (Pérez y Quintero, 2015).

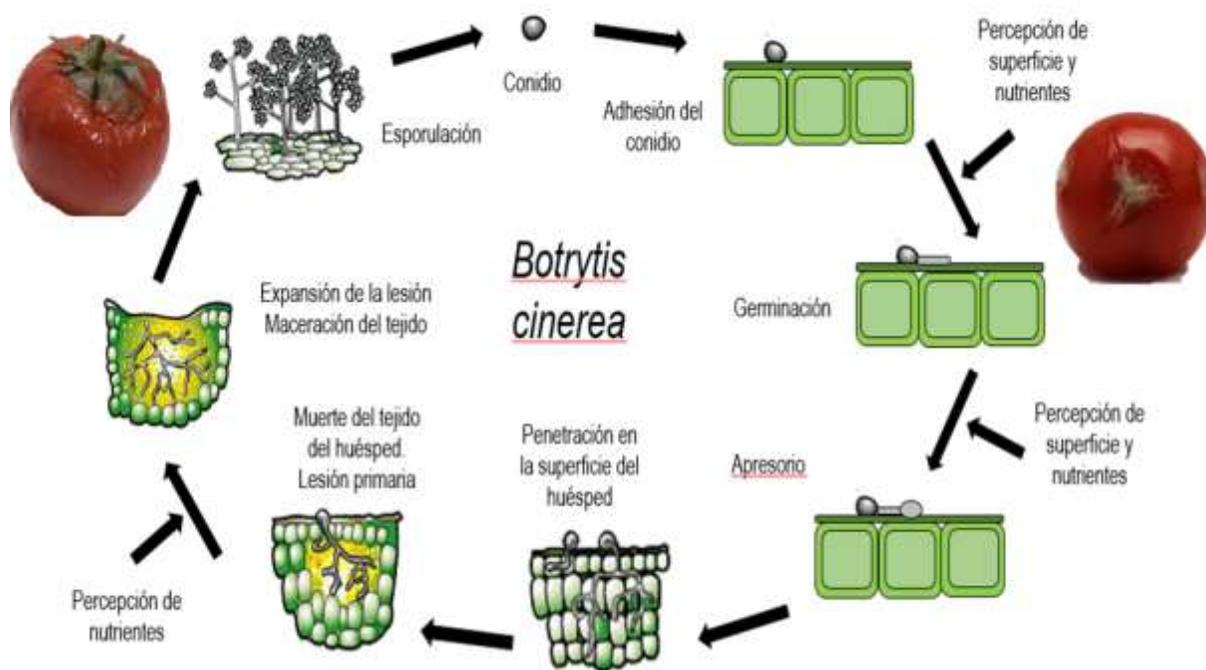


Figura 10. Ataque de *Botrytis cinérea* en tomate con daño mecánico (tomada y modificada de Gago-Mesejo, 2015).

Dada la naturaleza viva de estos productos, una vez que son cortados, se rompen sus paredes celulares, dando inicio a una de las reacciones químicas más notorias a simple vista, la oxidación. Esto se debe a que se expone el producto al O₂ en el aire (Byers y Naworski, 2017). Los daños a nivel superficial son los más perjudiciales en el alimento (frutas y/o verduras), ya que se rompe la homeostasis del estado fisiológico del alimento (Intagri, 2018). Una vez que se rompe ese equilibrio en las células, se promueve una situación de estrés, la cual puede durar desde segundos hasta días y la cual se conoce como estrés oxidativo.

II.5.2.1. Estrés Oxidativo

Durante este proceso se generan radicales libres y/o especies reactivas de oxígeno (ERO) [radical superóxido (O₂^{·-}), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y radical hidroxilo (OH)], disminuyendo los antioxidantes. Por tal motivo, a este proceso acompañado de estos productos se le llama estrés oxidativo (Caraveo, 2018; Figura 11). Además, las ERO son moléculas muy reactivas que pueden dañar al ADN, proteínas, carbohidratos y lípidos de las células vegetales, causando la ruptura de las cadenas simples de ADN, dejándolas susceptibles a los procesos de oxidación (Fuentes *et al.*, 2007). En las proteínas, causa un cambio tridimensional, generando desnaturalización e inactivación, aumentando la degradación proteolítica y fragmentación de la cadena proteolítica; sin dejar de mencionar a los lípidos, los carbohidratos y los compuestos de bajo peso molecular (Fuentes *et al.*, 2007; Ariza, 2012). Por lo que, es importante considerar la aplicación de sustancias antioxidantes en los productos hortofrutícolas enteros y/o procesados, tales como: el ácido cítrico y el ácido ascórbico (Estévez-Suarez, 2012).

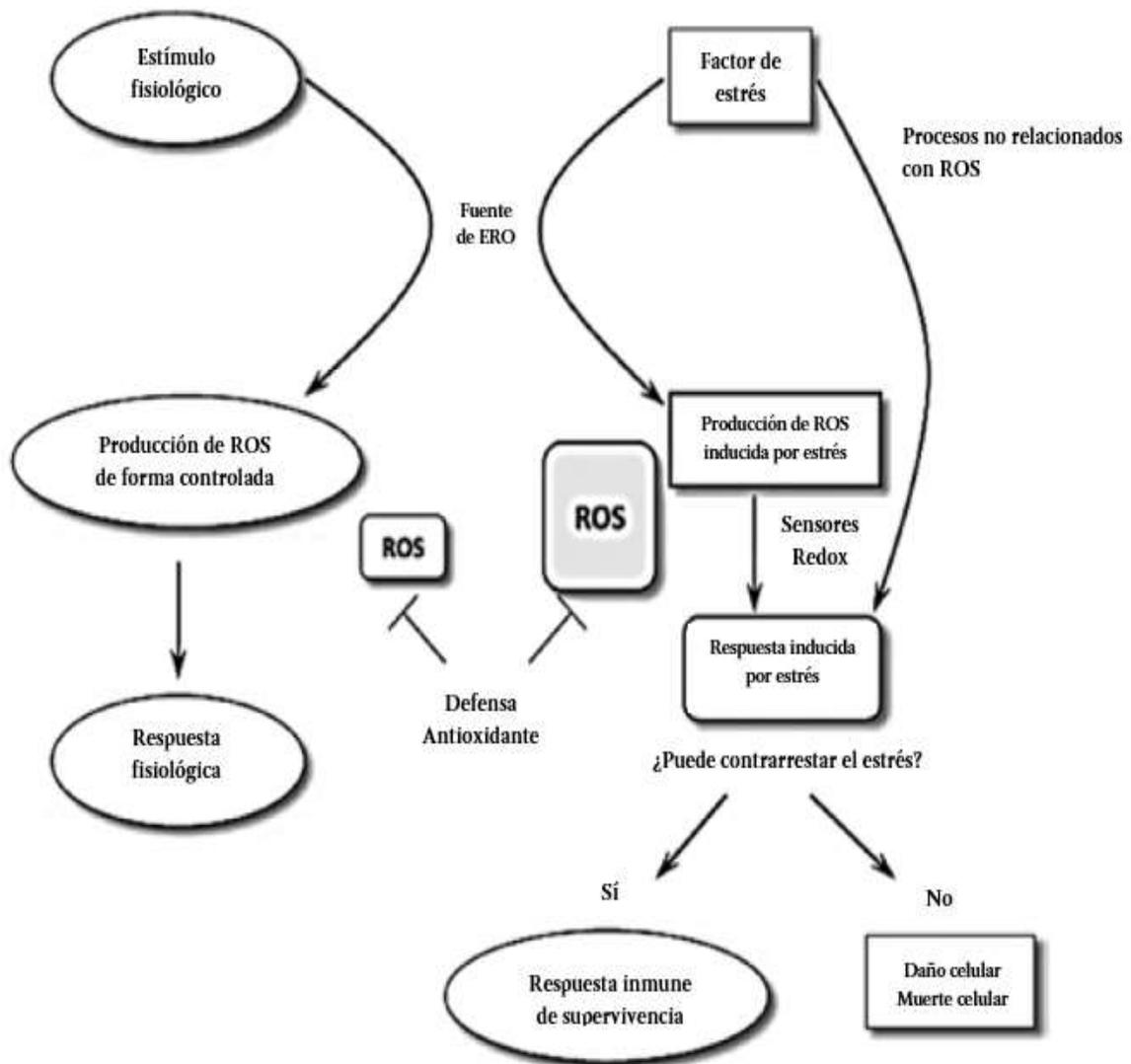


Figura 11. Formación de ERO y estrés oxidativo (tomada de Ariza, 2012).

II.6. Antioxidantes

Cabe mencionar que, los productos vegetales poseen una gran variedad de compuestos químicos que actúan como agentes antioxidantes, ya que inhiben y/o retardan la producción de ERO, los cuales podrían llegar a dañar a la célula en casos extremos (Ligia *et al.*, 2010). Las frutas y hortalizas tienen la capacidad de sintetizar antioxidantes del tipo nutracéutico, tales como: vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E, β -carotenos, licopenos, así como, fenoles (taninos). De este último, su propiedad antioxidante se debe a su estructura química con grupos OH, encontrándose en raíz, hojas, corteza y en la vacuola de las células vegetales

(Hernández-Angel *et al.*, 2003; Araya *et al.*, 2006; Vilaplana, 2007). Como ejemplo de ello, Ligia *et al.*, (2010) evaluaron la actividad antioxidante de mora (*Rubus glaucus* B.), maracuyá (*Passiflora edulis* S.), guayaba (*Psidium guajava* L.) y papayuela (*Carica cundinamarcensis* J.), adquiridas en 3 estados de madurez (estado 2 verde, estado 3 pintón y estado 5 madurez comercial). Determinando que el ácido ascórbico aumentó durante el estado de madurez, mientras que la actividad antioxidante aumenta del estado inmaduro al completamente maduro en todas las muestras. Esto debido a que aumenta el contenido de polifenoles y, gracias a esto, también son fuentes potenciales de beneficio para la salud.

II.6.1. Ácido Cítrico

Los ácidos carboxílicos son los ácidos orgánicos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Tal es el caso del ácido cítrico (ácido 2-hidroxi-1, 2, 3-propanotricarboxílico), con fórmula química $C_6H_8O_7$ (Figura 12). Este es un ácido orgánico que se encuentra presente naturalmente en varias frutas como el limón, la naranja, la lima, la mandarina, la piña, la toronja, la ciruela, los chicharos, el durazno, así como, en algunas hortalizas como la cebolla, el pimiento, las coles, el perejil, entre otros (Vilaplana, 2007; Muñoz-Villa *et al.*, 2014). Físicamente es un polvo cristalino blanco presentado de manera anhidra o como monohidrato, considerado como tríacido carboxílico (Muñoz-Villa *et al.*, 2014). El ácido cítrico es un antimicrobiano ya que ayudan a inhibir el crecimiento mediante un agente quelante de los iones metálicos, los cuales son necesarios para que se dé el desarrollo microbiano, además de ser un buen antioxidante (Parzanese, 2012). Otro de los factores de importancia de este ácido es que previene el oscurecimiento enzimático debido a que actúa como agente quelante sobre el cobre de la enzima PPO (Parzanese, 2012). Las concentraciones más utilizadas en la industria de los alimentos de este ácido para poder inhibir el desarrollo microbiano van desde 0.1-0.3 %, y en ocasiones son combinados con antioxidantes los cuales son utilizados a concentraciones de 100-200 ppm (Parzanese, 2012). Es utilizado en la industria alimentaria, gracias a que tiene un sabor agradable y es muy soluble en agua. Se utiliza en los cultivos para mejorar la asimilación de los micronutrientes en las plantas, como dispersante en la aplicación de pesticidas y herbicidas (Muñoz-Villa *et al.*, 2014).

