



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química
Colegio de Ingeniería en Alimentos

“Efecto de los tratamientos post-cosecha tradicionales y emergentes sobre los compuestos antioxidantes en tomate (*Solanum lycopersicon L.*) almacenado en refrigeración”

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

Raquel Flores Sánchez

Asesor:

Dra. María Lorena Luna Guevara

Junio 2015

ÍNDICE

I.	Introducción.....	1
II.	Objetivos.....	3
	2.1 Objetivo General.....	3
	2.2 Objetivos Particulares.....	3
III.	Hipótesis.....	3
IV.	Marco Teórico.....	4
	Capítulo 1 Tomate.....	4
	1.1 Generalidades del tomate.....	4
	1.2 Composición proximal y funcional en tomate.....	5
	1.2.1 Valor nutricional.....	5
	1.2.2 Antioxidantes presentes en el tomate.....	6
	Capítulo 2 Compuestos fitoquímicos.....	8
	2.1 Terpenos.....	8
	2.2 Fenoles.....	9
	Capítulo 3 Antioxidantes.....	11
	3.1 Radicales libres.....	12
	3.2 Reacciones de los antioxidantes.....	13
	3.3 Tipos de antioxidantes.....	14
	3.3.1 Antioxidantes naturales.....	14
	3.3.2 Antioxidantes sintéticos.....	15
	3.4 Medición de la actividad antioxidante.....	16
	Capítulo 4 Tratamientos y condiciones post-cosecha.....	17
	4.1 Tratamientos térmicos post-cosecha.....	17
	4.1.1 Escaldado.....	19
	4.2 Tratamientos emergentes.....	21
	4.2.1 Termosonicación.....	23
	4.3 Efecto de los tratamientos post-cosecha en vegetales.....	23
	4.4 Efecto de las condiciones de almacenamiento en tomate.....	24
	4.4.1 Refrigeración.....	25
V.	Metodología.....	26
	5.1 Pruebas preliminares.....	26
	5.2 Diseño experimental.....	26
	5.3 Desarrollo experimental.....	27
	5.4 Selección de materia prima.....	29
	5.5 Termosonicación.....	29
	5.6 Escaldado convencional.....	29
	5.7 Escaldado a bajas temperaturas.....	29
	5.8 Almacenamiento.....	30
	5.9 Contenido de licopeno.....	30
	5.10 Actividad antioxidante DPPH.....	31
	5.11 Análisis estadístico.....	31

VI.	Resultados y discusión.....	32
6.1	Contenido de licopeno en frutos sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.....	32
6.2	Actividad antioxidante en frutos sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.....	36
6.3	Contenido de licopeno en frutos almacenados a diferentes tiempos y sometidos a distintos tratamientos post-cosecha.....	40
6.4	Actividad antioxidante en frutos almacenados a diferentes tiempos y sometidos a distintos tratamientos post-cosecha.....	44
6.5	Valores de actividad antioxidante reportados como Ic_{50} en frutos de jitomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha y almacenados a diferentes tiempos.....	47
VII.	Conclusiones.....	50
VIII.	Bibliografía.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Solanum Lycopersicon L</i>	4
Figura 2. Estructura química del fenol.....	10
Figura 3. Estructura de antioxidantes sintéticos más comunes.....	16
Figura 4. Unión del calcio con la pectina.....	21
Figura 5. Diagrama general de la metodología.....	28
Figura 6. Contenido de licopeno en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.....	32
Figura 7. Actividad antioxidante para el tratamiento de Escaldado Convencional (E.C), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.....	36
Figura 8. Actividad antioxidante para el tratamiento de Escaldado a Bajas Temperaturas (E.B.T), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.....	37
Figura 9. Actividad antioxidante para el tratamiento de Sonicación (S), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.....	38
Figura 10. Contenido de licopeno en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha considerando 0 y 5 días de almacenamiento a 4°C.....	39
Figura 11. Actividad antioxidante en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha, considerando 0 y 5 días de almacenamiento a 4°C.....	40
Figura 12. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Escaldado Convencional, almacenados a 4°C, durante 5 días.....	41
Figura 13. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Escaldado a Bajas Temperaturas, almacenados a 4°C, durante 5 días.....	42
Figura 14. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Termosonicación, almacenados a 4°C, durante 5 días.....	44
Figura 15. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 0, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.....	45
Figura 16. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 3, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.....	46
Figura 17. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 5, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química y nutricional del tomate.....	6
Tabla 2. Clasificación de terpenos.....	9
Tabla 3. Clasificación de fenoles.....	11
Tabla 4. Tratamientos y características de tratamientos convencionales utilizados en los alimentos.....	18
Tabla 5. Tipos de tratamientos emergentes.....	22
Tabla 6. Pruebas preliminares.....	26
Tabla 7. Variables independientes.....	27
Tabla 8. Valores de actividad antioxidante reportados como Ic50 en frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha y almacenados a diferentes tiempos.....	48
Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson entre los contenidos de Licopeno e Ic50 de frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha almacenados durante 0 y 5 días a 4°C.....	49

I. INTRODUCCIÓN

El tomate o jitomate se originó muy probablemente en las tierras altas de la costa occidental de Sudamérica, algunas investigaciones coinciden en asignar el origen del tomate a esta zona, apoyados en la gran cantidad de variedades silvestres que se pueden hallar aún en campos y zonas eriazas de esta parte de Sudamérica (InfoRural, 2012); es considerado la segunda especie hortícola más importante debido a que la superficie sembrada a nivel nacional, con aproximadamente 78 mil hectáreas y un volumen de producción que supera los 70 millones de toneladas, por lo que se considera a este producto hortícola entre los de mayor importancia económica (Gutiérrez, 2001). Cabe mencionar que en el estado de Puebla se está impulsando la producción de tomate en invernaderos (InfoRural, 2012) y durante el 2011 tuvo una producción total de 31 mil 997.05 toneladas. Sin embargo en ciertas épocas del año en las que se incrementó significativamente su oferta se ocasionó una saturación estacional en el mercado nacional y como resultado se generaron significativas pérdidas económicas; a su vez los productores desconocen los tratamientos post-cosecha y las condiciones óptimas de almacenamiento que puedan darle un valor agregado al fruto en forma fresca (Pérez, 2012).

Al mismo tiempo los productores ignoran la importancia del valor nutrimental del tomate, por lo que se debe buscar nuevas alternativas post-cosecha para evitar pérdidas y aprovechar los beneficios del fruto.

Según diversos estudios epidemiológicos el consumo de tomate puede reducir significativamente el riesgo de contraer enfermedades degenerativas, entre las que se incluyen varios tipos de cáncer, padecimientos cardiovasculares y cataratas (Block *et al.*, 1992 y Magoala *et al.*, 1991).

Los beneficios del tomate pueden atribuirse a su contenido en flavonoides, carotenoides, polifenoles y a sus altos niveles de licopeno sustancia que actúa

como un poderoso antioxidante (Porrini Riso *et al.*, 2008; Sánchez-Moreno *et al.*, 2004 y Lenucci *et al.*, 2006). Además del licopeno el tomate contiene otras sustancias antioxidantes como lo son la vitamina C, β -caroteno y α -tocoferol (Sies y Stahl, 1998).

El valor nutricional del tomate puede verse afectado por los tratamientos térmicos particularmente la bioaccesibilidad del contenido de licopeno y actividad antioxidante del fruto (Dewanto *et al.*, 2002). Asimismo conforme va madurando el fruto puede ir variando considerablemente la actividad antioxidante (Rodrigo-García *et al.*, 2006). De acuerdo con los antecedentes mencionados el presente trabajo propone alternativas post-cosecha en frutos de tomate con la finalidad de mantener e incluso elevar las propiedades nutritivas, para poder alargar la utilidad o vida útil del fruto.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de los tratamientos post-cosecha: termosonicación (S), escaldado convencional (E.C) y escaldado a bajas temperaturas (EBT) sobre la estabilidad de la actividad antioxidante en tomate durante su almacenamiento en refrigeración.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Establecer las condiciones de los tratamientos post-cosecha: temperaturas, frecuencias y tiempos de procesamiento.
- Evaluar el contenido de licopeno y la actividad antioxidante mediante la neutralización del radical libre de DPPH en tomate fresco.
- Determinar el contenido de licopeno y la actividad antioxidante en los frutos procesados y refrigerados para conocer el efecto de los tratamientos.
- Relacionar el contenido de licopeno con la actividad antioxidante en frutos frescos y sometidos a diferentes tratamientos

III. HIPÓTESIS

Los tratamientos post-cosecha (termosonicación, escaldado y escaldado a bajas temperaturas) tienen un efecto significativo sobre la actividad antioxidante en los frutos procesados.

IV. MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1: TOMATE

El tomate o jitomate es uno de los cultivos hortícolas más redituables en el mundo, donde México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación (Hilhorst *et al.*, 1998). Por otra parte en el 2009 la producción de tomate alcanzó 4,002,337.5 toneladas/año en nuestro país (SAGARPA, 2010); siendo abastecidos 2,727,691 toneladas para el consumo nacional e ingresando más de mil millones de dólares en promedio anual por ventas al extranjero (SAGARPA, 2010). Durante el 2011 el estado de Puebla tubo una producción total de 31 mil 997.05 toneladas, gran parte de esta producción se genera en invernaderos (InfoRural, 2012).

1.1 Generalidades del tomate

El nombre científico del tomate es *Solanum lycopersicon L.* y significa *melocotón de lobo* el cual es miembro de la familia Solanáceae (Fig. 1). El tomate es un fruto carnoso que procede de un carpelo único o del gineceo sincárpico de una flor sencilla; se considera en términos botánicos como una baya, puesto que posee una piel fina que rodea una carne jugosa, en cuyo interior se encuentran muchas semillas (Cantwell, 2004).



Figura 1. *Solanum Lycopersicon L.* (Feiertag, 2012).

El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de esas zonas (Esquinas-Alcázar y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*; 2001); el fruto fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente Americano (Rodríguez *et al.*, 2001).

1.2 Composición proximal y funcional en tomate

1.2.1 Valor nutricional

El tomate tiene un gran contenido de agua, siendo un fruto de moderado valor calórico a expensas de su aporte de hidratos de carbono (Tabla 1). Destaca su contenido de provitamina A o beta caroteno (Prado, 2005).

En el caso del tomate, los azúcares representan aproximadamente el 50% de la materia seca, siendo la glucosa y la fructosa los mayoritarios; los ácidos orgánicos, principalmente cítrico y málico, representan más del 10%. Tanto los azúcares como los ácidos aportan un escaso valor nutritivo al tomate, aunque ejercen un papel fundamental en su sabor, los minerales representan una fracción pequeña del peso fresco (0.4%) pero desempeñan un importante papel en la composición nutritiva del fruto. El contenido medio de proteínas, aminoácidos y lípidos del tomate es muy bajo, por lo que no puede ser considerado una fuente importante de estos compuestos. Sin embargo, el tomate es considerado un alimento funcional debido a los componentes nutracéuticos que presenta (Adalid, 2011).

Tabla 1. Composición química y nutricional del tomate.

Constituyentes	Contenido por cada 100g
Energía (kJ)	56.00
Constituyentes básicos (g)	
Agua	94.70
Proteína	1.00
Grasa	0.10
Fibra dietética	1.60
Carbohidratos (g)	
Glucosa	0.90
Fructosa	1.00
Sacarosa	0.11
Almidón	0.00
Ácidos orgánicos (g)	
Cítrico	0.43
Málico	0.08
Oxálico	0.00
Otros	0.00
Vitaminas (mg)	
Vitamina C	18.00
Tiamina	0.04
Riboflavina	0.02
Acido nicotínico	0.70
β-caroteno (equivalente)	0.34
Minerales (mg)	
Potasio	2.00
Sodio	6.00
Calcio	8.00
Magnesio	10.00
Hierro	0.30
Zinc	0.20

Fuente: (Salunkhe y Kadam, 2003).