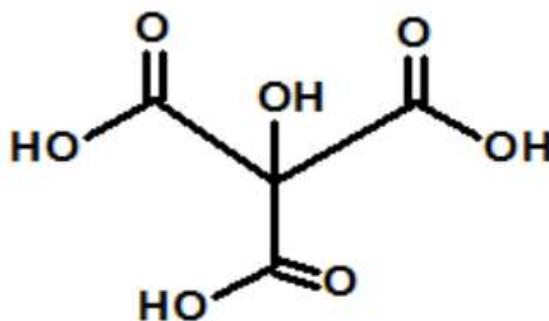


Figura 12. Estructura química del ácido cítrico (Muñoz-Villa *et al.*, 2014).

Dado los antecedentes de este ácido, Rojas-Ávila *et al.*, (2008) utilizaron fracciones de sandía (50 g) las cuales fueron sometidas a un tratamiento con 0.75 % de ácido cítrico por 5 min y embolsadas en polipropileno (PP), con almacenamiento a 4 °C. Obteniendo resultados de aceptación sensorial, con una vida útil de 21 días, extendiendo la vida de anaquel. El empaque de PP como atmosfera modificada, ayudó a que no se presentara perdida de agua. Cabe mencionar que, con la aplicación de atmosferas modificadas más el ácido cítrico como antimicrobiano se retardó y/o minimizó considerablemente el crecimiento de microorganismos.

II.6.2. Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico o vitamina C, es una vitamina esencial con formula química $C_6H_8O_6$ (Figura 13). Posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras, con formula natural del isómero óptico del carbono 4-D, con 10 % de la actividad de isómero L. Este ácido se sintetiza químicamente a partir de la glucosa, mediante una serie de reacciones enzimáticas, a partir de la L-gulono- γ -lactosa oxidasa (GLO). Dicho ácido ayuda a absorber UV, para evitar el daño fotosintético en órganos celulares expuestos. Es considerado uno de los más potentes agentes antioxidantes, además de ser hidrosoluble (Serra y Cafaro, 2007). Se encuentra presente en frutas, verduras y hortalizas (cítricos, fresas, kiwi, melón, tomate, pimiento, coles y coliflor, pomelo, naranja, tomate, etc.) (Valls-i, 2005).

Por lo anterior, se emplea en alimentos de origen vegetal para evitar reacciones oxidativas, ya que inhibe a la enzima PPO (Parzanese, 2012). Combinado con el ácido cítrico,

es adicionado en los alimentos en forma de tabletas, premezclado seco, aerosoles líquidos o compuestos puro, para elevar la vida útil del producto (Valls-i Belles, 2005; Parzanese, 2012). Además, participa en muchos procesos fisiológicos como la fotosíntesis, cofactor enzimático, homeostasis del sistema redox, precursor en rutas de síntesis de moléculas del metabolismo, y está involucrado en el crecimiento, desarrollo y modulación del ciclo celular, elongación celular, pigmentación, cofactor enzimático, homeostasis del sistema redox, entre otros (Mora-Herrera, *et al.*, 2011; Herrera-Martínez *et al.*, 2013).

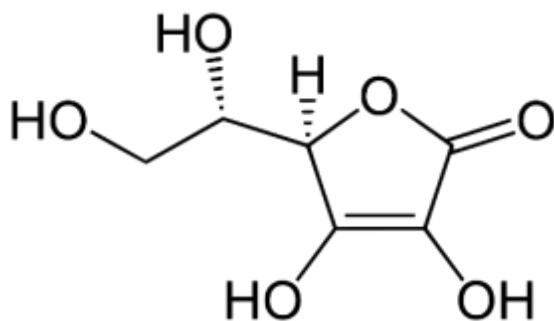


Figura 13. Estructura química del ácido ascórbico (Schaefer y Santos, 2014).

Por lo que se han realizado diversos estudios de los beneficios de este ácido, como el realizado por Mora-Herrera *et al.*, (2011), quienes evaluaron el efecto de la aplicación del ácido ascórbico (0, 3.4 y 6.8 mM) en plantas de crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) en condiciones de invernadero, donde las plantas se les roció 2 veces por semana hasta el día de la cosecha, obteniendo resultados favorables debido a que el ácido ascórbico incrementó de manera significativa la longitud del tallo, el número de botones, así mismo, se incrementó el contenido de proteína, pigmentos fotosintéticos totales y la actividad de la POX, en relación a las otras plantas que no recibieron tratamiento. De acuerdo a estos estudios, las respuestas obtenidas se asocian a los parámetros de crecimiento, gracias a que el ácido ascórbico es un compuesto antioxidante que induce respuestas relacionadas al crecimiento en las plantas para enfrentar el estrés. Dichos resultados se confirman con lo reportado por Herrera-Martínez *et al.*, (2013), ya que también realizaron la aplicación del ácido ascórbico como compuesto alternativo aplicadas en plantas de rosas de variedad 'Fetera' en condiciones de invernadero, donde el tratamiento (0, 600 y 1200 mg/L, durante 5 meses) incrementó la longitud y el diámetro del tallo, así como, el número de brotes laterales en las plantas. Además

de incrementar el contenido de pigmentos fotosintéticos y la actividad enzimática de la POX. Lo cual hace que la aplicación del ácido ascórbico sea un compuesto potencial utilizado para incrementar el crecimiento de los cultivos, gracias a que participa en muchos procesos fisiológicos.

II.6.3. Ácido Elágico

Los elagitaninos están formados por un grupo 6´6 dicarbonil 3´3, 4´4, 5´5 hexahidroxidifénico o ácido hexahidroxidifénico (HHDP), los cuales suelen ser precursores del ácido elágico, ya que cuando éstos se exponen a ácidos o bases fuertes, se hidrolizan, liberando el ácido HHDP de los elagitaninos, sufriendo una reacción de latinización espontánea y dando origen a moléculas de ácido elágico (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). Este ácido también se puede presentar de forma libre en algunas especies vegetales (en las vacuolas de las células) como resultado del metabolismo de éstas, encontrándose en las hojas, las raíces, las ramas, las cortezas, el tallo y los frutos de algunos árboles de roble, castaño, árboles de bayas (arándano, frambuesa, granada, fresa, zarzamora, grosella), entre otros (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). Por lo que, el ácido elágico está presente en el metabolismo secundario de algunos vegetales como arándano, frambuesa y granada, el cual tiene capacidad antioxidante, además de ser antimicrobiano y reducir el estrés oxidativo (Cruz-Antonio *et al.*, 2010).

El ácido elágico tiene una nomenclatura 2,3,7,8-tetrahidroxicromeno [5,4,3-cde] cromeno-5,10-diona (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). Es un compuesto fenólico, lo que le permite reaccionar para formar complejos con otras moléculas de polisacáridos, proteínas y alcaloides, además se encuentra dentro de la clasificación de los polifenoles y, a su vez, dentro de los ácidos hidroxibenzoicos (Fredes, 2009). Poseen una estructura compleja, con fórmula sintética $C_{14}H_6O_8$ (Figura 14). Es una molécula termodinámicamente estable, muy levemente soluble en agua y ligeramente en solventes orgánicos (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). El anillo aromático le confiere propiedades lipofílicas, los 4 grupos hidroxilo y las 2 lactonas le confieren propiedades hidrofílicas, dado que éstos actúan como aceptores de electrones y formar puentes de hidrógeno (Fredes, 2009; Cruz-Antonio *et al.*, 2010).

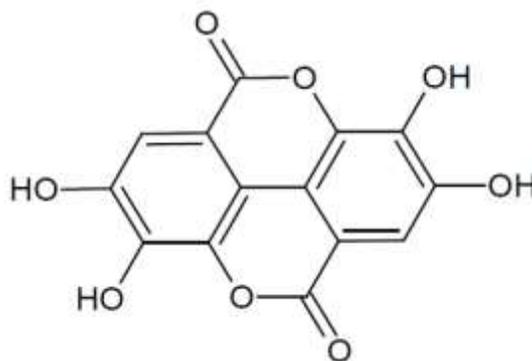


Figura 14. Estructura química del ácido elágico (tomada de Cruz-Antonio *et al.*, 2010).

La estructura química le confiere alta estabilidad a la molécula (Figura 12), además de algunas cualidades y propiedades benéficas, tales como: antioxidante (gracias a la presencia de dos pares de grupos hidroxilos vecinos en su estructura), antimutagénico, antiviral, antibacterial, antiinflamatoria, gastroprotector y cardioprotector, inhibe el estrés oxidativo inducido por la radiación UV, forma quelatos con metales, protector contra la peroxidación lipídica, etc. (Aguilar *et al.*, 2014; Galano *et al.*, 2014). Gracias a dichas propiedades que posee el ácido elágico, se están realizando diversos trabajos de investigación. Aún se desconoce el papel que desempeña el ácido elágico dentro del metabolito vegetal, por lo que se cree que es un biocida que impide el crecimiento de microorganismos (Ascacio-Valdés *et al.*, 2013).

Adicionalmente, el ácido elágico tiene un importante potencial, ya que puede ser obtenido a partir de subproductos de desecho, como lo es la cascara de granada; en ésta última se ha reportado que presenta una gran cantidad de ácido elágico y elagitaninos (Ascacio-Valdés *et al.*, 2013). Por lo que a partir del incremento del mercado de la granada en jugo y desgranado, ha empezado a generar una industria con desechos vegetales de granada, que pueden ser una fuente importante para la obtención de otros subproductos de interés, como lo es el ácido elágico. Por ejemplo, Kasai *et al.*, (2006) reportaron que un fruto de granada aporta 100 mg de ácido elágico en la dieta.

Por otro lado, Liu *et al.*, (2018a) mencionan que a partir del árbol chino de chicle dulce *Liquidambar formosana* Hance se es capaz de obtener fuentes importantes de ácido elágico, el

cual demostraron que tiene mayor capacidad antioxidante en comparación con la vitamina C (ácido ascórbico). Además, el ácido elágico obtenido del árbol de chicle fue aplicado en frutos de naranjo enano poscosecha, lo que produjo una mayor vida de anaquel de estos frutos (Liu *et al.*, 2018a). Así mismo, se conoce que el ácido elágico está presente en las nueces, las uvas y las bayas o moras (Galano *et al.*, 2014), por lo que los desechos agrícolas o industriales donde se procesen estos vegetales, puede ser una fuente para la obtención de ácido elágico.

III. ESTADO DEL ARTE DEL USO DE TRATAMIENTOS POSCOSECHA EN PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS ENTEROS Y/O PROCESADOS

III.1. Tratamientos en Productos Enteros

La vida útil de los productos hortofrutícolas, normalmente se relacionan con las condiciones de almacenamiento a la que son sometidos (Sauceda, 2011). La conservación de los productos hortofrutícolas enteros en fresco tiene sus complicaciones, en donde el primer paso para prolongar su vida útil, es la higiene que se tiene con ellos durante la poscosecha (Aguilar, 2012), la adición de sustancias antimicrobianas y retardantes químicos de la maduración (disminución de etileno) (Sauceda, 2011). Balaguera-López *et al.*, (2014) indicaron que los retardantes químicos como el aminoetoxi-vinil-glicina (AVG), el ácido aminooxiacético (AOA), 1-metilciclopropeno (1-MCP, que actúa en las etapas de biosíntesis) y sales de plata [nitrato y tiosulfato de plata (STS)], han sido utilizados principalmente para la reducción del etileno en poscosecha, retardando el proceso de maduración y disminuyendo el ablandamiento y la pérdida de peso. Estos compuestos han sido utilizados principalmente en productos como: tomate, guayaba, granadilla, ciruela, kiwi, fresa, aguacate, entre otros. Por otro lado, el permanganato de potasio (KMnO_4) que oxida el etileno de la atmósfera, se utiliza durante la maduración y se ha utilizado en aguacate, mango, banano, manzana, entre otros (Balaguera-López *et al.*, 2014).

Algunos nuevos tratamientos o tecnologías emergentes en productos poscosecha son: el uso de microondas, campos eléctricos pulsados, procesamiento óhmico, entre otros (Linares-Morales *et al.*, 2018). También, estudios recientes como los de Ni *et al.*, (2018) han probado tratamientos con ultrasonido en setas shiitake (*Lentinula edodes*) frescos, donde emplearon 40 kHz, por 20 min durante 12 días, lo cual dio como resultado una mayor firmeza de los hongos tratados (0.461 N) en comparación con el control (0.286 N). Ya que tanto la pérdida de peso como su intensidad de respiración fueron muy bajas, así como, hubo mayor contenido de glucano y quitina. Por lo que autores concluyen que el ultrasonido preserva la textura de los hongos (Ni *et al.*, 2018). Cabe resaltar que es un tratamiento no térmico, económico y eficaz, el cual evita el crecimiento de microorganismos y el oscurecimiento

enzimático, además de disminuir la pérdida de peso de los productos hortofrutícolas, preservando su sabor, valor nutricional y color (Ni *et al.*, 2018).

Por otra parte, Pankaj *et al.*, (2018) describen el efecto del plasma frío como una herramienta para tratamientos superficiales en frutas y verduras, que ha demostrado la descontaminación de alimentos, la remoción de toxinas, la activación enzimática y la eficacia contra microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*. Min *et al.*, (2018) evaluaron el efecto de la aplicación de plasma frío atmosférico en tomates durante el almacenamiento poscosecha. Los resultados indican que el plasma frío permite la inactivación de *Salmonella* significativamente. Además de observar que no hubo alteraciones tanto en el color, la firmeza, el peso, la concentración de licopeno y el contenido de ácido ascórbico en frutos de tomate (Min *et al.*, 2018). Por lo que este tipo de tratamientos podrían utilizarse en PMP, aunque escasos estudios se han centrado en el efecto del plasma frío sobre los atributos de calidad de los alimentos.

Otra alternativa que se está investigando, es el uso de aplicaciones de radiación ionizante, tendencia mundial que se está desplazando hacia alternativas más ecológicas, para el control de enfermedades poscosecha en productos frescos. Jeong *et al.*, (2018) menciona que la aplicación de luz ionizante, sería especialmente como un enfoque para el control de enfermedades. Pero los desafíos que presentan dicha investigaciones para su aplicación en los productos frescos son: el costo, falta de instalaciones de irradiación, el desconocimiento de las condiciones para diferentes productos y la falta de aceptación de los productos frescos irradiados ya que no es aceptada por la industria orgánica. Una sola dosis de irradiación requerida para matar los patógenos poscosecha, puede afectar negativamente las propiedades físicas, como el color de la piel, la textura y la firmeza, de las frutas y verduras almacenadas Jeong *et al.*, (2018).

III.2. Tratamientos en Productos Mínimamente Procesados

Existen una gran cantidad de tratamientos en PMP, ejemplo de ello es el reportado por Hernández *et al.*, (2014) quienes analizaron el efecto de la tecnología de barreras (recubrimiento comestible, atmosfera modificada, desinfección y tratamiento térmico por

refrigeración) sobre la vida útil de vegetales mínimamente procesados como el brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica), la coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis), la calabacita zucchini (*Cucurbita pepo* L.), el chayote (*Sechium edule*), el apio (*Apium graveolens*) y la zanahoria (*Daucus carota*). Además, emplearon agua destilada adicionada con cloruro de calcio (0.025 %), ácido cítrico (0.5 %) y ácido ascórbico (0.25 %) durante el tratamiento térmico. El recubrimiento comestible a base de pectina de bajo metoxilo (2 %), glicerol (1.5 %) y cera de carnauba (1 %), adicionado con ácido ascórbico (0.05 %) como antioxidante y agua destilada. Esto les permitió conservar las características fisiológicas, fisicoquímicas y, sobre todo, la calidad sensorial de los productos manipulados manteniendo una vida útil de entre 5-7 días.

Estudios realizados por Vargas (2015), en donde emplearon recubrimientos comestibles a base de almidón (maíz y papa), adicionados con ácido ascórbico (1.5 %), ácido cítrico (0.55 %) y cloruro de calcio (0.5 %), almacenados en bolsas de polietileno a 5 °C para prolongar la vida útil de la papaya (*Carica papaya*), obtuvieron que la calidad se mantuvo durante 13 días poscosecha. Mientras que, Maulén *et al.*, (2012), recomiendan la utilización del ácido ascórbico, ácido cítrico y cloruro de calcio (CaCl₂), en películas plásticas y bajo atmosferas modificadas para evitar el oscurecimiento en duraznos 'Royal Glory' mínimamente procesados. Ya que en sus resultados indican que bajo atmosferas modificadas de 5 % de O₂ más 0 % de CO₂, los frutos conservan un mejor aroma y se preserva un mayor contenido de carotenoides. Además, Canul *et al.*, (2014), nos confirma que la aplicación de ácido cítrico en jícamas mínimamente procesadas prolonga la vida útil durante 13 días.

Otros estudios, como el reportado por Wang *et al.*, (2018) evaluaron el efecto de exposición de la luz visible en sandía recién cortada. Los tratamientos se aplicaron a 3000 y 10 lux durante un periodo de 5 días de almacenamiento a 4 °C, con una exposición a la luz de 150 lux como control. Se observó que la pérdida de agua de la sandía recién cortada, expuesta a una luz de 3000 lux fue de 74.8 % en el quinto día, con una evaporación de humedad de 1.89 veces mayor a 150 lux. Además, la exposición de luz de 3000 lux redujo la actividad de la enzima oligalacturonasa, una hidrolasa clave relacionada con la degradación de la pared celular. Mientras que Charles *et al.*, (2018) utilizó la luz continua y tratamientos cortos con luz

intermitente (2 días) en lechugas recién cortadas seguido de almacenamiento en la oscuridad. Como resultado, la luz intermitente durante 2 días minimiza el oscurecimiento, la pérdida de agua y mostró un cambio residual positivo durante los siguientes 5 días en oscuridad. Sin embargo, la forma de la aplicación de la luz puede modificar la fisiología del producto, deshidratación y calidad. Por lo que, en este caso, el uso de la luz intermitente a nivel moderado de ($50 \mu\text{mol m}^2 /\text{s}$) determina su potencial para mantener la calidad de productos recién cortados. Estudios realizados por Avalos-Llano *et al.*, (2018) determinaron cambios de calidad y propiedades antioxidantes en fresas frescas cortadas, utilizando tratamientos de luz pulsada. Los tratamientos aplicados fueron 4, 8, 12 y 16 J/cm, combinados con un baño de esterilización durante 15 días a 5 °C. Donde se observó que la dosis de 4 y 8 J/cm reduce la incidencia de reblandecimiento en ambas superficies, interna y externa. Por otro lado, la capacidad antioxidante inicial se mantuvo mejor en todas las muestras durante el almacenamiento y los tratamientos 4 y 8 J/cm fueron más efectivos para mantener la calidad y propiedades antioxidantes de las fresas recién cortadas.

Otros tratamientos alternativos actuales son los reportados por Supapvanich *et al.*, (2018), en donde se emplea agua de coco para prevenir la incidencia de oscurecimiento en productos recién cortados, por ejemplo: utilizaron frutos de manzana 'gala' como productos precortados, sumergidos en agua de coco a concentraciones de 0, 50 y 100 % durante 2 min y luego las mantuvieron a 4 ± 1 °C durante 7 días de almacenamiento. La apariencia visual mostró que la incidencia de oscurecimiento de los frutos control (sin tratamiento) era mayor a las manzanas tratadas con agua de coco al 50 y 100 %.

El mayor problema de frutas y verduras recién cortadas es el oscurecimiento enzimático. Por lo que otra alternativa para contrarrestar este problema es el uso de péptidos bioactivos, nutritivos y de bajo costo. Sin embargo, existen pocos estudios sobre los efectos de péptidos. Liu *et al.*, (2018b) probaron el efecto de la hidrólisis de piel de bacalao (péptidos de bacalao) aplicado sobre las enzimas PPO, POX y PAL, así como, el cambio de color durante el almacenamiento de papa precortada. Donde compararon el control y las concentraciones del 0.01%, 0.1 % y 1 % (p/p) de extracto. Los resultados obtenidos indican que el tratamiento a

0.1 % de péptidos de bacalao, disminuyeron el oscurecimiento al inhibir las actividades enzimáticas durante 8 días a 4 °C (Liu *et al.*, 2018b).

Fan *et al.*, (2017) estudiaron el efecto de polifenoles de manzana sobre la calidad del corte en pitaya mínimamente procesada durante su vida útil. La fruta fue tratada con 5 g de polifenoles de manzana y luego se almacenó a 20 °C durante 4 días para evaluar sus atributos. Los resultados mostraron mayor retención de color, retraso en el ablandamiento, pérdida de SST y acidez, así como, mayor actividad antioxidante. Además de inhibir el crecimiento bacteriano y mantener la calidad del producto.

III.3. Principales Compuestos Antioxidantes Empleados en Productos Hortofrutícolas Enteros y/o Procesados.

La intensidad de oxidación estará directamente relacionada con la actividad oxidativa, los diferentes tratamientos a los que sean sometidos los productos hortofrutícolas, entre otros (Inestroza-Lizardo *et al.*, 2015). Sin embargo, se pueden prevenir los procesos oxidativos de los tejidos vegetales, inhibiendo principalmente la enzima responsable del proceso, sin dejar de lado la remoción de oxígeno, control de pH (bajo) o, en casos particulares, la aplicación de sustancias antioxidantes (Inestroza-Lizardo *et al.*, 2015). Por lo que se están realizando diferentes estudios como los reportados por Inestroza-Lizardo *et al.*, (2015), quienes demuestran que la utilización de L-cisteína (5 mM) resultó eficiente en la disminución del oscurecimiento enzimático de la papa 'Ágata' mínimamente procesada y yuca fresca; mientras que en papas cortadas tratadas con ácido cítrico (20 g/L) o ácido ascórbico (50 g/L) durante 3 min con la utilización de atmósfera modificada (3 % de oxígeno y 9 % de dióxido de carbono), también redujo el oscurecimiento.

Por otro lado, hay estudios de productos ricos en antioxidantes como los realizados por Zaro *et al.*, (2016) quienes mencionan que frutos como las berenjenas violetas en desarrollo, son ricos en antioxidantes fenólicos (ácido clorogénico, CGA), los cuales pueden ser aprovechados como alternativa para conservar otros productos poscosecha. Además, hay diferentes frutos rojos que también son ricos en antioxidantes, tal es el caso de estudios de Hidalgo-Indra y Almajano, (2017) quienes utilizan diferentes métodos de extracción de

antioxidantes (Figura 15) provenientes de ácidos fenólicos (ácido hidroxibenzoico, gálico, vanílico y elágico, p-coumaric, cafeico, ferulico, clorogénico y ácido hidroxicinámico) y antocianinas de frutos rojos (la fresa, la frambuesa, el arándano y la mora). Dichas sustancias están siendo utilizadas en algunos ingredientes en la producción de jugos, dándole una mayor vida útil, ya que las propiedades antioxidantes pueden ser transferidas, disminuyendo también la utilización de los conservantes tradicionales.



Figura 15. Extracción de antioxidantes de frutos rojos (tomada y modificada de Hidalgo-Indra y Almajano, 2017).

Bajaña-Zambrano (2017), indica la utilización de tres tipos de antioxidantes aplicados al plátano verde (*Musa × paradisiaca*) mínimamente procesado, de los cuales destacan el ácido cítrico, el ácido ascórbico y el citrosan. Los cuales fueron utilizados para retardar el oscurecimiento enzimático en un periodo de 60 días. Determinando que el mejor antioxidante fue el citrosan, dado que se obtuvo un menor daño oxidativo conservando su calidad y su

índice de madurez, seguido del ácido cítrico. Sin dejar de mencionar que el ácido ascórbico demostró la inhibición de crecimiento bacteriano.