1.2.2 Antioxidantes presentes en el tomate

En los últimos años se ha incrementado el interés por parte de las industrias alimentarias y los consumidores por el concepto de alimento funcional. El tomate y algunos productos derivados del mismo pueden ser considerados como alimentos funcionales, por el beneficio para la salud derivado de su consumo (Periago *et al.*, 2009). Diferentes estudios han confirmado los beneficios de las sustancias con

propiedades antioxidantes tales como vitaminas A y C, β -caroteno y licopeno (Mangels *et al.*, 1993), también están presentes carotenoides como α y β -criptoxantina, α -caroteno, γ caroteno, ζ caroteno, neurosporeno, fitoeno, fitoflueno, ciclo licopeno y 5,6 epóxido β -caroteno (Carrillo *et al.*, 2010). También se considera que el tomate contiene otros antioxidantes “nutricionales”, como la vitamina E; además de antioxidantes “fitoquímicos no-nutritivos”, como el β -caroteno, flavonoides, flavonas y compuestos fenólicos totales, entre otros (Havsteen, 1983; Takahama, 1985; Wang *et al.*, 1996; Matkowski *et al.*, 2008).

Los principales compuestos fenólicos en el tomate son quercetina, naringenina, rutina y ácido clorogénico (Luthria *et al.*, 2006). A causa de su estructura los fenoles son muy eficientes en la lucha contra los radicales peróxidos, los ácidos clorogénicos se han relacionado con propiedades beneficiosas para la salud humana debido a este poder antioxidante, así como hepatoprotector, hipoglucémico y actividad antiviral (Farah y Donangelo, 2006).

CAPITULO 2: COMPUESTOS FITOQUÍMICOS

Los fitoquímicos son compuestos químicos de las plantas presentes en forma natural y biológicamente activos. Son responsables del olor, color, y sabor de las plantas y actúan como un sistema de defensa natural para su protección contra infecciones, invasión microbiológica y enfermedades. Además la cantidad y clase de fitoquímicos en los alimentos es variable e incluye pigmentos, antioxidantes, compuestos similares a las hormonas, entre otros. Existen más de 2,000 fitoquímicos en las plantas, que se agrupan en clases de acuerdo a su función y sus características estructurales, de los cuales se considera que los terpenos y los fenoles, son los más estudiados (Aponte *et al.*, 2008).

2.1 Terpenos

Los terpenos son una familia de compuestos muy difundida en el reino vegetal. Los aceites esenciales de las plantas (aquellos que les dan su particular olor) son terpenos. Se conocen cientos de estos compuestos, muchos de los cuales son alquenos, aunque pueden tener también otros grupos funcionales. Todos los terpenos cumplen la llamada regla del isopreno (2-metil-1,3-butadieno), es decir, que todos ellos están constituidos por unidades de isopreno (Garritz y Chamizo, 1998).

Ampliamente distribuidos en alimentos verdes, productos de soya y granos. Constituyen una de las más amplias clases de alimentos funcionales o fitonutrientes. Los terpenos funcionan como antioxidantes, protegiendo a los lípidos, a la sangre y a otros fluidos corporales contra el ataque de radicales libres, algunas especies de oxígeno reactivo, grupos hidroxilos, peróxidos y radicales superóxidos. Los terpenos más intensamente estudiados (Tabla 2) son los carotenoides, fitoesteroles, saponinas y capsaicinas (Aponte *et al.*, 2008).

Tabla 2. Clasificación de terpenos.

TERPENOS				
	Carotenoides	Fitoesteroles	Saponinas	Capsaicina
Función	Los alfa y beta carotenos son importantes para el sistema inmunológico, son necesarios para el desarrollo y mantenimiento del tejido epitelial.	Comprenden esteroides y estanoles que pueden reducir el colesterol y ayudan a reducir el riesgo de las enfermedades cardiovasculares.	Se les atribuye un efecto protector contra el cáncer de estómago e intestino. Además, reduce el colesterol en sangre y son antiinflamatorias.	Posee cualidades descongestionantes y favorece en el cerebro la producción de endorfinas, que son moléculas que promueven la sensación de bienestar.
Fuente alimentaria	Zanahoria, espinaca, acelga, perejil, pimentón rojo, apio, frutas cítricas, durazno, mango, melocotón, melón.	Brócoli, coliflor, pepino, productos de soya, tomate, berenjena, pimentón, granos integrales, frutas, nuez, cereales, aceite vegetal (principalmente de soya).	Ajo, cebolla, raíces de regaliz y ginseng, corteza y semilla de plantas como la hiedra, el espárrago y castaña de indias.	Ají, chile y pimiento.

Fuente: (INN.Dirección de Investigaciones Nutricionales.2008).

2.2 Fenoles

Los fenoles son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Se localizan en todas las partes de las plantas y su concentración es variable a lo largo del ciclo vegetativo. Estos compuestos participan de diversas funciones, tales como la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, la actividad

enzimática, la fotosíntesis, la formación de componentes estructurales, la alelopatía y la defensa ante los factores adversos del ambiente.

Los fenoles están asociados al color, las características sensoriales (sabor, astringencia, dureza), las características nutritivas y las propiedades antioxidantes de los alimentos de origen vegetal. La característica antioxidante de los fenoles se debe a la reactividad del grupo fenol (Robbins, 2003; Kähkönen *et al.*, 2001).

El término fenoles comprende aproximadamente 8000 compuestos que aparecen en la naturaleza. Todos ellos poseen una estructura común: un anillo fenol, un anillo aromático que lleva al menos un sustituyente hidroxilo (Figura 2).

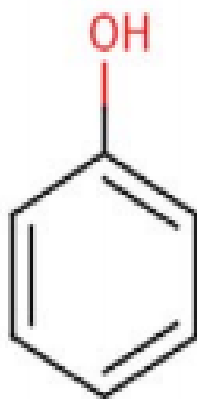


Figura 2. Estructura química del fenol.

Los fenoles más estudiados (Tabla 3) son las isoflavonas, lignanos, flavonoides, antocianinas, catequinas y taninos que se presentan a continuación.

Tabla 3. Clasificación de fenoles.

FENOLES						
	Isoflavonas	Lignanos	Flavonoides	Antocianinas	Catequinas	Taninos
Función	Disminuyen el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares al prevenir la formación de ateromas	Pueden ayudar en la prevención de cáncer de mama, endometrio y próstata.	Juegan un papel muy importante en la defensa contra el cáncer.	Se le atribuye un rol importante en la prevención de la degeneración de células de órganos en mamíferos y humanos.	Poseen propiedades antiartríticas, antiinflamatorias, antiulcericas, antiagregantes, inmunoestimulantes o hepatoprotectoras.	Además de su acción astringente, se emplean como antidiarreicos.
Fuente alimentaria	Zanahoria, brócoli, coliflor, pepino, tomate, pimiento, berenjena.	Ajonjolí, centeno, soya, frijoles, cebada, avena, ajo, espárrago, brócoli y zanahoria.	Apio, cebolla, coliflor, brócoli, perejil, soya, tomate, berenjena, tomillo, soya, tofu, toronja, naranja, cereza y manzana y té.	Repollo morado y cebolla morada. Piel de frutas como manzana, pera, uva, mora, ciruela, flores como la Jamaica y rosa.	Cereza y té verde.	Manzanas y frambuesas.

Fuente: (INN.Dirección de Investigaciones Nutricionales.2008).

CAPITULO 3: ANTIOXIDANTES

Los antioxidantes son sustancias químicas que se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación de diversas sustancias (principalmente ácidos grasos) tanto en los alimentos como en el organismo humano. Los compuestos oxidados pueden provocar alteraciones fisiológicas importantes desencadenantes de diversas

enfermedades, cobrando relevancia la función de los antioxidantes. Asimismo, los antioxidantes facilitan el uso fisiológico del oxígeno por parte de las mitocondrias celulares, ayudando a reducir los efectos del estrés oxidativo y la falta de oxígeno, formando complejos que mitigan las reacciones productoras de radicales libres y por consiguiente desempeñan una función fundamental en la prevención de las enfermedades crónicas degenerativas (Zamora, 2007).

De tal manera se sabe que los antioxidantes son nuestra primera línea de defensa contra los radicales libres, mismo que llegan a nuestro organismo por diversos alimentos, los cuales contienen ácidos grasos trans, entre otros. Asimismo, la contaminación del ambiente, el humo del cigarrillo, las drogas, las enfermedades, el estrés y el ejercicio pueden aumentar la exposición a los radicales libres (Percival, 1998).

3.1 Radicales libres

Los radicales libres son moléculas inestables y muy reactivas. Para conseguir la estabilidad modifican a moléculas de su alrededor provocando la aparición de nuevos radicales, por lo que se crea una reacción en cadena que dañará a muchas células y puede ser indefinida si los antioxidantes no intervienen.

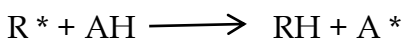
Los radicales libres producen daño a diferentes niveles en la célula:

- Atacan a los lípidos y proteínas de la membrana celular por lo que la célula no puede realizar sus funciones vitales (transporte de nutrientes, eliminación de desechos, división celular). El radical superóxido, O_2^- , que se encuentra normalmente en el metabolismo provoca una reacción en cadena de la lipoperoxidación de los ácidos grasos de los fosfolípidos de la membrana celular.
- Atacan al DNA impidiendo que tenga lugar la replicación celular y contribuyendo al envejecimiento celular. Los procesos normales del organismo producen radicales libres como el metabolismo de los alimentos, la respiración y el

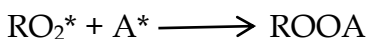
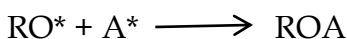
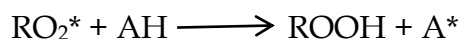
ejercicio. También estamos expuestos a elementos del medio ambiente que crean radicales libres como la contaminación industrial, tabaco, radiación, medicamentos, aditivos químicos en los alimentos procesados y pesticidas. No todos los radicales libres son peligrosos pues, por ejemplo, las células del sistema inmune crean radicales libres para matar bacterias y virus, pero si no hay un control suficiente por los antioxidantes, las células sanas pueden ser dañadas (Avello y Suwalsky 2006).

3.2 Reacciones de los antioxidantes

Los antioxidantes fenólicos se representan con la forma AH. Se emplean para proporcionar bases de hidrógeno. De esta manera se inactiva el radical libre que inicia la reacción en cadena de autooxidación.



Actúan típicamente como inhibidores de radicales peróxido, alcoxi y alquilo debido a su acción reductora. (Ceden hidrógeno o capturan electrones).



En las reacciones anteriores se puede comprobar como una molécula de antioxidante puede frenar dos reacciones de oxidación. Primero cediendo el protón que contiene y una vez en forma de radical A*, se combina con radicales alcoxi o peroxi estabilizándolos e inactivándolos. Por acción del antioxidante AH se interrumpe la fase de propagación en cadena, ya que se obtienen productos relativamente estables. El radical A* tiene que ser tan estable que no pueda sustraer ningún átomo de hidrógeno de los ácidos grasos insaturados. La

aplicación de los antioxidantes tiene sentido cuando todavía no se ha producido ninguna reacción degradativa de autooxidación ya que:

- El antioxidante AH tiene mayor efecto durante el periodo de inducción, debido a que en esta fase hay pocos radicales libres que originan asimismo pocos radicales peróxido, que pueden ser inactivados rápidamente antes de iniciar la reacción en cadena.
- El antioxidante no puede invertir la acción de la oxidación ni regenerar un producto rancio. Por ello, el antioxidante debe añadirse al aceite o grasa recién preparados. Antes de que la reacción autooxidativa tenga oportunidad de empezar.