Por otra parte, se ha comparado el efecto antioxidante del ácido cítrico al 0.92 % (p/v) con L-cisteína al 0.5 % (p/v) en plátano verde dominico hartón (*Musa* AAB Simmonds) mínimamente procesado, almacenados en bolsas al vacío y en empaque PET durante 21 días. Donde ambos evitan el oscurecimiento enzimático, pero destaca el ácido cítrico, ya que se observó un menor contenido de sólidos solubles que induce en un retraso en el proceso de maduración, menor pérdida de firmeza, prolongando la vida de almacenamiento (Dussán-Sarria *et al.*, 2017).

También recientemente García-Procaccini *et al.*, (2016) utilizaron metabisulfito de sodio (MS) al 1 %, ácido ascórbico al 1% + 0.5 % ácido cítrico y ácido ascórbico al 1 % + 1 % de ácido cítrico como agentes antioxidantes, en productos de papa 'Spunta' mínimamente procesados almacenados a 5 °C durante 15 días. En el cual evaluaron fenoles totales, PPO y un análisis microbiológico, en donde se observó el ácido ascórbico y ácido cítrico ayudan a mejorar su calidad nutricional, dado que hay incremento en el contenido de fenoles totales en las papas, sin afectar tanto su calidad sensorial y coloración.

IV. HIPÓTESIS

Mediante este caso de estudio se analizará si el ácido elágico representa una alternativa como conservador de alimentos basados en productos hortofrutícolas enteros y/o procesados, debido a que se aportará información sobre los posibles efectos y beneficios que éste podría generar basado en la literatura. Por lo que partiremos de la hipótesis de que el ácido elágico presentará efectos positivos sobre la vida poscosecha de frutos y vegetales frescos y procesados, ya que actuará disminuyendo el estrés por herida y evitando el daño oxidativo.

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo General

Evaluar mediante un caso de estudio el posible efecto del ácido elágico adicionado a productos hortofrutícolas enteros y alimentos de la gama IV (mínimamente procesados) para prolongar la vida de anaquel y disminuir las pérdidas poscosecha.

V.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar mediante los antecedentes en la literatura los posibles resultados que podríamos esperar de la aplicación de tratamientos basados en ácido elágico sobre productos hortofrutícolas enteros y/o procesados.
- b) Identificar los posibles mecanismos de acción que puede generar la aplicación del ácido elágico que permitan mejorar la vida poscosecha de productos hortofrutícolas.
- c) Establecer los beneficios y respuestas del ácido elágico sobre el estrés oxidativo y el daño por herida.

VI. JUSTIFICACIÓN

Existen muchas tecnologías para la conservación y mejora de productos poscosecha. Sin embargo, la pérdida de alimentos aún sigue siendo un reto importante y se continúa en la búsqueda de la “fuente de la juventud” de los productos hortofrutícolas a fin de tener una mayor vida útil de éstos. Por lo que, se tiene el potencial de generar formulaciones naturales a base de compuestos con actividad biológica positiva en el ser humano y que al mismo tiempo nos brinde la protección de los productos poscosecha. Además, el uso del ácido elágico como protector y bioestimulante en productos poscosecha no se ha llevado a cabo. Así, se puede generar información científica relevante y de alto impacto sobre la aplicación de compuestos naturales en productos poscosecha.

VII. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

VII.1. Acciones que Puede Generar el Ácido Elágico en Productos Hortofrutícolas

Como se mencionó anteriormente, el ácido elágico es un polifenol que ha cobrado gran interés en los últimos 5 años. Su principal importancia es como compuesto nutracéutico con una alta capacidad antioxidante, presente principalmente en la cáscara de los frutos de granada. Por lo que es un compuesto que podría obtenerse como un subproducto de desecho con grandes aplicaciones, incluyendo su uso en productos hortofrutícolas enteros y/o procesados. Es por ello que, las acciones principales que puede generar sobre los frutos se basa en las mismas propiedades del ácido elágico, tales como: antioxidante, biocida y estimulante.

VII.1.1. Efecto Antioxidante

El ácido elágico, puede retrasar, inhibir o prevenir la oxidación de compuestos oxidables (disminuye el estrés oxidativo), gracias a que impide las reacciones de oxidación en cadena que provocan los radicales libres; resultado del propio metabolismo celular. En especial, el ácido elágico tiene gran actividad contra ERO ($\text{ROO}\cdot$, $\text{OH}\cdot$, Cu^{2+} y $\text{O}_2^{\cdot-}$), lo que le permite eliminar de manera natural radicales libres (Salinas-Moreno *et al.*, 2009; Cruz-Antonio *et al.*, 2010). Entre los frutos que más presentan este ácido y a su vez esta actividad, se encuentran la granada, las nueces, las uvas y las bayas (Galano *et al.*, 2014).

El efecto antioxidante del ácido elágico se debe principalmente a la presencia de dos pares de grupos hidroxilo en su estructura (formados por dos anillos aromáticos). En definitiva, la estructura química es la que le confiere la capacidad de poder captar los radicales libres. El grupo metoxilo y el número de grupos hidroxilo, son parte de los parámetros que le permiten tener una mayor actividad antioxidante (Valls-i, 2003). Además, esto le confiere una excelente capacidad de quelación de algunos compuestos como el hierro. Gracias a dicho efecto, los tratamientos con ácido elágico ayudan a retrasar la actividad oxidativa en los productos poscosecha, como lo menciona Liu *et al.*, (2018a) quienes aplicaron este ácido al naranjo enano (kumquat), el cual redujo significativamente la tasa de deterioro, siendo considerado este ácido como un buen conservante. Mientras que Galano *et al.*, (2014)

confirman que el ácido elálgico en solución acuosa y a pH fisiológico, tiene la capacidad de desactivar radicales libres y, en consecuencia, brindar una protección continua contra el estrés oxidativo (Figura 16 y 17).

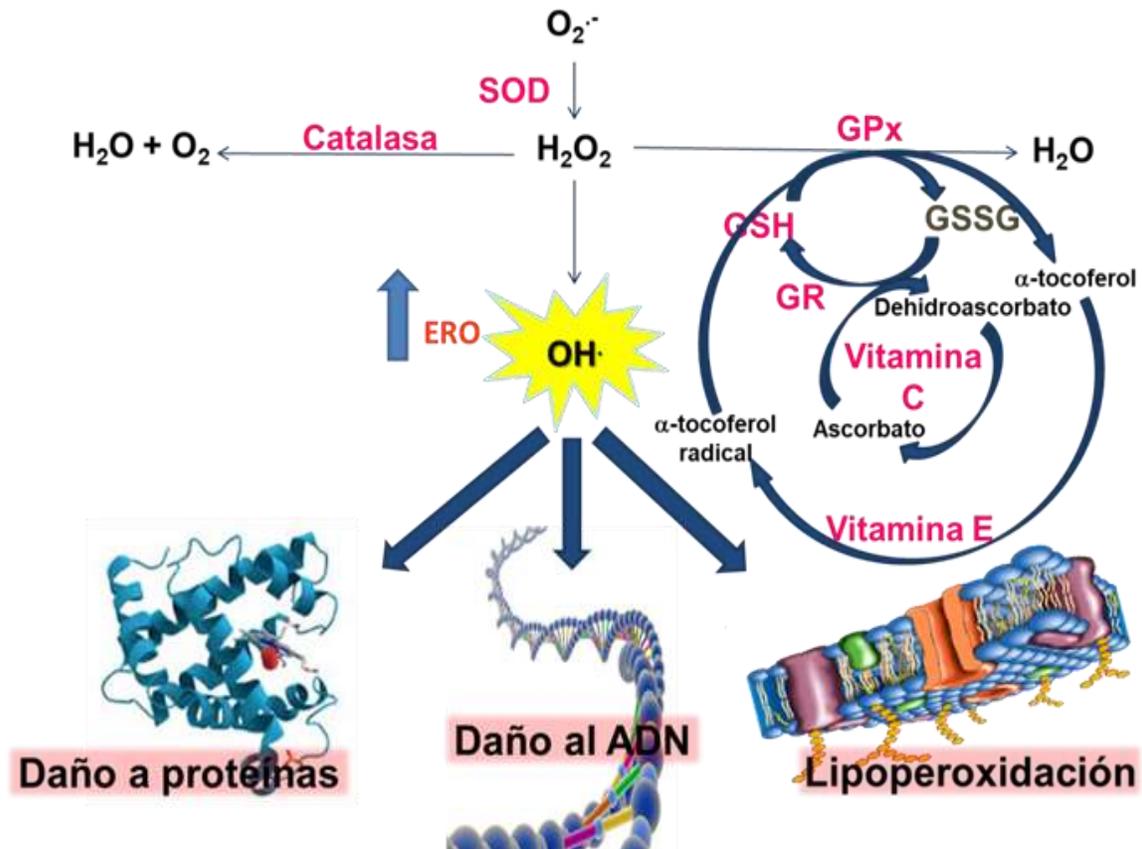


Figura 16. Esquema del incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) los cuales inducen estrés oxidativo. Imagen propia.

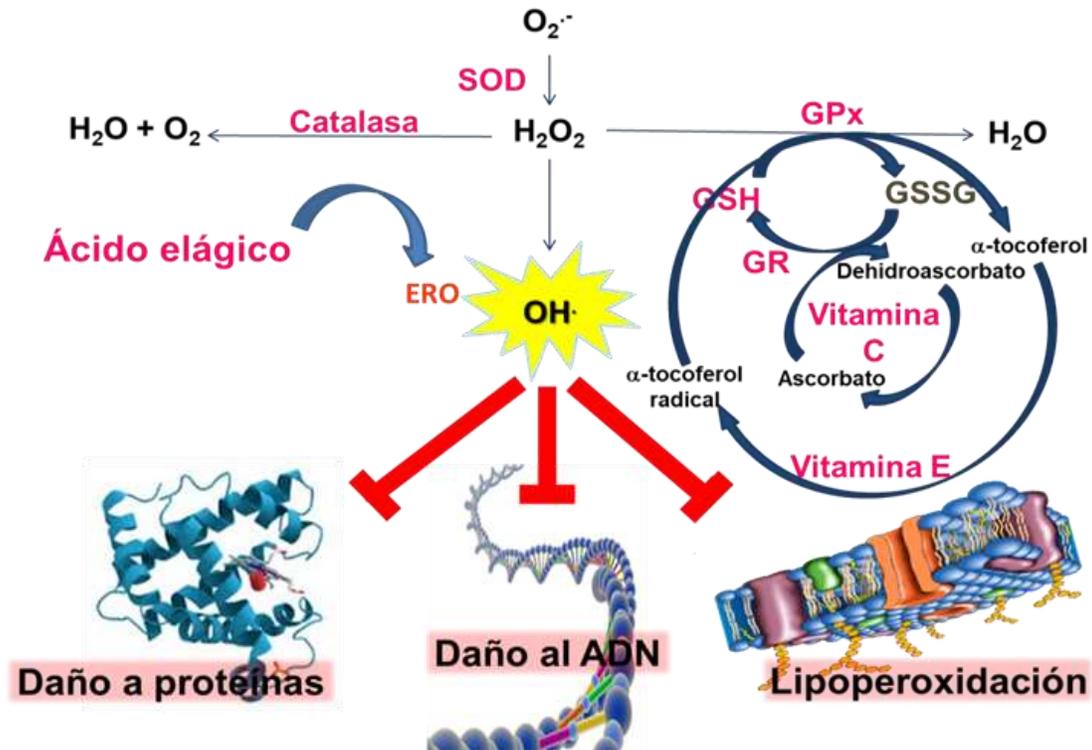


Figura 17. Esquema propuesto del mecanismo antioxidante de la aplicación de ácido elálgico contra el estrés oxidativo. Imagen propia.

VII.1.2. Efecto Biocida

Al ácido elálgico también se le atribuye la capacidad de ser un agente antiviral y antimicrobiano, especialmente en bacterias como *Vibrio cholerae*, *Shigella dysenteriae* y *Campylobacter ssp*, *Bacillo*, *Staphylococcus* y *Salmonella*, posiblemente actuando con la proteína en las paredes de las bacterias (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). También las propiedades astringentes de los taninos ayudan a detener el ataque de insectos y rumiantes, gracias a la formación de complejos que se dan entre los taninos de la planta y las proteínas (hidroxipropericinas) del antagonista, dando como resultado una sensación amarga y desagradable que disuade a los predadores (Sepúlveda *et al.*, 2011).

Machado *et al.*, (2002) mencionan que los precursores de extractos de cascara de granada (*Punica granatum*) son ricos en elagitaninos y ácido elálgico, los cuales causaron la inhibición de *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (MRSA), con una concentración mínima inhibitoria (MIC) de 61.5 $\mu\text{g/mL}$. Dicha capacidad es atribuida gracias

a la actividad girasa, ya que el objetivo principal de estos compuestos es el ADN girasa, neutralizando su actividad durante el proceso de replicación, causando la muerte de los microorganismos que no son capaces de resistir este tipo de antibacterianos (Sepúlveda *et al.*, 2011). Siendo también un potente antifúngico, ya que demostró efectividad contra *Candida spp.* (*Candida krusei* y *Candida parapsilosis*) y *Saccharomyces cerevisiae*, gracias a los extractos de ácido elágico obtenidos de *Lafoensia Pacari* (planta originaria de Brasil), sugiriendo que dicho ácido actúa modificando la pared celular de los microorganismos (Silva-Junior *et al.*, 2010). Por todo lo anterior, es que se propone el siguiente ejemplo de la inhibición de microorganismos presentes en productos poscosecha (Figura 18).

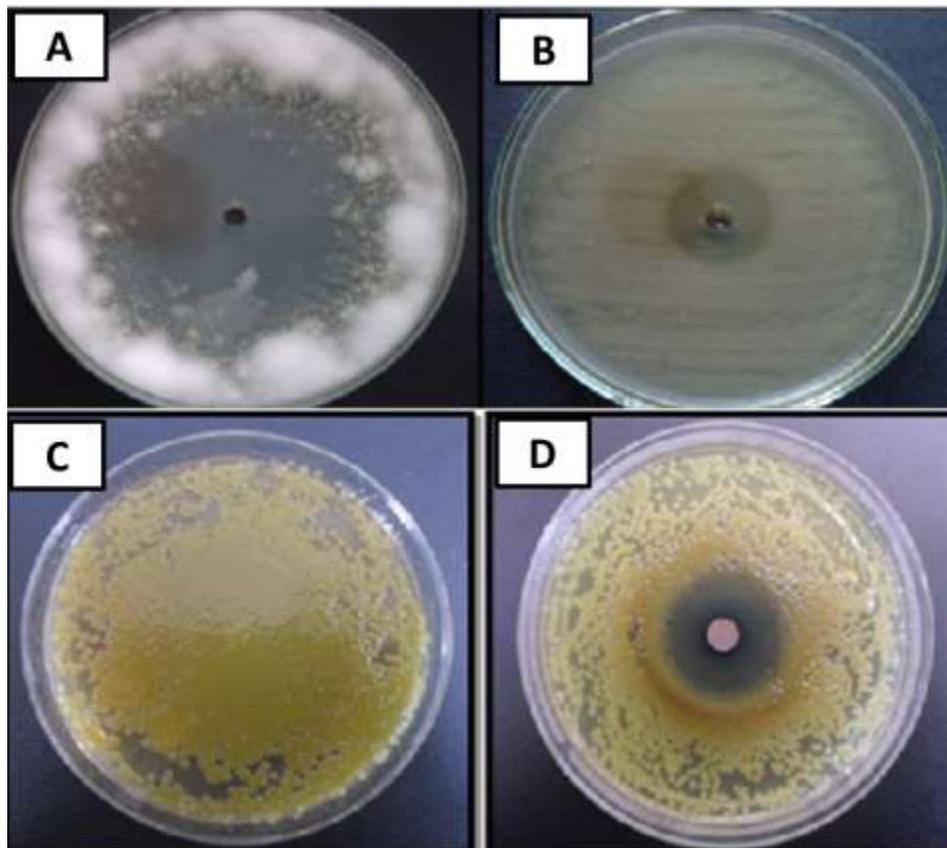


Figura 18. Propuesta del efecto de inhibición antifúngico *in vitro* de *Saccharomyces cerevisiae*. A) Testigo, B) halo de inhibición con ácido elágico; antibacteriana *in vitro* de *Staphylococcus aureus*, C) testigo y D) halo de inhibición con ácido elágico. Imagen generada.

Se ha señalado que, a diferentes concentraciones, el ácido elágico también posee actividad antiviral en células humanas, ya que inhibe la replicación y la propagación del virus de inmunodeficiencia adquirida (VIH) y papiloma humano (HPV), teniendo la capacidad de unirse a las proteínas y bloquear las nucleoproteínas que regulan la replicación de los virus (Cruz-Antonio *et al.*, 2010; Sepúlveda *et al.*, 2011). Sin embargo, no hay información sobre el efecto del ácido elágico contra virus en plantas.

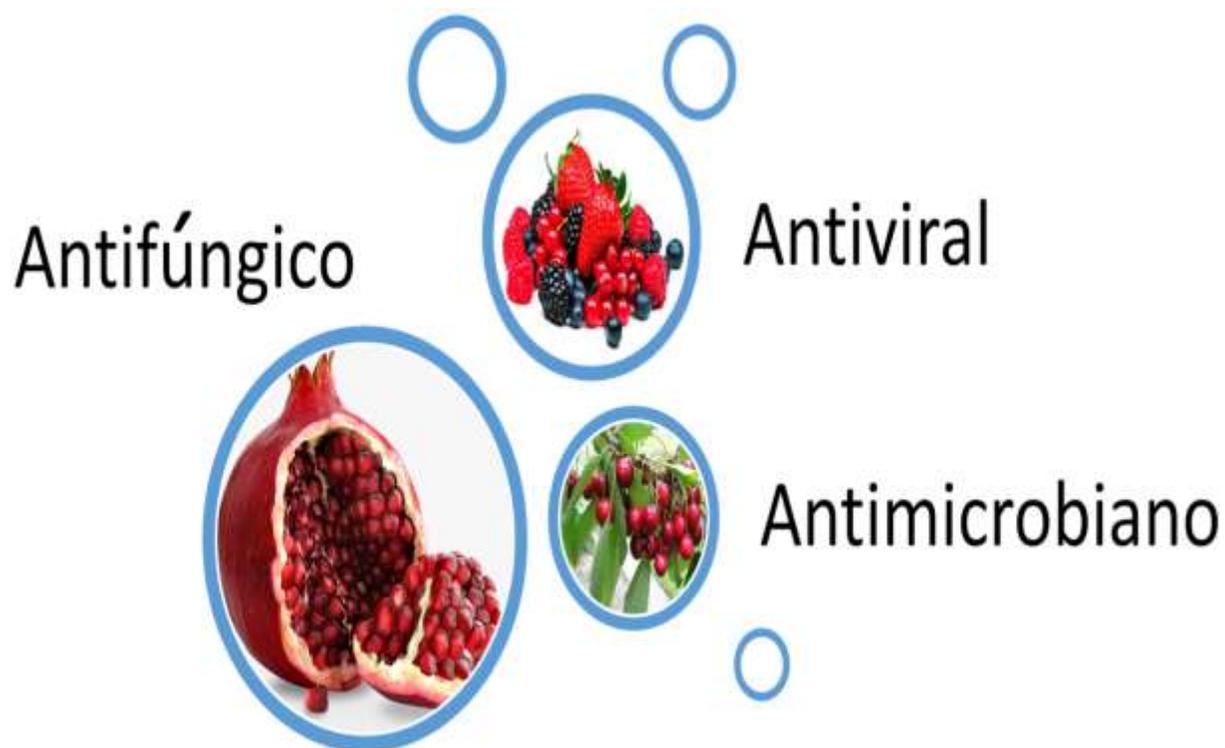


Figura 19. Esquema propuesto de los efectos mediados por ácido elágico. Imagen propia.

VII.1.3. Efecto como Fitorregulador o Estimulante

El efecto que ejercen los compuestos fenólicos y polifenólicos y, a su vez, los pertenecientes a ese grupo (resultado de los metabolitos secundarios de las plantas), son metabolitos esenciales para el buen desarrollo o crecimiento de las plantas (Martínez-Valverde *et al.*, 2000). Dado que se encuentran en las vacuolas de las células vegetales, se liberan al ataque de diversos microorganismos (virus, bacterias y hongos), actuando como agente protector, debido a que es secretado como respuesta de defensa (Gimeno-Creus, 2004).

Además, pueden coadyuvar a la pigmentación de algunos vegetales mediante las antocianinas, brindando colores rojo, violeta, azul y púrpura de plantas y de sus productos, siendo regulados genéticamente a nivel cuantitativo y cualitativo (Martínez-Valverde *et al.*, 2000; Gimeno-Creus, 2004; Sepúlveda *et al.*, 2011). Por otro lado, se puede atribuir que el ácido eláxico en los productos poscosecha, ayuda a retardar el proceso de maduración en ambientes naturales (Figura 20), combinados con otras técnicas como recubrimientos comestibles, entre otros (Ochoa-Reyes *et al.*, 2009).

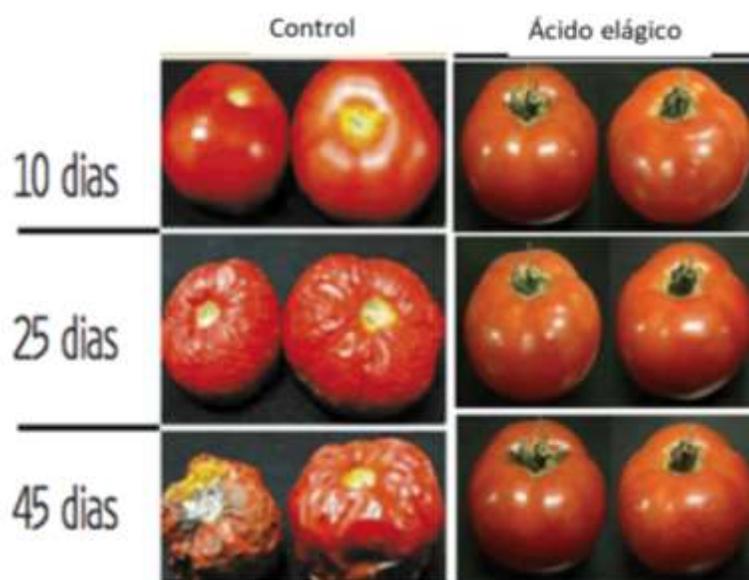


Figura 20. Propuesta del efecto retardador de la maduración mediado por ácido eláxico. Imagen generada.

VII.2. Otros Mecanismos de Acción del Ácido Eláxico.

La estructura química del ácido eláxico le permite ser una molécula muy estable y, a su vez, le confiere diferentes propiedades, tales como: ser un potente antioxidante gracias a la capacidad que éste tiene a reducir las ERO, en especial los radicales libres y prevenir el estrés oxidativo, tanto en productos hortofrutícolas, así como, en el organismo humano (Cruz-Antonio *et al.*, 2010). El consumo de productos vegetales ricos en este tipo de ácidos, permite actuar en el organismo humano para evitar la formación de tumores, gracias a que interactúan con las paredes de las células evitando la proliferación de células metastásicas y ayudando en la prevención del cáncer, ya que inhibe enzimas y receptores de membranas en células

cancerosas (Sepúlveda *et al.*, 2013). Es un potente antimicrobiano, atacando las paredes de las células bacterianas (Sepúlveda *et al.*, 2013). Es antiviral, debido a que bloquea las nucleoproteínas que regulan la replicación de los virus (Sepúlveda *et al.*, 2013).