Esta protección contra la oxidación no es permanente, ya que el proceso consume las moléculas del antioxidante (Nuria *et al.*, 2002).

3.3 Tipos de antioxidantes

Los antioxidantes por su procedencia pueden clasificarse como sintéticos y naturales, mismos que se detallan a continuación:

3.3.1 Antioxidantes naturales

En general el término “antioxidante natural” alude a las sustancias que se presentan o pueden ser extraídas de los tejidos de plantas, animales y aquellas que se forman durante el cocinado o el procesado de compuestos alimenticios de origen vegetal o animal (Pokorny *et al.*, 2001). Los antioxidantes presentes en alimentos son en su mayoría compuestos fenólicos, sin embargo, también pueden contener vitaminas (Vitamina E y C) y pigmentos (carotenoides y betalaínas) que fungen como antioxidante (Figueroa-Cares *et al.*, 2010).

Estudios recientes han puesto de manifiesto las propiedades antioxidantes de los carotenoides. La actividad antioxidante (A.A) de los carotenoides depende de una serie de factores, como su estructura química (tamaño, número de sustituyentes, configuración *cis* o *trans*, etc.), su concentración, la presión parcial de oxígeno o su interacción con otros antioxidantes, sobre todo las vitaminas C y E. Dentro de los carotenoides a los que se les ha atribuido la capacidad para actuar como antioxidante encontramos al β -caroteno, la A.A de este compuesto está relacionado con su carácter hidrofóbico y con su capacidad para secuestrar al oxígeno y desactivar radicales libres, la luteína, zeaxantina, cantaxantina y licopeno (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

3.3.2 Antioxidantes sintéticos

Los antioxidantes sintéticos son utilizados en productos farmacéuticos, cosméticos, aceites vegetales, frutas, verduras, etc. En alimentos son ampliamente utilizados debido a su efectividad para proteger la calidad de los mismos en un tiempo más prolongado, previniendo el enranciamiento y manteniendo su frescura. Sin embargo se ha reportado que el exceso de antioxidantes añadidos podría producir efectos tóxicos y poner en peligro la salud del consumidor (Xiu-Quin *et al.*, 2009).

Estos antioxidantes sintéticos son propiamente donadores de protones; no detienen la formación de los radicales, sino que reaccionan con ellos, los estabilizan y producen radicales del antioxidante que son menos reactivos (Badui, 2006).

Los antioxidantes sintéticos más usados son los compuestos fenólicos como el hidroxianisolbutilado (BHA), el hidroxitoluenobutilado (BHT), la butilhidroquinona terciaria (TBHQ) y los ésteres del ácido gálico, como el propilgalato (PG), su estructura se representa en la Figura 3. De acuerdo a la norma de buenas prácticas de manufactura el uso de estos cuatro antioxidantes

fenólicos sintéticos está limitado al 0.02% del contenido de grasa o aceite del alimentos (Pokorny *et al.*, 2001).

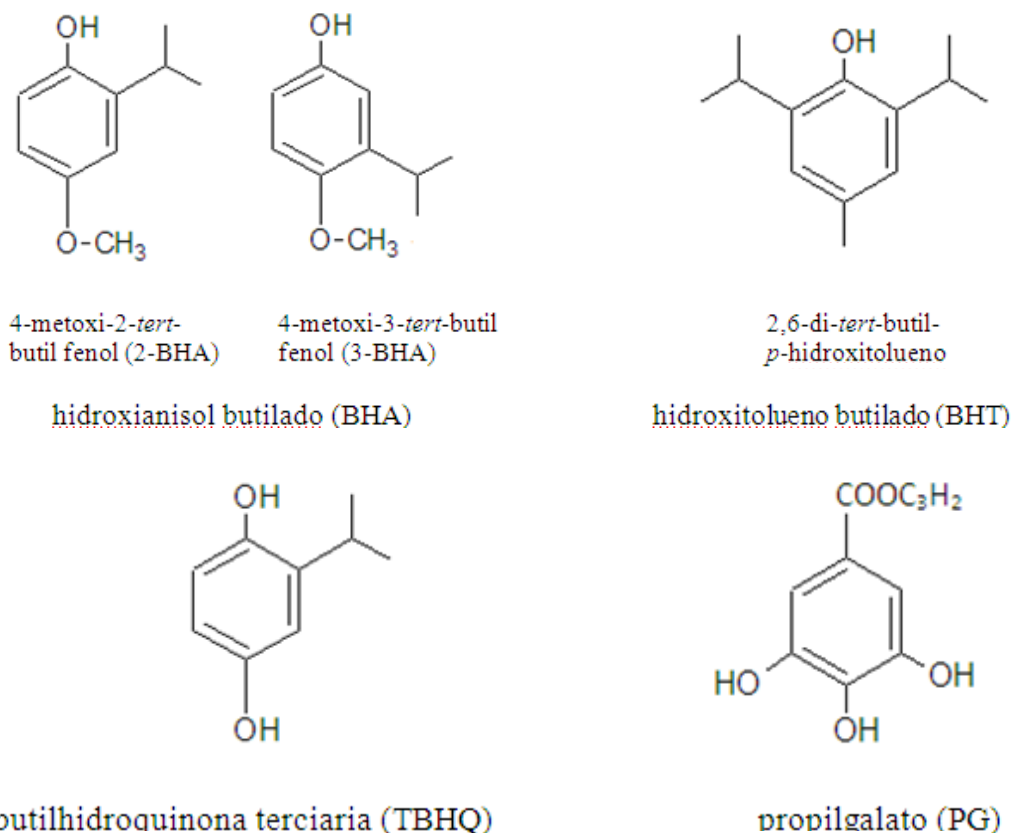


Figura 3. Estructura de antioxidantes sintéticos más comunes (Badui, 2006).

3.4 Medición de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante de diversas muestras ha sido estimada por métodos estandarizados para determinar la capacidad antioxidante en alimentos, mediante métodos indirectos o directos; en los indirectos se determina la capacidad de un antioxidante para atrapar 52 radicales libres utilizando radicales libres coloreados y estables, que presenten una fuerte absorción en la región del visible; los métodos directos se basan en el estudio del efecto de las sustancias que contienen

antioxidantes en la degradación oxidativa de un sistema de prueba (lípidos, proteínas, ADN, sangre, plasma, membranas biológicas) (Roginsky y Lissi, 2005).

Los métodos indirectos más utilizados son los que cuantifican la capacidad captadora de radicales libres que tiene un compuesto, como por ejemplo los métodos DPPH y ABTS en los que se utilizan radicales coloreados y se determina la capacidad antioxidante mediante la cuantificación de la decoloración de los radicales (Prior *et al.*, 2005).

CAPITULO 4: TRATAMIENTOS Y CONDICIONES POST-COSECHA

4.1 Tratamientos térmicos post-cosecha

La conservación de las frutas y hortalizas se basa principalmente en reducir la actividad metabólica de estos productos; con esto, se logran efectos sobre la calidad al retrasar el proceso de solubilización de las pectinas (ablandamiento), degradación de ácidos y clorofila (degradación del color verde, amarillamiento) y los desórdenes relacionados con la senescencia (Zoffoli, 2009). Los métodos tradicionales de conservación destruyen o inactivan enzimas así como microorganismos patógenos y causantes de alteraciones, actuando sobre los factores que afectan a su actividad tales como el pH (acidificación artificial o fermentación bajo control), la disponibilidad de agua (deshidratación y concentración por evaporación) y el potencial de óxido-reducción (aplicación de vacío, gases inertes y atmósferas controladas). Algunos tratamientos convencionales se mencionan a continuación (Tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos y características de tratamientos convencionales utilizados en los alimentos.

Tratamientos	Características
Escaldado	Este proceso se realiza en agua a una temperatura de 90-100°C de 2-10 minutos, se utiliza para reducir cargas microbianas e inactivar enzimas.
Extrusión	Es un proceso tecnológico donde se utilizan temperaturas elevadas de 140-190°C y presiones altas de 10-20 MPa/15-60 segundos, utilizando fuerzas de cizallamiento muy elevadas originadas por un tornillo sin fin.
Escaldado a Bajas Temperaturas (EBT)	Se utiliza para incrementar la firmeza en vegetales, disminuir carga microbiana y eliminar enzimas, se utilizan temperaturas de 40-60°C y diferentes concentraciones de CaCl ₂ por un tiempo de 15-60 minutos.
Esterilización	Es el procedimiento más efectivo para aumentar la vida útil de los alimentos, ya que elimina todos los microorganismos vegetativos y elimina o inactiva las esporas bacterianas de forma prácticamente total. Se lleva a cabo en autoclaves cerradas a 120°C durante 20 minutos.
Termización	Proceso térmico aplicado a algunos alimentos para eliminar la mayoría de los microorganismos, consiste en aplicar una temperatura de 62-65°C durante un tiempo de 10 a 20 segundos.

Fuente: (Gil, 2010)

4.1.1 Escaldado

Entre los tratamientos que pueden ser aplicados a los productos vegetales se encuentra el escaldado, cuya función primordial es la inactivación de enzimas responsables del deterioro de la calidad durante la conservación, es una operación unitaria en el procesamiento de vegetales que consiste básicamente en la inmersión del vegetal en agua a temperatura de ebullición, durante un tiempo breve, con el fin de inactivar enzimas indeseables (Andersson y Styring, 1991).

El escaldado reduce la pérdida de textura en los productos inhibiendo la actividad de la pectin-metil-esterasa así como la actividad de otras enzimas deteriorativas. Los vegetales son comúnmente escaldados empleando la inmersión convencional en agua caliente. Sin embargo, en el caso del tomate puede causar cambios en el color del producto final, debido a que el licopeno, principal pigmento de dicha hortaliza, se ve afectado no solo por la exposición al oxígeno del aire sino también por el calentamiento durante el procesado, que puede causar isomerización de los dobles enlaces *trans* presentes en dicho pigmento, a su forma *cis*, provocando dicho cambio en la estructura una reducción en la intensidad del color (Begum y Brewer, 2001).

El tratamiento térmico post-cosecha es un tratamiento físico no contaminante que retrasa los procesos relacionados con la maduración, reduce los daños por frío y controla la actividad de los patógenos, por lo cual es comúnmente utilizado comercialmente para el control de la calidad de los productos frescos (Akbuldak *et al.*, 2007).

El tratamiento con agua tibia de tomates verdes-maduros y rosados incrementa la firmeza de estos frutos pero no tiene efecto sobre el pH. Para evitar las podredumbres del tomate, en EE.UU. se utilizan baños en agua caliente entre 46 y 60°C durante tiempo comprendidos entre 45 minutos y 30 segundos

respectivamente, mientras que con aire caliente se aplican entre 40 y 70°C de 24 horas a 1 hora, respectivamente (Artés y Artés, 2007).

Escaldado ordinario

Este tratamiento incrementa la estabilidad de los vegetales durante largos periodos de almacenamiento, cuando se congelan o se someten a otros procesos (Canet-Parreño, 1980).

El tiempo de escaldado a temperatura de ebullición se establece de acuerdo con la estabilidad térmica de la enzima que se desea inactivar y el efecto que el calor ejerce sobre la textura del vegetal.

El calor aplicado durante el escaldado ordinario, generalmente ocasiona un ablandamiento de los tejidos (Hughes, 1975). Además el efecto del calor durante el escaldado, permite que exista una filtración de micronutrientes por solubilización, remoción de aire y alteraciones en el color del producto terminado (Brennan *et al.*, 1980).

Escaldado no ordinario

Entre estos métodos se encuentra el escaldado por microondas, en cuyo proceso se emplea energía electromagnética. De acuerdo con Muftugil *et al.*, (1986); Bühler *et al.*, (1988), este método de escaldado reduce el tiempo de procesamiento y retiene una mayor cantidad de vitaminas solubles en el producto.

El método de escaldado por vapor produce vegetales con características sensoriales, incluyendo textura, desagradables, inferiores a los productos obtenidos por el método de escaldado ordinario.

Escaldado a Bajas Temperaturas (EBT)

El escaldado tiene un efecto fijador del color verde en algunos vegetales, especialmente cuando se efectúa en agua caliente, se cree que eso se debe a la

extracción acuosa de ácidos de los vegetales durante el escaldado, con lo cual existe menos hidrólisis de las clorofilas a feofitinas en el calentamiento.

La presencia de agua dura en el escaldado, o agua a la cual se le han agregado sales de calcio o magnesio tiende a producir endurecimiento del producto. Ello se origina al reaccionar estos cationes con las sustancias pécticas presentes, lo cual crea una estructura de malla originada por los puentes entre moléculas constituidas por estos iones volviendo más rígido los productos escaldados, lo que vuelve más rígida la estructura (Barreiro *et al*; 2006) (Figura 4).

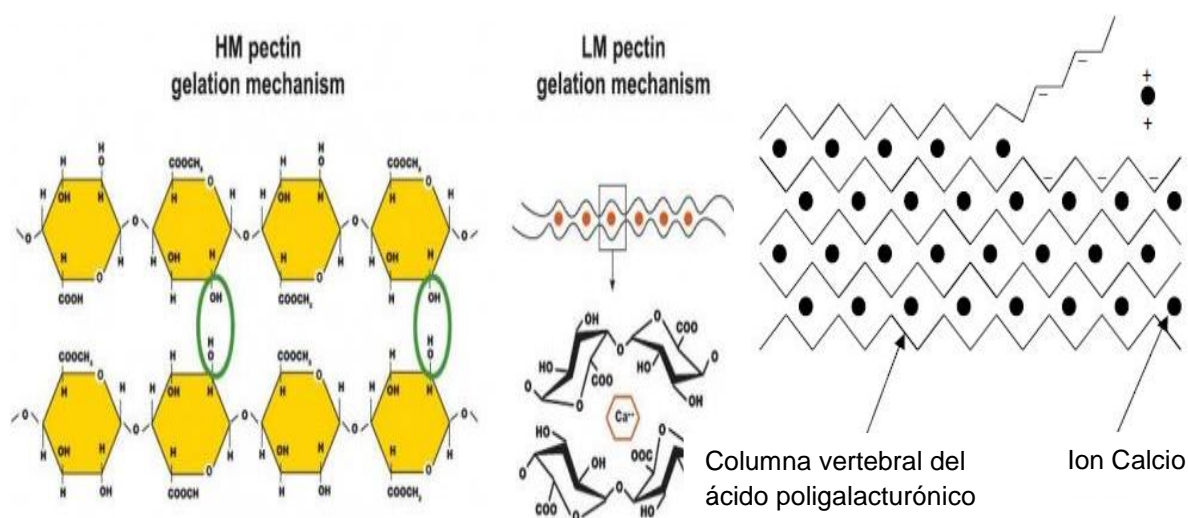


Figura 4. Unión del calcio con la pectina (Morris y Walker, 2003).

4.2 Tratamientos emergentes

Actualmente los métodos de conservación no solamente tienen que estar dirigidos a prolongar la vida útil de los alimentos si no también que cumplan con los requisitos de calidad cuyos aspectos son importantes para los consumidores.

De tal manera que se están desarrollando bajo la denominación genérica de tecnologías emergentes, distintos tipos de procesamientos no térmicos como el uso de presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos de alta intensidad, radiación, pulsos lumínicos, ultrasonido, campos magnéticos oscilantes o aditivos químicos y

bioquímicos, cuyas características se mencionan a continuación (Tabla 5) (Raventós, 2003).

Tabla 5. Tipos de tratamientos emergentes.

Tratamiento	Características
Pulsos eléctricos	Consiste en la aplicación intermitente de campos eléctricos de alta intensidad (10.000-50.000 V/cm) y de corta duración y es colocado el alimento entre dos electrodos.
Calentamiento por radiofrecuencia	Las radiofrecuencias al igual que las microondas, ofrecen la posibilidad de calentamientos rápidos, y se utiliza para la descongelación, pasteurización, esterilización, secado y para reducir la carga microbiana.
Calentamiento óhmico	Este se produce cuando una corriente eléctrica pasa a través de un alimento, provocando la elevación de la temperatura en su interior, esto sirve para tener un menor deterioro.
Sonicación	Las ondas sonoras producen la cavitación, la cual provoca la inactivación microbiana y tiene un efecto hasta 100 veces más efectivo.
Radiación ultravioleta	La longitud de onda más eficaz para la destrucción de microorganismos esta alrededor de 260 nm.
Irradiación	Consiste en una serie de procesos mediante los cuales se aplican radiaciones ionizantes a los alimentos. Técnicamente hay tres métodos diferentes de irradiación: rayos gamma, haz de electrones y rayos X.

Fuente: (Raventós, 2003).

4.2.1 Termosonicación

El creciente interés por la búsqueda de métodos alternativos para la inactivación enzimática fue motivado por la eliminación o reducción del calor de las tecnologías tradicionales (Mertens y Knorr, 1992), entre las diferentes propuestas posibles de métodos alternativos se encuentra la termosonicación, la cual se encontró que combinado con técnicas clásicas como lo es el calor llamada termosonicación reduce el tiempo de procesamiento y el aumento de la eficiencia en el proceso de inactivación de las enzimas (Cruz *et al.*, 2009).

La termosonicación combinada con otros métodos de conservación se ha aplicado en diferentes productos alimenticios para la inactivación de enzimas (Knorr *et al.*; 2004), lo cual se logra por el fenómeno llamado cavitación (Vercent *et al.*, 2001). Esta consiste en la formación y colapso de burbujas pequeñas, que a su vez generan ondas de choque a ciertas condiciones de presión y temperatura, así como también generan micro-corrientes alrededor de las burbujas que pueden catalizar reacciones químicas y alterar las células microbianas, animales y vegetales, cuando están en contacto con la muestra (Leighton, 1998).

El efecto sinérgico de la combinación del calor y el tratamiento de sonicación (termosonicación) permite la inactivación de varias enzimas a temperaturas más bajas y en tiempos más cortos, como se observó en la inactivación de peroxidasa del berro (Cruz *et al.*, 2009). Mientras que Raso y Barbosa, (2003) aplicaron el tratamiento termosonicación (72°C y 20 kHz) en zumo de naranja observándose un aumento del 25% en la inactivación de la pectin-metil-esterasa.

4.3 Efecto de los tratamientos post-cosecha en vegetales

Las razones principales por las cuales se someten a tratamientos post-cosecha las frutas y hortalizas son para causar un efecto positivo, a continuación se mencionan algunas de ellas:

- a. Poder almacenar los productos por un mayor tiempo y así garantizar la disponibilidad de aquellas frutas y hortalizas cuya producción es temporal o perenne.
- b. Por salud, ya que con un buen tratamiento se garantiza destruir microorganismos que pueden ser patógenos para el consumidor.
- c. En algunos casos se utilizan estos tratamientos para mejorar sabor y apariencia.
- d. Valor agregado, lo que trae beneficios económicos, especialmente para los productores.
- e. Aumentar la biodisponibilidad de algunos nutrientes e inactivar algunas enzimas que provocan el deterioro.
- f. Reducir pérdidas de productos, especialmente aquellos clasificados como de segunda o tercera (López *et al.*, 2000).

También existen efectos negativos que sufren los alimentos al ser sometidos a tratamientos post-cosecha y sobre todo cuando son térmicos, algunas consecuencias son las siguientes:

- a. Se producen pérdidas de tiamina, fólico, vitamina C y pequeñas cantidades de otras vitaminas hidrosolubles y minerales.

4.4 Efecto de las condiciones de almacenamiento en tomate

El estado hídrico presente en las células vegetales es uno de los factores principales que determinan la calidad de vida en anaquel de los productos perecederos. El estrés de agua provocado por una transpiración excesiva al almacenar los frutos en condiciones deficientes de humedad, provoca frutos marchitos y flácidos, acelera los procesos de maduración y reduciendo la vida en anaquel (Rangel *et al.*, 2003).

Asimismo, existen varios factores biológicos y ambientales que afectan gravemente los límites naturales de la vida de todos los productos frescos después de su cosecha como son: temperatura, pérdida de agua, daños físicos y descomposición durante el almacenamiento (FAO, 1993).

4.4.1 Refrigeración

Buena parte de los productos frescos, los más perecederos, no pueden almacenarse sin refrigeración, pero aún los más duraderos tienen una vida limitada si se almacenan a condiciones no controladas (FAO, 1993).

La refrigeración es un proceso de conservación de los alimentos mediante la aplicación de bajas temperaturas hasta un nivel suficiente para que todas las partículas del alimento se encuentren ligeramente por encima del punto de congelación del agua (Bello, 2000)

Típicamente las temperaturas de refrigeración están comprendidas entre el punto de congelación del alimento que van de -1 a -10°C , donde el descenso de la temperatura aumenta la vida útil del producto fresco y procesado mediante la disminución en: la proliferación de microorganismos, actividades metabólicas de tejidos animales y vegetales, y reacciones químicas y bioquímicas deteriorativas (Orrego, 2003).

V. METODOLOGÍA

5.1 Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas preliminares de acuerdo a las condiciones establecidas en la Tabla 6 y pruebas de calidad (color y firmeza), con la finalidad de definir los parámetros a utilizar para cada uno de los tratamientos post-cosecha propuestos (escaldado convencional, escaldado a bajas temperaturas y termosonicación).

Tabla 6. Pruebas preliminares.

Tratamientos	T (°C)	Tiempo	CaCl ₂ [p/v]	Frec. (KHz)	Pot. (W/Lt)	Refr. (días)
Escaldado convencional (E.C)	80, 85, 90 y 92	20, 30, 45 y 60 s				3 y 5
Escaldado Bajas Temperaturas (EBT)	50, 55 y 60	20, 30 y 40 min.	0.5			3 y 5
Termosonicación (S)	45	10, 15, 20 y 30 min.		37	80	3 y 5

Concentración (Conc.), Frecuencia (Frec.), Potencia (Pot), Refrigeración (Refr.).

5.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar teniendo como variables independientes los tratamientos y los tiempos de almacenamiento, mencionados en la Tabla 6. Mientras que las variables dependientes consideradas fueron la

determinación de actividad antioxidante (Ic50, %I) y el contenido de licopeno (mg/100g) en fruto fresco y procesado. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado, y se consideró como control aquellos frutos que no sufrieron ningún tratamiento (Tabla 7).

Tabla 7. Variables independientes.