El ácido elágico inhibe la enzima adolasa reductora responsable de los proteoglicanos en los pequeños vasos sanguíneos, lo que causa daño renal, ceguera, parálisis, ataques al corazón y, en personas diabéticas, la pérdida de extremidades (Figura 21). Por lo que, el consumo de productos vegetales ricos en compuestos fenólicos (ácido elágico) permite prevenir este tipo de enfermedades ya que aumenta la cantidad de insulina gracias al poder antioxidante (Ventura *et al.*, 2009; Sepúlveda *et al.*, 2011). Cabe mencionar que, los frutos más maduros son más ricos en ácido elágico, especialmente en fresas, granada, frambuesa y otros frutos rojos. Por lo que es recomendable el consumo de éstos en la dieta, ya que diversos estudios afirman que estos compuestos ejercen diversos mecanismos benéficos para la salud (Salinas-Moreno *et al.*, 2009). Así, al emplear ácido elágico como un tratamiento poscosecha, además de aumentar la vida útil de los productos, también estamos adicionando valor agregado, gracias al contenido de compuestos nutraceuticos como el ácido elágico.

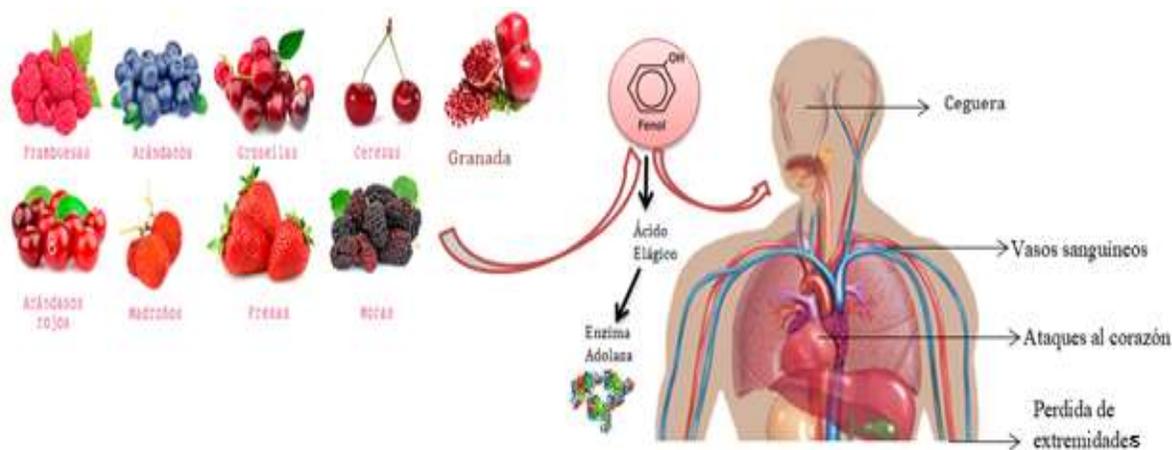


Figura 21. Acción del ácido elágico sobre la enzima adolasa y sus beneficios. Imagen propia.

VII.3. Posibles Resultados de la Aplicación del Ácido Elágico.

De acuerdo a la naturaleza y a las propiedades que posee el ácido elágico, resulta de gran interés, ya que debe seguir siendo aplicado en combinación con las diferentes tecnologías

de recubrimiento comestibles con resultados excelentes en la conservación de vida y calidad de los diferentes productos hortofrutícolas. Por otro lado, se están buscando diferentes métodos de extracción del ácido eláxico para ser comercializado a gran escala en la industria tanto de alimentos como para tratamientos de belleza y usos farmacológicos. Su uso farmacológico se basa en la prevención de enfermedades que atacan directamente a las células, previniendo la oxidación de las mismas, entre otros efectos beneficios de la salud humana. También se podría utilizar en la pre- y poscosecha de las plantas, debido al potencial efecto contra el ataque de diversos microorganismos y su gran poder antioxidante (Figura 22).

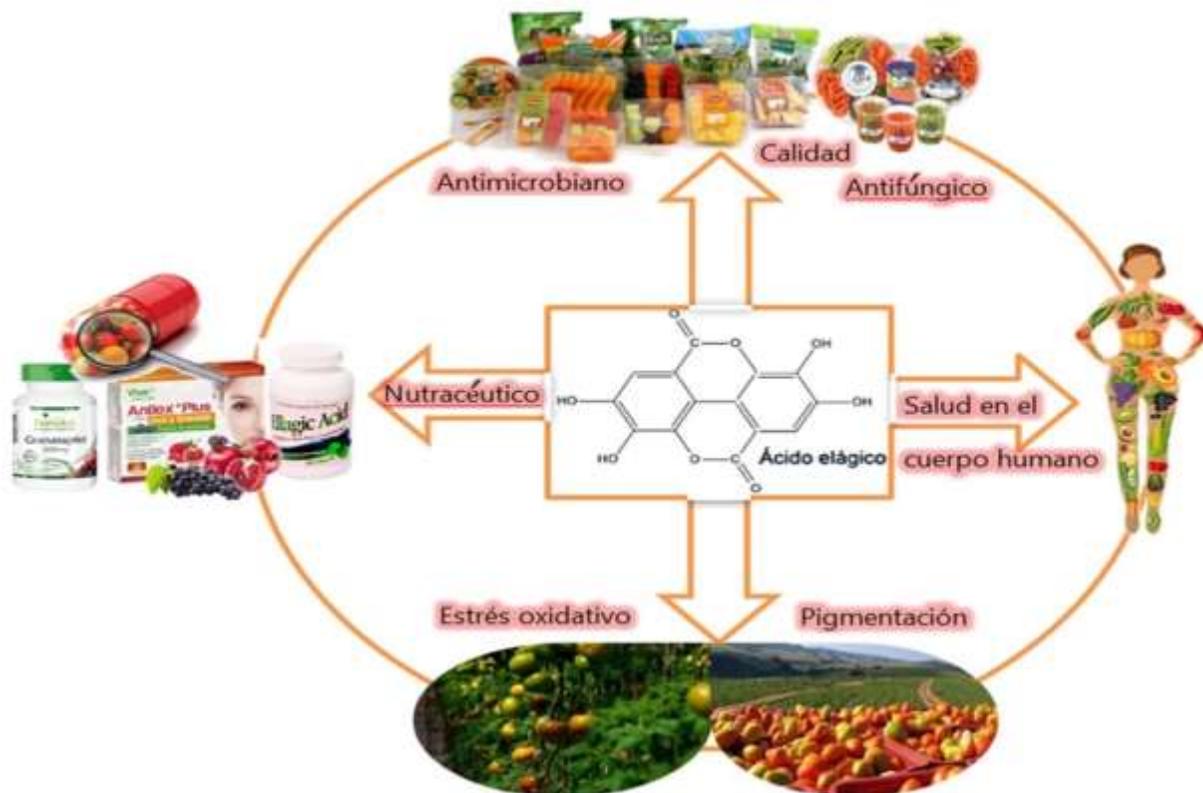


Figura 22. Aplicación del ácido eláxico (imagen propia).

VIII. CONCLUSIONES

La información obtenida demuestra que el ácido elágico tiene un potencial uso para alargar la vida de anaquel de productos poscosecha tanto enteros y frescos, como en PMP, además de darle un valor agregado a los alimentos, ya que posee otros beneficios para el ser humano como: antimicrobiano, antiviral, anticancerígeno, antioxidante, entre otros. Por si fuera poco, puede ser obtenido como un subproducto de desecho, es un compuesto de origen natural y que no genera residuos. Por lo cual se convierte en una alternativa atractiva a nivel poscosecha, para reducir el estrés oxidativo y retardar el proceso de maduración de productos vegetales.

IX. REFERENCIAS

- Aguilar C.N, Sepúlveda L., Ascacio J., Buenrostro J., De la Cruz R., Rodríguez-Herrera R., Contreras-Esquivel J.C., Aguilera-Carbó A. (2014). Aspectos fundamentales de los elagitaninos de granada. *Química hoy, Tópicos Selectos de Investigación*, 1-39, ISBN: 978-607-506-087-3.
- Aguilar-Morales J. (2012). Métodos de conservación de alimentos. Primera edición, Red Tercer Milenio S.C., 6-192.
- Aguiló Aguayo I., Abadias M., Inmaculada Viñas. (2017). Tendencias en el sector de la transformación de frutas y hortalizas. *Artículo Técnico*. Consultado en línea 29 de mayo de 2018. [<http://www.bibliotecahorticultura.com>].
- Ahmed T., Setzer W., Fazel-Nabavi S., Erdogan-Orhan I., Braidly N., Sobarzo-Sanchez E., Mohammad-Nabavi S. (2016). Insights into effects of ellagic acid on the nervous system: a mini review. *Current Pharmaceutical Design*, 22(10), 1350-1360.
- Álvarez-Suarez J.M., Mazzoni L., Forbes-Hernández T.Y., Gasparini M., Sabbadini S., Giampieri F. (2014). The effects of pre-harvest and post-harvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits: A review. *Journal of Berry Research*, 4(1), 1-10.
- Araya H., Clavijo, C., Herrera, C. (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 361-365.
- Ariza M.M.M. (2012). Estrés oxidativo: origen, evolución y consecuencias de la toxicidad del oxígeno. *Nova*, 10(18), 213-225.
- Artés F., Gómez, P.A. Artés-Hernández E. (2007). Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Food Science and Technology International*, 13, 177-188.
- Artés F., Gómez P., Artés-Hernández F., Aguayo, E. (2011). Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 8-18.
- Artés-Calero F. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 61-85.
- Ascacio-Valdés J.A., Aguilera-Carbó A., Rodríguez-Herrera R. y Aguilar-González C. (2013). Análisis de ácido elágico en algunas plantas del semidesierto Mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 44(2), 36-40.

- Avalos-Llano K.R., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R. (2018). Effect of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut strawberries. *Food chemistry*, 264, 393-400.
- Bajaña-Zambrano E.F. (2017). Uso de tres tipos de antioxidantes para la conservación de plátano verde (*Musa × paradisiaca*), mínimamente procesado y empacado al vacío. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 89 pp.
- Balaguera-López H.E., Salamanca-Gutiérrez, F., García, J.C., Herrera, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302-313.
- Balandrano-Pinal F. (2007). Soluciones para irrigación en endodoncia: hipoclorito de sodio y gluconato de clorhexidina. *Revista Científica Odontológica*, 3(1), 11-14.
- Borrego-Alonso S. (2015). Los biocidas vegetales en el control del biodeterioro o del patrimonio documental. Perspectivas e impacto. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(3), 259-269.
- Bustos-Guajardo R. (2017). El papel de México en la producción y exportación de frutas y verduras. Consultado en línea y Disponible en la liga. [<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-papel-de-Mexico-en-la-produccion-y-exportacion-de-frutas-y-verduras-20171016-0088.html>].
- Byers B., Naworski P. (2017). Fruits and vegetables for health. 4Th. Edition. *California Foundation for Agriculture in the Classroom*, 37-39. Disponible en línea [<http://learnaboutag.org/resources/lesson/fruits.pdf>].
- Cagri A., Ustunol Z., Ryser E.T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4), 833-848.
- Canul D., Moo M., Cruz M. (2014). Efecto del ácido cítrico sobre la calidad microbiológica de jícama mínimamente procesada. *De Cuerpos Académicos*, 5, 169:175.
- Caraveo-L J.F. (2018). Diagnóstico y manejo del estrés abiótico en hortalizas. *Serie Nutrición Vegetal, Artículos Técnicos de INTAGRI. México*. Núm. 118, 1-2.
- Cervera-Gascó J., Laserna Arcas, S., Montero Martínez, J. Moreno Hidalgo, M.A. (2015). Development of a DSS tool for optimizing cooling and precooling systems for fruits and vegetables. *UCLM*, 5, 027.
- Charles F., Nilprapruck P., Roux D., Sallanon H. (2018). Visible light as a new tool to maintain fresh-cut lettuce post-harvest quality. *Postharvest Biology and Technology*, 135, 51-56.