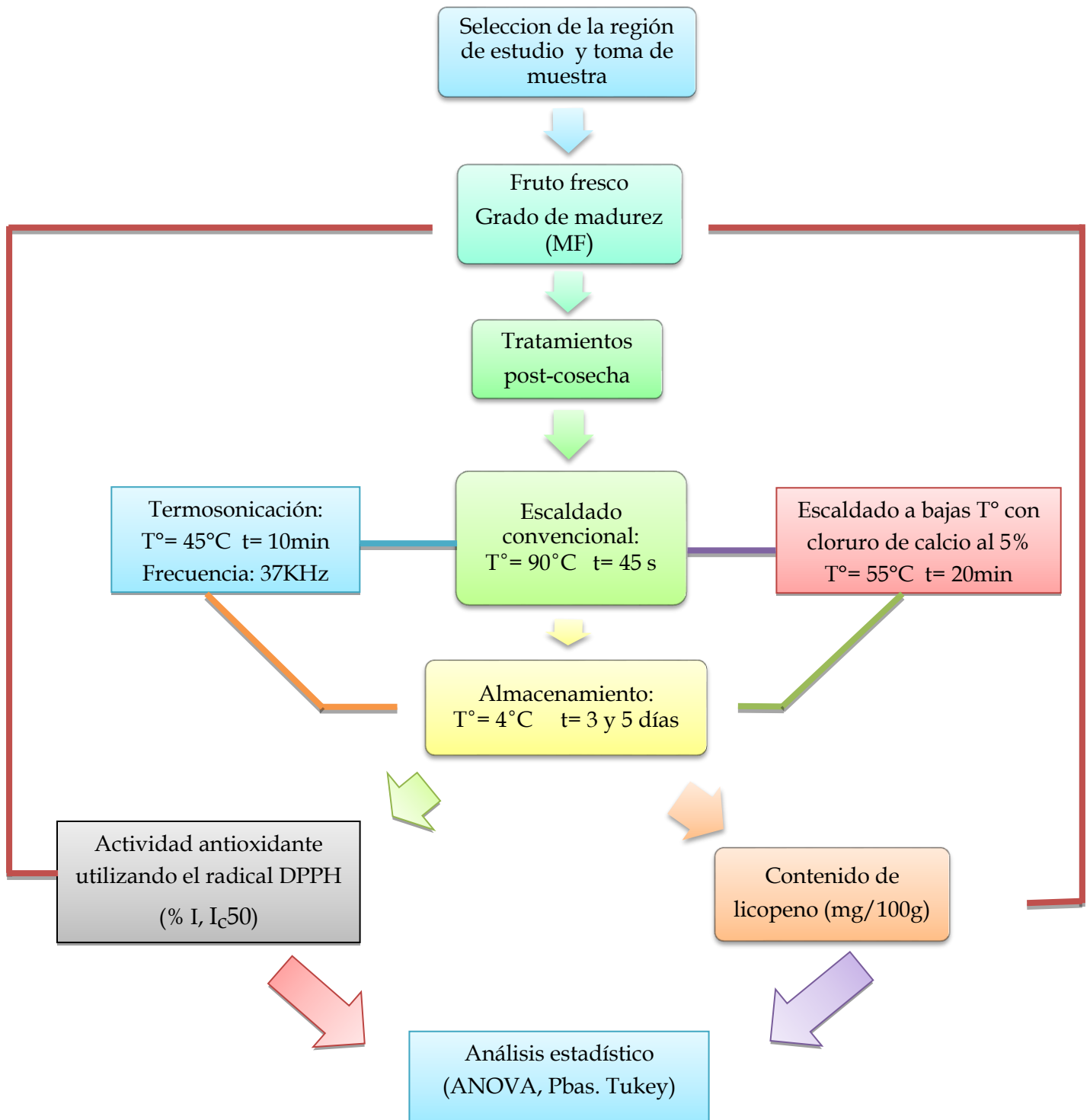
Tratamientos post-cosecha	Tiempos de almacenamiento (Días)
Termosonicación: (T: 45°C,10min/37KHz)	
Escaldado convencional: (T:90°C, 45 s)	
Escaldado Bajas Temperaturas: (T: 55°C, t: 22 min. [CaCl ₂ =0.5%])	0, 3 y 5

**Se consideró como control tres frutos en el tiempo 0, 3 y 5 días de almacenamiento*

5.3 Desarrollo experimental

En el siguiente diagrama de flujo (Figura 5) se muestra el procedimiento que se realizó para cada uno de los tratamientos térmicos así como sus condiciones establecidas.

Figura 5. Diagrama general de la metodología.



Dónde: MF: madurez fisiológica, I₅₀: cantidad de muestra necesaria para alcanzar el 50% de inhibición.

5.4 Selección de materia prima

Los frutos de tomate que fueron analizados pertenecieron a la variedad *Reserva* tipo saldette y provinieron de un invernadero, localizado en la región de Tétela de Ocampo, Sierra Norte del Estado de Puebla. Los tomates fueron recolectados considerando el segundo y tercer racimo, para garantizar las mismas características físicas y grado de madurez.

5.5 Termosonicación

Para los tratamientos de termosonicación los frutos se mantuvieron inmersos en agua dentro de bolsas de plástico, posteriormente fueron sometidos a las condiciones previamente seleccionadas de temperatura (45°C), tiempo (10 min.), frecuencia (37 KHz) y potencia (80 W/Lt) utilizando un baño ultrasónico (Elmasonic L-40 Alemania) de acuerdo a lo establecido por Anese *et al.*, (2012).

5.6 Escaldado convencional

En el tratamiento de escaldado convencional los frutos se mantuvieron sumergidos en agua con una temperatura de 90 °C durante un tiempo de 45 s, posteriormente los frutos se enfriaron rápidamente con agua a una temperatura de 4°C (Andersson y Strying, 1991).

5.7 Escaldado a bajas temperaturas

Para este tratamiento los frutos fueron sumergidos en una solución de cloruro de calcio (CaCl₂) con una concentración de 0.5% a 55°C, durante 20 min., inmediatamente después se enfriaron los frutos con agua a una temperatura de 4°C (Gordon y Barrett, 2006).

5.8 Almacenamiento

Los frutos sometidos a los diferentes tratamientos post-cosecha se almacenaron a temperatura de refrigeración (4°C) y fueron retirados a los 3 y 5 días para su posterior análisis. Cabe mencionar que estas condiciones de almacenamiento son comúnmente utilizadas por el consumidor.

5.9 Contenido de licopeno

Se trituró 1 g de muestra en 1 mL de agua desionizada, posteriormente se consideró 0.6 g, y fueron colocados con 5 mL hidroxibutiltolueno (BHT) al 0.05% en acetona, 3 mL de etanol y 10 mL de hexano. Posteriormente las muestras fueron sometidas en hielo y agitación a 180 rpm durante 15 min., utilizando una incubadora orbital INO65OV-7.

Después de la agitación las muestras se mantuvieron a °T ambiente durante 5 min., se tomaron 2 mL del sobrenadante para las mediciones de absorbancia a 503 nm en un espectrofotómetro JENWAY 6405 UV/Vis, utilizando como blanco hexano (Fish *et al.*, 2002).

El contenido de licopeno (mg/100g) se calculó con la ecuación 1.

$$mg/100g = \frac{(Abs_{503})(31.2)}{g \text{ de tejido}} \dots\dots\dots (Ec.1)$$

Dónde:

Abs₅₀₃= Absorbancia a 503 nm.

31.2= Coeficiente de absortividad

5.10 Actividad antioxidante DPPH

La actividad antioxidante de los frutos frescos y procesados fue medida de acuerdo con la estabilidad del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracil) (Kuskoski *et al.*, 2005). Se utilizó soluciones metanólicas con concentraciones de 4, 5 y 6 mg/mL, los cuales fueron adicionados en una celda con 2 mL de una solución metanólica de DPPH (6×10^{-5} M). Inmediatamente fueron medidas las reducciones de absorbancias a 517 nm durante 30 min. Asimismo los resultados se expresaron con sus valores medios de las absorbancias con tres repeticiones. El metanol fue utilizado como blanco y la absorbancia inicial del radical DPPH sin antioxidante fue medido diariamente con un valor cercano de 0.99. Los % de inhibición del radical DPPH de cada una de las muestras fueron calculadas con la ecuación 2.

$$\% I = [(Ab - As)/Ab] * 100 \dots\dots\dots (Ec.2)$$

Dónde: %I= porcentaje de inhibición, Ab: absorbancia inicial, As: absorbancia final

También se determinó la concentración de muestra requerida para reducir en un 50% el porcentaje de inhibición (I_{c50}), utilizando extractos metanólicos al 80% v/v con distintas concentraciones 4, 5 y 6 mg/mL (Roy *et al.*, 2011).

5.11 Análisis estadístico

Todos los analisis fueron realizados por triplicado y analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), utilizando el programa (Statistix 8.1). Así mismo se ocupó un valor de $P=0.05$ para evaluar la existencia o diferencia significativa entre los tratamientos utilizando una prueba de comparacion de medias tipo Tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se abordaron los resultados obtenidos con los diferentes componentes químico-funcionales (contenido de licopeno y actividad antioxidante) de los frutos sometidos a los distintos tratamientos post-cosecha (termosonicación, escaldado convencional y escaldado a bajas temperaturas). Posteriormente se analizaron los parámetros evaluados en cada uno de los tratamientos considerando también los tiempos de almacenamiento de los frutos.

6.1 Contenido de licopeno en frutos sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.

Los contenidos de licopeno cuantificados en este estudio presentaron diferencia significativa entre sí ($P= 0.0024$) con valores desde 32.9 hasta 65.2mg/100g los cuales corresponden a frutos sometidos a escaldado convencional, termosonicación y escaldado a bajas temperaturas, (Figura 6).

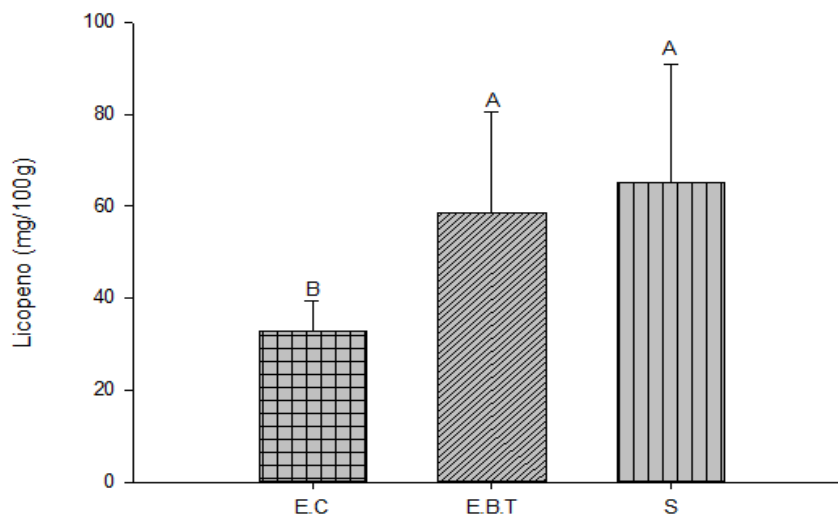


Figura 6. Contenido de licopeno en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha. ■■ Escaldado Convencional (EC): T= 90°C, t= 45s, ▨▨ Escaldado Bajas Temperaturas (EBT): T= 55°C, t= 20min., [CaCl₂]= 0.5%, ■■■ Termosonicación (S): t= 10 min., T= 45°C Frec.= 37KHz, Pot.= 100%, Control= 69.8±15.6 *Los valores representan los promedios ± la desviación estándar de 3 repeticiones en 3 experimentos. *Letras idénticas arriba de la barras indican que no existe diferencia significativa.

Tratamiento de escaldado convencional

Los frutos sometidos al tratamiento de escaldado convencional ($T= 92\text{ }^{\circ}\text{C}/45\text{s}$) mostraron una reducción en el contenido de licopeno, con una pérdida del 47.1% en comparación con el fruto fresco (69.8 ± 15.6). Estos resultados coinciden con lo reportado por Jurado, (2013) quien obtuvo resultados con frutos de tomate expuestos a escaldado convencional, los cuales se observó una reducción en el contenido de los compuestos carotenoides en los que se incluye al licopeno.

Asimismo la reducción de licopeno puede deberse a que durante los tratamientos de escaldado, los frutos son sometidos a la acción del vapor o inmersión en agua en ebullición (Rahman, 2003). Lo anterior puede relacionarse con lo reportado por Festy, (2007), quien considera que el contenido de licopeno en tomate tiende a degradarse con el incremento de la temperatura. Adicionalmente existen reportes que algunos vegetales y frutas sensibles al tratamiento térmico pueden dar lugar a importantes pérdidas por lixiviado de vitaminas hidrosolubles, polifenoles, minerales y azúcares de bajo peso molecular, así como modificaciones de la estructura celular (Doymaz, 2008), provocando pérdida de incluso compuestos antioxidantes como el licopeno.

Existen otros reportes acerca de la pérdida importante de licopeno durante la producción de puré y deshidratación de tomate a temperaturas mayores de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Takeota *et al.*, (2001) y Zaroni *et al.*, (1999). De acuerdo con García 2004 reportan que un incremento en la temperatura durante el procesamientos de los alimentos, degrada los enlaces de los anillos ionona, reduciendo la estabilidad de los compuestos carotenoides.

Tratamiento de escaldado a bajas temperaturas

Con los frutos escaldados a bajas temperaturas se mostró un incremento en el contenido de licopeno con un valor de 58.5mg/100g, en relación con los frutos frescos. Asimismo este valor se puede relacionar con los contenidos en frutos sometidos al tratamiento de escaldado convencional, presentando una ventaja del escaldado a bajas temperaturas ya que los frutos conservan su composición funcional. La estabilidad del licopeno puede deberse a que este tipo de escaldado se realiza a temperaturas entre 50 y 70 °C durante tiempos prolongados (hasta 1 h) (LTLT) (Lewicki, 2006).

Otros reportes mencionan la importancia del escaldado a bajas temperaturas y los efectos benéficos sobre los parámetros de calidad en varios vegetales como zanahorias, coliflor, judías verdes, pimientos y plátano, en comparación con los tratamientos como congelación, cocción, freído y enlatado. Lo anterior reconoce la importancia de los parámetros del escaldado para favorecer la calidad y las perspectivas de comercialización de una gran variedad de vegetales (Canet 1980; Fuchigami *et al.*, 1995; Stanley *et al.*, 1995; Álvarez 1996; Howard *et al.*, 1997; Truong *et al.*, 1998).

Tratamiento de termosonicación

La aplicación de los tratamientos de ultrasonicación (US) de potencia en tratamientos post-cosecha en el procesamiento de frutas, se basa en los efectos mecánicos y químicos generados por el fenómeno de cavitación (Raviyan *et al.* 2005; Tiwari y Mason, 2012). El cual consiste en la generación de burbujas durante los periodos continuos de expansión y contracción de ondas sonoras. A partir de un determinado nivel de potencia, la descompresión da lugar a la formación de burbujas de aire de gran tamaño que, después de varios ciclos colapsan, liberando energía acumulada en forma de ondas y desencadenando microcorrientes de gran

velocidad capaces de alterar las características del medio. Estos cambios de presión y turbulencia, junto con el aumento de la temperatura en el sistema promueven una variedad de efectos en la matriz sonicada, (Soria y Villamiel, 2010; Fernández *et al.*, 2011). En este estudio los frutos sometidos al tratamiento de termosonicación mostraron una mayor cantidad en el contenido de licopeno alcanzando un valor de 65.2 mg/100g, este valor indicaría que los tomates mantuvieron en un 93.4% de licopeno con respecto al fruto fresco. Los contenidos mencionados pueden compararse con los frutos sometidos al tratamiento de escaldado convencional mismos que mantuvieron solo 47.1% del contenido de licopeno. En base a lo mencionado, la ventaja del tratamiento de termosonicación sobre el escaldado convencional, resulta ser una tecnología prometedora para alargar la vida útil de los vegetales, además de incrementar las propiedades nutricionales y antioxidantes en diversos productos funcionales (Butz y Tauscher, 2002 y Abid *et al.*, 2013).

Recientemente, Aday *et al.*, (2013) han empleado un tratamiento similar de ultrasonido con diferentes potencias (30, 60, 90W) como un método para alargar la vida útil de fresa fresca. Dichos autores indicaron que, los tratamientos de US a potencias de 30 y 60 W prolongan hasta 4 semanas la vida útil de fresa sin reducir su calidad. Asimismo Rawson *et al.*, (2011) mencionan que tratamientos mixtos de escaldado y termosonicación de modo intermitente [(3-10 min con US (0,39-0,95 W/mL)] en zanahorias sometidas posteriormente a deshidratación por convección favorecen la retención de compuestos carotenoides y poliacetilenos.

Existen otros estudios que reportan el uso de tecnologías emergentes además de la termosonicación durante el procesamiento de escaldado en frutas y hortalizas. Algunos de ellos son la aplicación de microondas (MW), el calentamiento óhmico (Lemmens *et al.*, 2009), los pulsos eléctricos (Gachovska *et al.*, 2003), la radiación infrarroja (RIR) (Krishnamurthy *et al.*, 2008; Zhu y Pan, 2009) y las altas presiones (Yucel *et al.*, 2010), los cuales generan cambios deseables en la composición química de los vegetales en ciertas condiciones del proceso, por ejemplo el mejoramiento

del color en el producto, disminución de la contaminación microbiana, ya que las células vegetativas, levaduras y mohos son destruidos, así como también la inactivación de enzimas (Poulsen, 1986).

6.2 Actividad antioxidante en frutos sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.

En las figuras 7, 8 y 9 se presentan los % de inhibición relacionados con la actividad antioxidante de frutos sometidos a los diferentes tratamientos post-cosecha incluyendo los tres tiempos de almacenamiento (0, 3 y 5 días). Específicamente en la Figura 7 se presentan los % de inhibición considerando el tratamiento de escaldado convencional y se puede observar los frutos que presentaron mayor actividad antioxidante corresponden a tomates almacenados 3 días (% de inhibición mayores al 80%) y se observó una disminución en los frutos almacenados durante 5 días. Estos resultados son relevantes debido a que indicarían las condiciones (tiempo y temperatura) en las cuales el fruto podría ser consumido y en las cuales se mantienen sus propiedades antioxidantes.

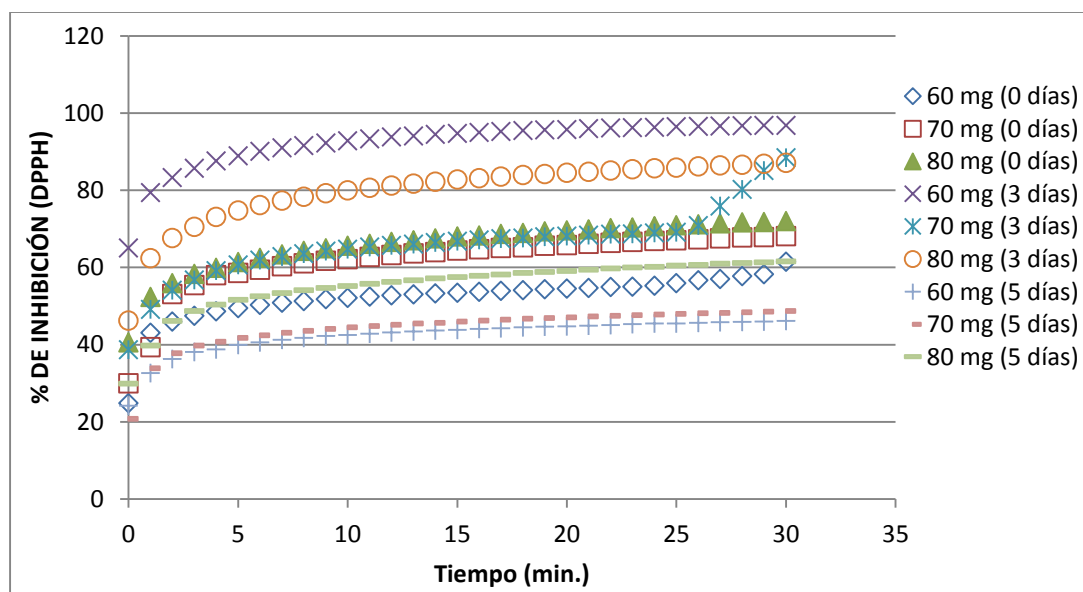


Figura 7. Actividad antioxidante para el tratamiento de Escaldado convencional (E.C), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.

La figura 8 presenta los % de inhibición de los frutos sometidos al tratamiento de escaldado a bajas temperaturas, se pudo observar una tendencia similar a los resultados obtenidos con los frutos sometidos al escaldado convencional. Particularmente las concentraciones de 60 mg y 3 días de almacenamiento, mostraron mayor actividad antioxidante, y en general con los frutos tratados con escaldado a bajas temperaturas mantuvieron diferencias más notorias en la reducción en la actividad antioxidante en relación con el tiempo de almacenamiento. Las diferencias fueron más significativas con las concentraciones de 60 y 80 mg/mL de los extractos provenientes de frutos almacenados durante 5 días en refrigeración.

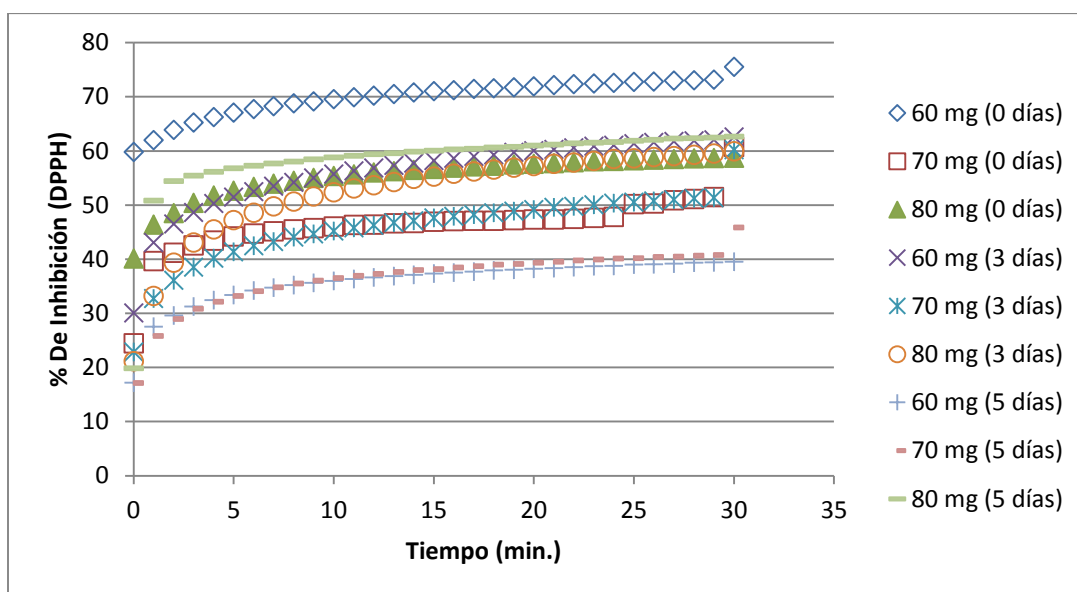


Figura 8. Actividad antioxidante para el tratamiento de escaldado a bajas temperaturas (E.B.T), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.