- Condell O., Iversen C., Cooney S., Power K.A., Walsh C., Burgess C., Fanning S. (2012). Efficacy of biocides used in the modern food industry to control *Salmonella*-links between biocide tolerance and resistance to clinically relevant antimicrobial compounds. *Journal Applied and Environmental Microbiology*, 78(9): 3087-3097.
- Coop-Gamas F., Corona-Cruz A.I., Rodríguez-Rivera R., Herrera-Rodríguez F.J. (2011). Conservación de la calidad poscosecha en chile habanero (*Capsicum chinense J.*) mediante atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 80-86.
- Cruz-Atonio F., Saucedo-Pompa S., Martínez-Vázquez G., Aguilera A., Rodríguez R., Aguilar C.N. (2010). Propiedades químicas e industriales del ácido elágico. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 2(3), 1-12.
- Cruz-Delgado D., Leos-Rodríguez J.A., Altamirano-Cárdenas J.R. (2013). México: factores explicativos de la producción de frutas y hortalizas ante la apertura comercial. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19(3), 267-278.
- De la Vega-Gramegna C.C.D. (2011). Evaluación de los factores que influyen en la durabilidad de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) como producto de IV gama. *Tesis de Licenciatura*. Versión en línea. 2-94.
- Dhingra D., Jangra A. (2014). Antiepileptic activity of ellagic acid a naturally occurring polyphenolic compound in mice. *Journal of Functional Foods*, 10, 364-369.
- Dussán-Sarria S., Gaona-Acevedo A.F., Hleap-Zapata J.I. (2017). Efecto del Uso de Antioxidantes en plátano verde dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) Cortado en Rodajas. *Información Tecnológica*, 28(4), 03-10.
- Eissa H.A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *Journal of Food Quality*, 30(5), 623-645.
- Estévez-Suarez C. (2012). Efecto de antioxidantes en frutas y metales. Estudio comparativo. 02-16. Consultado en línea el 20 de mayo de 2018. Disponible en línea [https://www.sgapeio.es/descargas/trabajos/trabajosV/ganador1_2.pdf].
- Falguera V., Quintero. P., Jiménez A., Muñoz J.A., Ibarz A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active function and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22: 292-303.
- Fan P., Huber D.J., Su Z., Hu M., Gao Z., Li M., Zhang, Z. (2018). Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life. *Food chemistry*, 243, 19-25.
- Fazio T., Warner C.R. (1990). A review of sulphites in foods: analytical methodology and reported findings. *Food Additives & Contaminants*, 7(4), 433-454.

- Fernández-Valdés D., Bautista-Baños S., Fernández-Valdés D., Ocampo-Ramírez A., García-Pereira A., Falcón-Rodríguez A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3): 52-57.
- Fuentes-Alfonso L., Domínguez-Suarez A., Alema-García S., Pérez-Hernández Y. (2007). El estrés oxidativo en las plantas. Causas, efectos y mecanismos de defensa antioxidante, 1:44. Disponible en línea.
<http://monografias.umcc.cu/monos/2007/agronomia/m07123.pdf>
- Fredes C. (2009). Antioxidantes en berries nativos chilenos. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 469:478.
- Fretes F., Martínez M. (2011). Hortalizas y frutas. Análisis de la cadena de valor en el departamento de concepción. *Revisión de la Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID/Paraguay)*. N° AID-526-A-10-00001, 4-59.
- Gago-Mesejo D. (2015). Efecto de las heridas sobre la resistencia de frutos de pimiento a “*Botrytis cinérea*”. *Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal e Ecología*, 1-19.
- Galano A., Marquez F.M., Pérez-González A. (2014). Ellagic acid: an unusually versatile protector against oxidative stress. *Chemical Research in Toxicology*, 27(5), 904-918.
- García-Niño WR., Zazueta C. (2015). Ellagic acid: pharmacological activities and molecular mechanisms involved in liver protection. *Pharmacological Research*, 97, 84-103.
- García-Procaccini L.M., Goñi M.G., Huarte M., Martínez M.J., Aires C.B. (2016). Calidad nutricional y microbiológica en papas cortadas tratadas con agentes antioxidantes. VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC 2016). 7 pp.
- Garmendía G., Vero S. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. Tecnología poscosecha, *Revista Horticultura*, 197, 18-27.
- Gil-Muñoz M., Allende A., Beltrán-Riquelme D., Selma M.V. (2005). Nuevas tendencias de procesado y conservación de alimentos vegetales de IV gama, *Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*, 146:151.
- Gil I.M., Periago P.M., Beltrán D. (2003). Uso del ozono en la higienización de frutas y hortalizas. *Revista de la Industria Distribución y Socioeconomía*, 44:48.
- Gimeno-Creus E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Revista Nutrición Ámbito Farmacéutico*, 23 (6). 1-5.

- González-Quintero N.A. (2016). Estudio de posibilidad de obtención de hipoclorito de calcio y cloruro de calcio a partir de cloro. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Química Farmacia. Departamento de Ingeniería Química). *Ingeniería Química*, 1-69.
- Gorny J.R. Kader A.A. (2005). Fresh cut fruit products. En Cantwell M. (ed.) Fresh cut products. maintaining quality and safety. Postharvest Horticulture Ser. No. 10. Postharvest outreach program, University of California, Davis. Sección 11c, pp 1-10.
- Hernández A.E., Cardozo C.J.M., Florez C.E.R., Cordoba L.J.P. (2014). Aplicación de tecnología de barreras para la conservación de mezclas de vegetales mínimamente procesados. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(1), 7237-7245.
- Hernández-Ángel M., García-Bacallao L., Rojo-Domínguez D.M., Olivares-Padilla D. (2003). Almendro de la India: potencial biológico valioso. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 22(1), 41-7.
- Herrera-Martínez S.L., Mora-Herrera M.E., García-Velasco R., Gomora-Rasso J., Rogel-Millán G. (2013). Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa de plantas de rosal. *Revista Terra Latinoamericana*, 31(3), 193-199.
- Hidalgo G.I., Almajano M.P. (2017). Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: a review. *Antioxidants*, 6(1), 7.
- Illescas J.L. (2016). Mercado de frutas y hortalizas: Consumo y posicionamiento de las Mercas. *Distribución y Consumo*, 26(143), 92-133
- Inestroza-Lizardo C., Magalhães-Marques K., Gomez-Gomez H., Cury-Galati V., Ribeiro-Guimarães J. (2015). Principales consideraciones en el procesamiento mínimo de tubérculos y raíces para industrias pequeñas y medianas (artesanales). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 158-164.
- INTAGRI (2018). Estrés Vegetal. parte I: estrés por altas temperaturas. Revista INTAGRI S.C., Intagri, 1:7. Consultado en línea el 22 de mayo de 2018 y disponible en pdf [<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/estres-vegetal-parte-1-estres-por-altas-temperaturas> -].
- Jeong, M.A., Jeong R.D. (2018). Applications of ionizing radiation for the control of postharvest diseases in fresh produce: recent advances. *Plant Pathology*, 67(1), 18-29.
- Jongen W. (2002). Fruit and vegetable processing: Improving quality. Jongen, W. (Ed.). Elsevier. New York, EUA. 405, ISBN: 9781855736641.

- Kader A.A. (2011). Biología y tecnología postcosecha: un panorama. En: Kader A, editor. Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3rd ed. Oakland, USA: University of California; 1992. pp. 43-14.
- Kasai K., Yoshimura M., Koga T., Arai M., Kawasaki S. (2006). Effects of oral administration of ellagic acid-rich pomegranate extract on ultraviolet-induced pigmentation in the human skin. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 52(5), 383-388.
- Lara-Oviedo G.A.L., Navarro M.C., Altamiranda J.A. (2018). Estudio de fotoreactivación en cultivos microbiológicos obtenidos de carga microbiana de la superficie de fresas sometidas a diferentes dosis de luz ultravioleta de onda corta UV-C. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 32-40.
- Lata D., Aftab M.A., Homa F., Ahmad M.S., Siddiqui M.W. (2018). Effect of eco-safe compounds on postharvest quality preservation of papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(1), 8.
- Ligia R., López, L., García, M. (2010). Determinación de la composición química y actividad antioxidante en distintos estados de madurez de frutas de consumo habitual en Colombia, Mora (*Rubus glaucus* B.), Maracuyá (*Passiflora edulis* S.), Guayaba (*Psidium guajava* L.) y Papayuela (*Carica cundinam*). *Alimentos Hoy, Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 19(21), 35-42.
- Linares-Morales J.R., Gutiérrez-Méndez N., Rivera-Chavira B.E., Pérez-Vega S.B., Nevárez-Moorillón, G. V. (2018). Biocontrol processes in fruits and fresh produce, the use of Lactic Acid Bacteria as a Sustainable Option. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 50.
- Liu, Y., Liu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Shang, Y. (2018a). Evaluating effects of ellagic acid on the quality of kumquat fruits during storage. *Scientia Horticulturae*, 227, 244-254.
- Liu X., Lu Y., Yang Q., Yang H., Li Y., Zhou B., Li t., Gao Y., Qiao L. (2018b). Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: A potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties. *Postharvest Biology and Technology*, 146, 36-42.
- López-Camelo A.F. (2003a). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. Capítulo 1. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151*. Consultado el 20 de abril de 2018. Disponible en línea. [<http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s04.htm>].
- López-Camelo A.F (2003b). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. Capítulo 5. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151*.

Consultado en línea el 15 de abril de 2018
[<http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s08.htm>].

- López-Mata M.A., Ruiz-Cruz S., Ornelas-Paz J.J., Gassos-Ortega L.E. (2013). Aplicación de tratamientos térmicos a frutos de aguacate para prolongar su vida de anaquel. *Biotecnia, Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 15(3), 23-28.
- Ma L., Zhang M., Bhandari B., Gao Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23-38.
- Machado T.D.B., Leal I.C., Amaral A.C.F., Santos K., Silva M.G.D., Kuster R.M. (2002). Antimicrobial ellagitannin of *Punica granatum* fruits. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 13(5), 606-610.
- Macías-Macías A. (2010). Zonas hortofrutícolas emergentes en México ¿viabilidad de largo plazo o coyuntura de corto plazo? La producción de aguacate en el sur de Jalisco. *Estudios Sociales* (Hermosillo, Son.), 18(36), 203-235.
- Martillanes S., Rocha-Pimienta J., Cabrera-Bañegil M., Martín-Vertedor D. Delgado-Adámez J. (2017). Application of Phenolic Compounds for food preservation: Food additive and active packaging. En: Phenolic Compounds-Biological Activity, 39-51. DOI: 10.5772 / 66885.
- Martínez-Valverde I., Periago M.J., Ros G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5-18.
- Maulén A., Obando-Ulloa J.M., Barraza G., Machuca A., Peña-Neira Á., Luchsinger L., Escalona V. (2012). Establecimiento de la composición de la atmósfera más adecuada para comercializar duraznos 'royal glory' mínimamente procesados en gajos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2), 181-186.
- Mchugh T.H., Senesi E. (2000). Apple wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, 65:480-485.
- Méndez A.D.G. (2008). Aplicación de la técnica de IV gama para la elaboración de ensaladas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(2), 4658-4666.
- Mestiza-Rojas M.D.J., Escalante, R. (2003). Exportaciones hortofrutícolas mexicanas en el TLCAN: ¿ventaja comparativa? *Cuadernos de Desarrollo Rural*, (50), 35-62.
- Min S.C., Roh S.H., Niemira B.A., Boy, G., Sites J.E., Fan X., Jin T.Z. (2018). En el envase, tratamiento con plasma frío atmosférico de tomates a granel para la seguridad y conservación microbiológica. *Food Research International* , 108 , 378-386.