Finalmente en la figura 9 se puede observar con el tratamiento de termosonicación y las muestras (concentración del extracto y tiempo de almacenamiento de los frutos) 60 y 80 mg con 0 días, 80 mg alcanzaron valores de 50 % de inhibición a partir del minuto 2 de evaluación con el radical DPPH. Asimismo se confirmó que la concentración que alcanzó el % inhibición más alto corresponde a 60 mg y 0 días

de almacenamiento con lo cual podría considerarse que existe una disminución en la actividad antioxidante en relación con el tiempo de almacenamiento de los frutos sonicados en condiciones de refrigeración.

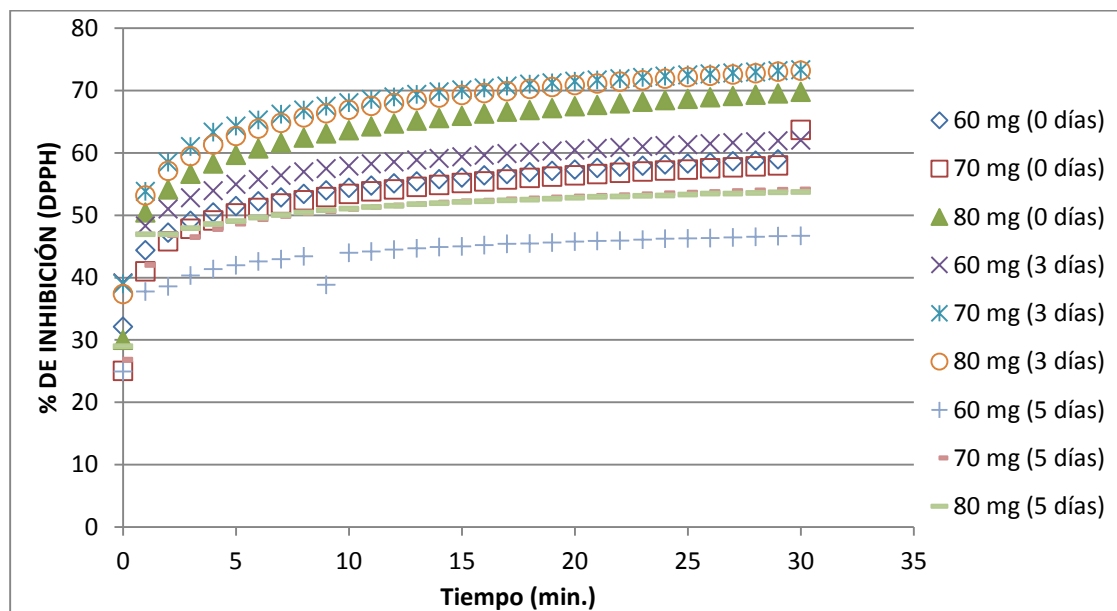


Figura 9. Actividad antioxidante para el tratamiento de Sonicación (S), durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL. Tiempos 0, 3 y 5 días de almacenamiento.

Comparación entre tratamientos

Los frutos sometidos a los tratamientos de termosonicación y escaldado a bajas temperaturas no presentaron diferencia significativa en el contenido de licopeno, con valores de 65.2 mg/100g y 58.5 mg/100g, respectivamente (Figura 10). Los contenidos mencionados pueden relacionarse con una ventaja funcional de estos frutos en comparación con los frutos sometidos al tratamiento de escaldado convencional. Lo anterior se relaciona con la importancia que presenta el licopeno en la dieta ya que actúa protegiendo las células del estrés oxidativo producido por la acción de los radicales libres (Shi y Le Maguer, 2000).

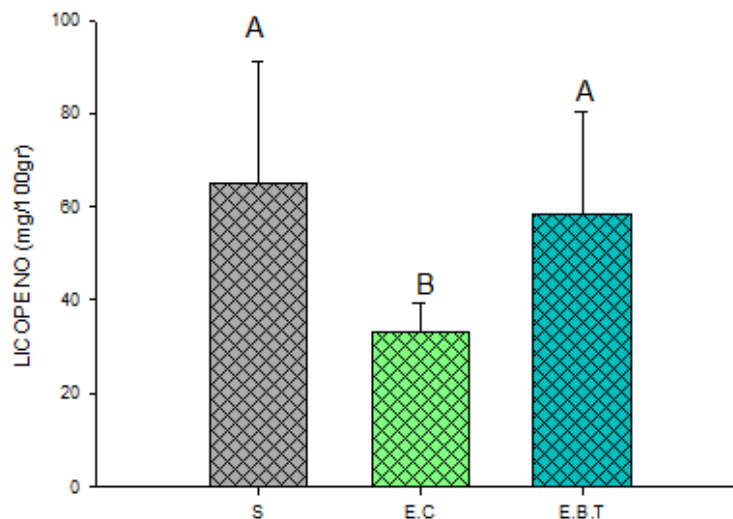





Figura 10. Contenido de licopeno en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha.  Termosonicación (S): t= 10 min., T= 45°C Frec.= 37KHz, Pot.= 100%,  Escaldado Convencional (EC): T= 90°C, t= 45s,  Escaldado Bajas Temperaturas (EBT): T= 55°C, t= 20min., [CaCl₂]= 0.5%, considerando 0 y 5 días de almacenamiento a 4°C Control= 69.8±15.6 *Los valores representan los promedios ± la desviación estándar de 3 repeticiones en 3 experimentos. *Letras idénticas arriba de la barras indican que no existe diferencia significativa.

En la figura 11 se comparan los porcentajes de inhibición relacionados con la actividad antioxidante de frutos sometidos a los tres tratamientos (escaldado convencional, escaldado a bajas temperaturas y termosonicación) considerando las concentraciones de 60, 70 y 80 mg/mL, independientemente de los tiempos de almacenamiento. Los % de inhibición fueron muy similares entre sí en la concentración de 80 mg/mL; sin embargo el tratamiento que mostró una mayor actividad antioxidante fue el escaldado convencional sin embargo este comportamiento no se correlacionó con el contenido de licopeno (Figura 10). La tendencia anterior se relaciona con lo reportado por Sánchez-Moreno *et al.*, (2006) quienes mencionan que los frutos de tomate pueden verse afectados en la

composición de los compuestos bioactivos (diferentes al licopeno) durante tratamientos post-cosecha incluyendo el escaldado.

Mientras que el tratamiento de termosonificación presentó altos valores de % de inhibición mismos que se correlacionaron con los contenidos de licopeno (Figura 10). Estos resultados pueden relacionarse con lo reportado por Vilku *et al.*, (2007), quienes mencionan que la aplicación del ultrasonido puede ser enfocada en la extracción de compuestos antioxidantes incluyendo una gran variedad de compuestos polifenoles y carotenoides contenidos en diversos tejidos vegetales. Asimismo existen otros reportes que consideran que las altas concentraciones de licopeno en tomate se encuentran sobre el pericarpio del fruto, lo cual favorecería la extracción a través de la termosonificación (Al-Wandawi, 1983).

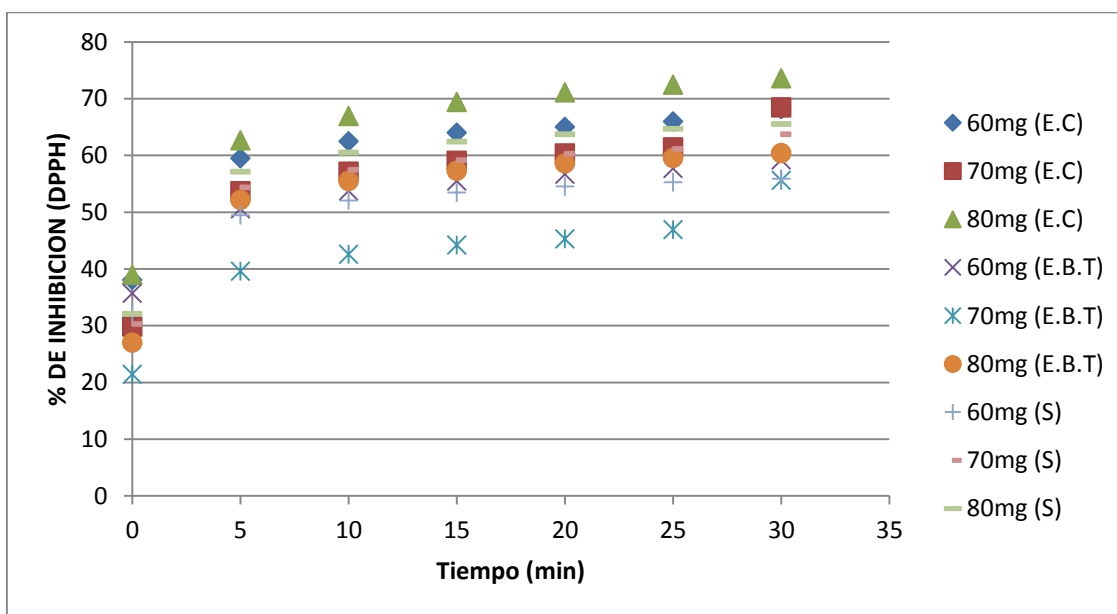


Figura 11. Actividad antioxidante en tomates sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha. Termosonificación (S): t= 10 min., T=45°C Frec.= 37KHz, Pot.= 100%, + = 60mg, - = 70mg, = = 80mg. Escaldado Convencional (EC): T= 90°C, t= 45s, ◆ = 60mg, ■ = 70mg, ▲ = 80mg. Escaldado Bajas Temperaturas (EBT): T= 55°C, t= 20min., [CaCl₂]= 0.5%, × = 60mg, * = 70mg, ● = 80mg. Considerando 0 y 5 días de almacenamiento a 4°C.

6.3 Contenido de licopeno en frutos almacenados a diferentes tiempos y sometidos a distintos tratamientos post-cosecha.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los contenidos de licopeno en frutos sometidos a los diferentes tratamientos expuestos a 5 días de almacenamiento a 4°C.

Tratamiento de escaldado convencional

En esta investigación la Figura 12 presenta un incremento significativo ($P < 0.05$) en el contenido de licopeno en frutos sometidos a los tratamientos de escaldado convencional, alcanzando contenidos de 32.9mg/100g a partir del tercer día de almacenamiento. De acuerdo con Xianguan *et al.*, 2005 el contenido de licopeno se degrada en forma directamente proporcional en frutos expuestos a tratamientos térmicos mayores a los 100°C.

Los contenidos de licopeno en tomate son importantes debido a este antioxidante se ha asociado con la reducción del riesgo de contraer cáncer y enfermedades cardiovasculares (Clinton, 1998; Dorgan *et al.*, 1998; Bertram y Vine, 2005; Omoni y Aluko, 2005; Tang *et al.*, 2005; Story *et al.*, 2010). Asimismo, existen reportes que participa en la comunicación intercelular y en la modulación del sistema inmune y hormonal (Kun *et al.*, 2006; Shao y Hathcock, 2006).

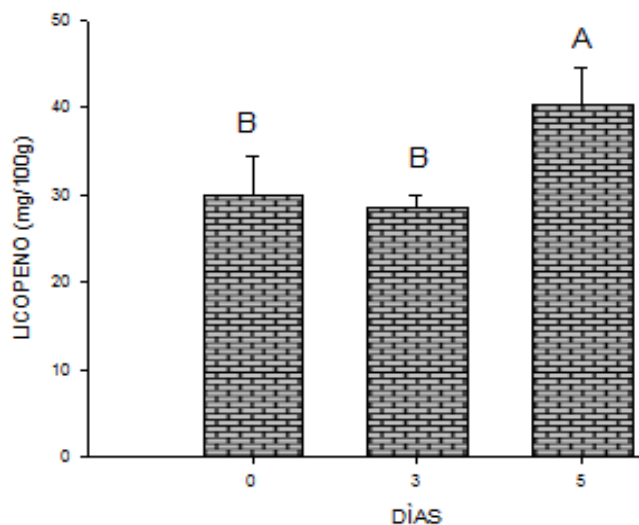


Figura 12. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Escaldado Convencional, almacenados a 4°C, durante 5 días. *Letras idénticas arriba de la barras indican que no existe diferencia significativa.