- Mogoşanu G.D., Grumezescu A.M., Bejenaru C., Bejenaru L.E. (2017). Natural products used for food preservation. En: *Food Preservation*, 365-411.
- Mora-Herrera M.E., Peralta-Velázquez J., López-Delgado H.A., García-Velasco R., González-Díaz J.G. (2011). Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de crisantemo. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 17(SPE2), 73-81.
- Muñoz-Villa A., Sáenz-Galindo A., Lluvia L.L., Cantú-Sifuentes L., Barajas-Bermúdez L. (2014). Ácido cítrico: compuesto interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6 (12), 18-23.
- Muthukumaran S., Tranchant C., Shi J., Ye X., Xue S.J. (2017). Ellagic acid in strawberry (*Fragaria* spp.): Biological, technological, stability, and human health aspects. *Food Quality and Safety*, 1(4), 227-252.
- Ni Z., Xu S., Ying T. (2018). The effect and mechanism of ultrasonic treatment on the postharvest texture of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). *International Journal of Food Science y Technology*.
- Núñez-López V., Martínez-Damián M., Colinas-León M. (2012). Fisiología poscosecha de albahaca (*Occimum basilicum* L.) con y sin acolchado. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(3), 307-315.
- Ochoa-Reyes E., Charles-Rodríguez A.V., Saucedo-Pompa S., Aguilar C.N. (2009). Incremento en la calidad y vida de anaquel de manzanas recubiertas con cera natural a base de dos componentes bioactivos, *VII Simposio Internacional de Producción de alcoholes y Levaduras*, 1.
- Oliva-Aguilar P.F. (2015). Propuesta para el control y reducción de mermas en el almacenamiento frigorífico de frutas y hortalizas. Tesis, *Repositorio Dspace*, 6-50.
- Ozonas B.R. (2010). Biocidas: Datos sobre su evaluación para la salud, industria alimentaria e impacto ambiental. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 99-124.
- Palomo I., Gutiérrez M., Astudillo L., Rivera C., Torres C., Guzmán L., Alarcón M. (2009). Efecto antioxidante de frutas y hortalizas de la zona central de Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(2), 152-158.
- Pankaj S.K., Wan Z., Keener K.M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, 7(1), 4.
- Parra A., Fischer, G. (2013). Ripening and postharvest behavior in the pineapple guava (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 98-110.

- Parzanese M. (2012). Vegetales mínimamente procesados. *Alimentos Argentinos*, 55, 31-39.
- Pefaur L.J. (2014). IV Gama una industria alimentaria en crecimiento, IV gama, frutas, hortalizas, agroindustria, valor agregado, ODEPA, Ministerio de Agricultura, 1:5. Consultado en línea 29 de mayo de 2018 y Disponible en pdf. [www.odepa.gob.cl].
- Pérez A.R., Quintero E.M. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos Hoy, Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(34), 13-25.
- Pérez-Gago M., Del Río M.A. y Rojas-Argudo C. (2008). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola*, 207, 54-57.
- Piñeiro M., Diaz-Rios L.B. (2004). Mejoramiento de la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas: un enfoque práctico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. manual para multiplicadores. Consultado en línea y Disponible en pdf. [http://www.fao.org/docrep/007/y5488s/y5488s0b.htm#bm11]
- Pokorny J. (1999). Antioxidants in food preservation. En: Handbook of Food Preservation. Rahman M.S., Dekker M., ed. New York. Pág: 309-338.
- Quintero-Cerón J.P.P., Pérez, Y.B., Real, C.V. (2013). Avances en la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UVC) en frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados: revisión. 1(8), 29-60
- Reid S.M. (2011). Maduración e índice de madurez. En: Kader A.A., Pelayo-Zaldivar C. (Eds), Tecnología Postcosecha de Cultivo Hortofrutícolas. Universidad de California. Editorial. Pp. 63-71.
- Reyes L.F., Villarreal J.E., Cisneros-Zevallos L. (2007). The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Journal Food Chemistry*, 101(3), 1254-1262.
- Rivera-Pastrana D.M., Gardea-Béjar, A.A., Martínez-Téllez M.Á., Rivera-Domínguez M., González-Aguilar G.A. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 361-372.
- Robles Madrigal P.C., Cahlini-Herrera J.D. (2017). Conservadores que Inhiben el Crecimiento Microbiano en la Elaboración de Alimentos Procesados. *Humanidades, Tecnología y Ciencia del Instituto Politécnico Nacional*. ISSN 2007-1957, 1-7.
- Rojas-Ávila M.R., Vargas-Vargas L., Tamayo-Cortez J.A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(2), 153:161.

- Romajaro F., Martínez-Madrid, M.C., Pretel M.T. (2006). Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios. *V Simposio Ibérico VIII Nacional de Maduración y Post-Recolección, Orihuela Alicante*. pp. 91-96.
- Ruelas-Chacón X., Reyes-Vega M., Valdivia-Urdiales B.C.J. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 31-37.
- Ruibal-Brunet I.J., Dubed-Echeverria M., Martínez-Luzardo F., Noa-Romero E., Vargas-Guerra L.M., Santana-Romero J.L. (2003). Inhibition of HIV replication by tannin extracts from *Pinus Caribaea* Morelet. *Revista Cubana de Farmacia*. 37(2), 2-9.
- SAGARPA (2016). balanza comercial agroalimentaria*. Enero-junio 2016. Consultado en línea el 16 de abril de 2018. Disponible en formato pdf. [https://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/sagarpa/Documents/2016_08_18_Balanza_Agroalimentaria_enero_junio_EU.pdf].
- SAGARPA (2017). Análisis de la balanza comercial agroalimentaria de México, junio 2017. Consultado en línea el 18 de abril de 2018. Disponible en formato pdf. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251022/Balanza_junio.pdf]
- SAGARPA-SIAP (2017). Atlas agroalimentario 2017. Primera edición. pp. 7-220. Consultado en línea el 18 de abril de 2018. En formato pdf. [www.gob.mx/siap].
- Salinas-Moreno Y., Almaguer-Vargas G., Peña-Varela G., Ríos-Sánchez R. (2009). Ácido elálgico y perfil de antocianinas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus L.*) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(1), 97-101.
- Sauceda E.N.R. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible*, 7(1), 153-170.
- Saucedo-PompaS., Saenz-Galindo, A., Jasso-Cantu D., Aguilar-González M.A., Aguilar C.N. (2009). Influencia del ácido elálgico y de cera de candelilla de cubiertas comestibles en la vida de anaquel de manzanas. *Scribd*, 1 (2). 1-6.
- Schaefer J., Santos T., (2014). Vitaminas: vitamina C (Ácido ascórbico). Disponible en la pagina [<http://quipibid.blogspot.com/2014/09/vitaminas-vitamina-c-acido-ascorbico.html>]._Imagen.
- Seminario L., Acuña J., Williams S. (2010). El ozono y su aplicación en la conservación de alimentos. *Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Concepción. Concepción, Chile*, 1-7.

- Sepúlveda L., Ascacio A., Rodríguez-Herrera R., Aguilera-Carbó A., Aguilar C.N. (2011). Ellagic acid: Biological properties and biotechnological development for production processes. *African Journal of Biotechnology*, 10(22), 4518-4523.
- Sepúlveda L., Ascacio-Valdés J., Buenrostro-Figueroa J., De la Cruz R., Rodríguez R., Contreras-Esquivel J., Aguilera-Carbo A., Aguilar C. (2013). Aspectos fundamentales de los elagitaninos de granada (*Punica granatum L.*). En: Felipe Ávalos-Belmontes F., Zapata-González IJ (Eds). *Química hoy, Tópicos Selectos de Investigación*. Universidad Autónoma de Coahuila. Pág: 45-66.
- Serra H.M., Cafaro T.A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525-532.
- SIAP (2013). Hortalizas, legumbres y frutos en las exportaciones mexicanas. Principales exportaciones mexicanas de legumbres, hortalizas y frutos, 2012. Informa Número 18. Consultado en línea el 19 de abril de 2018. [<http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/018-e.html>].
- Silva-Junior I.F., Raimondi M., Zacchino S., Cechinel-Filho V., Noldin V.F., Rao V.S., Martins D.T. (2010). Evaluation of the antifungal activity and mode of action of lafoensia pacari A. St.-Hil., lythraceae, stem-bark extracts, fractions and ellagic acid. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(3), 422-428.
- Silveira C.A. (2010). Problemas observados durante el transporte de frutas en Uruguay. Evaluación no destructiva de la calidad e implementación en la industria frutícola. Problemas observados durante el transporte de frutas en Uruguay. Evaluación no destructiva de la calidad e implementación en la industria frutícola. 3. 2-17.
- Supapvanich S., Anartnet D., Krungpree C. (2018). Efficiency of coconut water immersion inhibiting browning incidence on cut-surface of fresh-cut 'Gala' apples during storage. *In MATEC Web of Conferences* (Vol. 192, p. 03004). EDP Sciences.
- Tamayo J., Centurión A., Tamayo E., Saucedo C., Sauri E. (2010). Vida útil de de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(2), 154-161.
- Tapia C., Moscoso N., Vasco C., Valencia-Chamorro S. (2015). Cambio metabólicos y fisiológicos en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 1-7.
- Thompson F.J., Mitcham J.E., Gordon-Mitchell F. (2011). Preparación para el Mercado en fresco. En: Kader A.A., Pelayo-Zaldivar C. (Eds), *Tecnología Postcosecha de Cultivo Hortofrutícolas*. Universidad de California. Editorial. Pp.

- Thompson F.J., Gordon-Mitchell F. (2011). Empaques para productos hortofrutícolas. En: Kader A.A., Pelayo-Zaldivar C. (Eds), *Tecnología Postcosecha de Cultivo Hortofrutícolas*. Universidad de California. Editorial. Pp.
- Toivonen P.M.A., Brummell D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48:1-14.
- Torales A.C., Gutierrez D.R., Rodriguez S.D.C. (2015). Diseño de una línea de proceso para un nuevo producto iv gama: mezcla de rúcula cortada y anco rallado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 165-172.
- Valls-i, Bélles V. (2003). El Papel Antioxidante de los Alimentos de Origen Vegetal. Vitaminas y Polifenoles. Facultad de Medicina, Universidad de Valencia. *Revista Nutrición*. 1-9. Consultado en línea el 20 junio de 2018 y disponible en pdf. [http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_03/Funcionales/vegetales,vitaminas,polifenoles.pdf].
- Vally H., Misso N.L., Madan V. (2009). Clinical effects of sulphite additives. *Clinical & Experimental Allergy*, 39(11), 1643-1651.
- Vargas E.B.A. (2015). Aplicación de revestimientos comestibles en papaya (*Carica papaya*) mínimamente procesada. *Revista Científica Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(1), 15.
- Ventura J., Gutiérrez-Sánchez G., Rodríguez-Herrera R., Aguilar C.N. (2009). Fungal cultures of tar bush and creosote bush for production of two phenolic antioxidants (pyrocatechol and gallic acid). *Folia Microbiol.* 54(3): 199-203.
- Vicente N.C., Tallaa A.Q. (2010). Efecto del ozono en los sistemas de higienización de frutas y hortalizas de los laboratorios especializados de la FIIA-UNASAM. *Aporte santiaguino*, 3(1), 47.
- Vilaplana M. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos: vitaminas, minerales y suplementos. *Revista Offarm: Farmacia y Sociedad*, 26(10), 79-86.
- Villada-Moreno J.J. (2010). Conservadores químicos utilizados en la industria alimentaria. *Monografía. UAAAN*, 8:52.
- Wang Y., Li W., Cai W., Ma Y., Xu Y., Zhao X., Zhang C. (2018). Visible light exposure reduces the drip loss of fresh-cut watermelon. *Journal of food science and technology*, 55(5), 1816-1822.
- Yang W., Wu Z., Huang Z.Y. Miao X. (2017). Preservation of orange juice using propolis. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3375-3383.

Zaro M.J., Vicente A., Chaves A.R., Concellón A. (2016). Cambios en los antioxidantes fenólicos de berenjena violeta durante el desarrollo y almacenamiento refrigerado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 86-92.