Tratamiento de escaldo a bajas temperaturas

En relación con los contenidos de licopeno fueron incrementándose gradual y significativamente ($P < 0.05$) en los frutos tratados con escaldado a bajas temperaturas (Figura 13), esta tendencia puede relacionarse con el proceso de maduración del tomate (Javanmardi y Kubota, 2006; Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007; Sahlin *et al.*, 2004). Por otra parte de acuerdo con lo reportado por Candelas-Cadillo *et al.*, (2005) y Goula *et al.*, (2006) la estabilidad del licopeno en frutos sometidos con bajas temperaturas puede favorecerse, sin embargo este pigmento también puede sufrir reacciones de isomerización con lo cual se vería afectada la disponibilidad de este antioxidante. Por lo anterior en los estudios es recomendable aparte de evaluar los contenidos de licopeno se requiere conocer las concentraciones de cada uno de los isómeros.

De acuerdo con Lurie y Klein (1991) reportan que el comportamiento del licopeno en frutos de tomate sometidos a temperaturas cercanas a 40°C previamente de ser

almacenados a temperaturas de refrigeración, condiciones en las cuales se conserva el contenido de este pigmento y como consecuencia disminuye la concentración de clorofila en los frutos. Asimismo este reporte menciona que los frutos expuestos a las condiciones mencionadas son más resistentes al daño por frío (DPE); lo anterior puede deberse a la rápida inducción y expresión de genes que codifican las llamadas proteínas de choque de calor (HSPs), las cuales ejercen un rol protector ante situaciones de estrés térmico en los diferentes tejidos (Lurie *et al.*, 1996; Sabehat *et al.*, 1996)

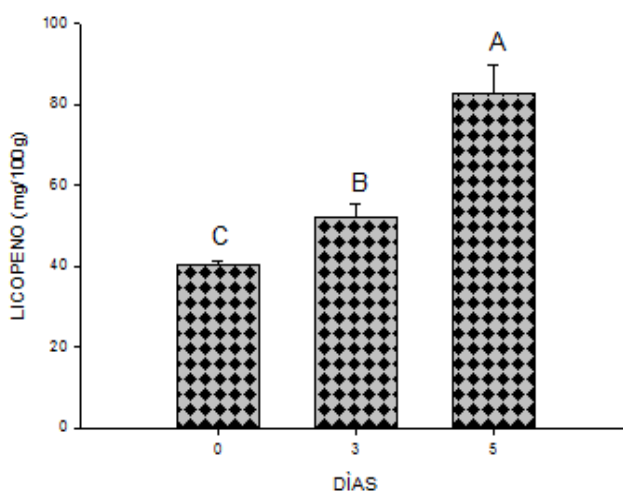


Figura 13. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Escaldado a Bajas Temperaturas, almacenados a 4°C, durante 5 días. *Letras diferentes arriba de las barras indican que si existe diferencia significativa.

Tratamiento de termosonicación

Con este tratamiento los contenidos de licopeno se incrementaron significativamente ($P < 0.05$) a los 3 y 5 días de almacenamiento; como se muestra en la Figura 14, este hallazgo es importante ya que lo que se busca es un incremento de los compuestos funcionales de acuerdo con las condiciones de almacenamiento post-cosecha del fruto de tomate. Asimismo este tratamiento

presenta ventajas en relación con el escaldado convencional, se observa de manera notoria en tiempo de 5 días (Figura 12 y 14), con valores de licopeno de 82.9 y 40.3 mg/mL, respectivamente, de ahí que la termosonicación resulta ser una tecnología prometedora para conservar los contenidos de licopeno en frutos expuestos en los diferentes tiempos de almacenamiento.

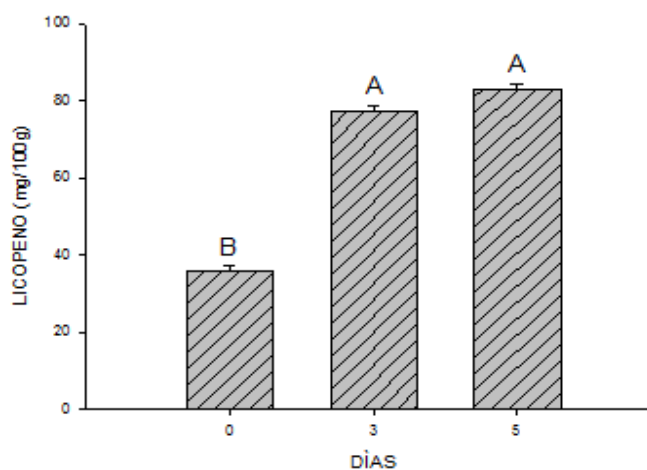


Figura 14. Comparación del contenido de licopeno en tomates sometidos al tratamiento de Termosonicación, almacenados a 4°C, durante 5 días. **Letras idénticas arriba de la barras indican que no existe diferencia significativa.*

6.4 Actividad antioxidante en frutos almacenados a diferentes tiempos y sometidos a distintos tratamientos post-cosecha.

En la figura 15 se representan los porcentajes de inhibición evaluados en frutos expuestos a los tres tratamientos (día 0), particularmente se pudo observar que todos los frutos alcanzaron porcentajes de inhibición mayores al 50%, obteniéndose valores más altos en frutos sometidos a escaldado con bajas temperaturas y una concentración de 60 mg/mL.

Asimismo no se presentaron diferencias significativas entre los porcentajes de inhibición entre los frutos sometidos a escaldado convencional (EC) con concentraciones de 70 y 80 mg/mL y tomates tratados con termosonicación y concentración de 80 mg/mL.

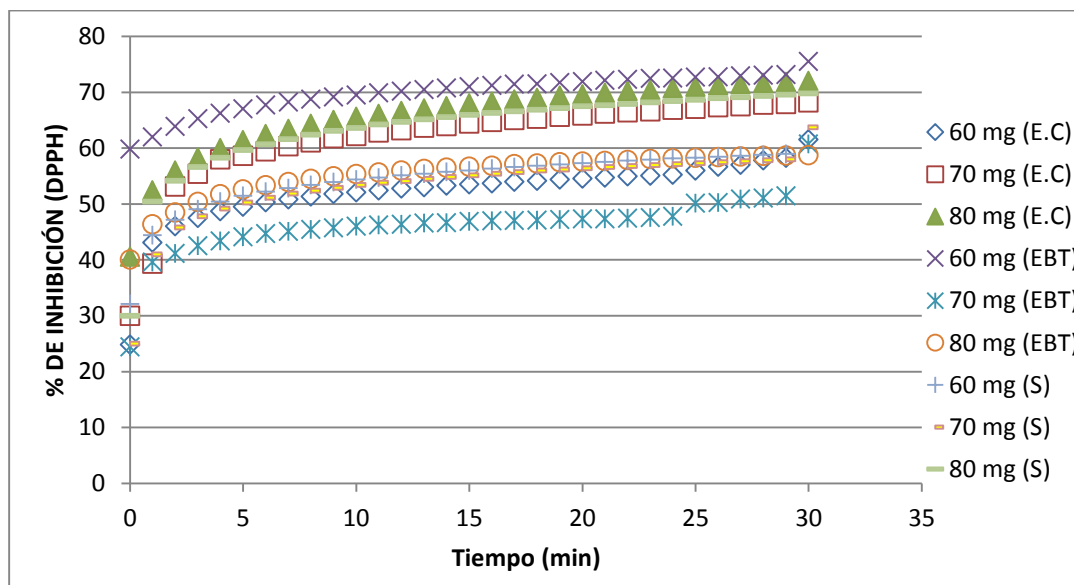


Figura 15. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 0, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.

En la figura 16 se presentan los resultados obtenidos en los % de inhibición alcanzados en el día 3 de almacenamiento en frutos sometidos a los tres tratamientos; en esta gráfica se observa que las concentraciones que mostraron mayor actividad antioxidante correspondieron a los frutos sometidos a escaldado convencional y frutos sometidos a termosonicación considerando las diferentes concentraciones. De acuerdo con Toor y Savage (2006), la actividad antioxidante del tomate tanto crudo como procesado depende de compuestos bioactivos adicionales al licopeno, incluyendo flavonoides, fenoles, vitaminas C y E. Específicamente los carotenoides se presentan en una alta concentración en tomates la cual se encuentra relacionada con las concentraciones de pigmentos (200

mg kg⁻¹ de peso fresco), mismos que le aportan un gran valor nutracéutico también al fruto (Davies y Hobson, 1981). El 90-95% de los carotenoides presentes en el tomate maduro son carotenos (Gross, 1991). Un tomate rojo típico contiene niveles más bajos de otros pigmentos como β -caroteno, δ -caroteno, γ -caroteno y neurosporeno. El β -caroteno (provitamina A) es un nutriente esencial debido a su actividad retinoide, y como otros carotenoides es un antioxidante que puede proteger del daño de los radicales libres.

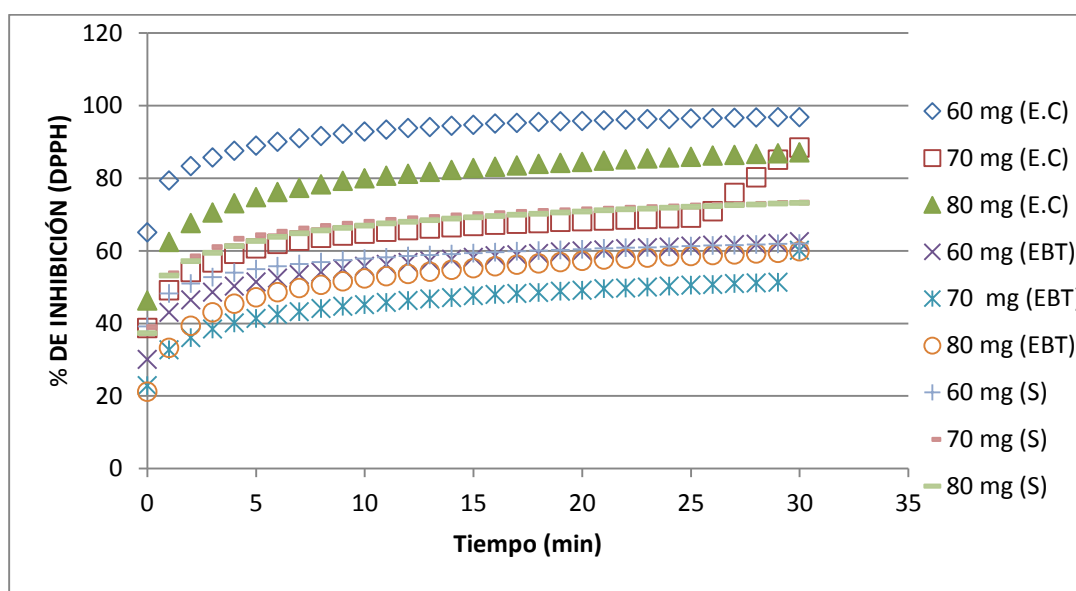


Figura 16. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 3, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.

En el gráfico de la figura 17 se presentan los porcentajes de inhibición correspondientes a los tres tratamientos considerando frutos con 5 días de almacenamiento, se pudo observar que se incrementó la actividad antioxidante en relación con la concentración de los extractos donde los frutos con 80mg/mL en frutos sometidos a los escaldados convencional y bajas temperaturas presentaron mayor actividad.

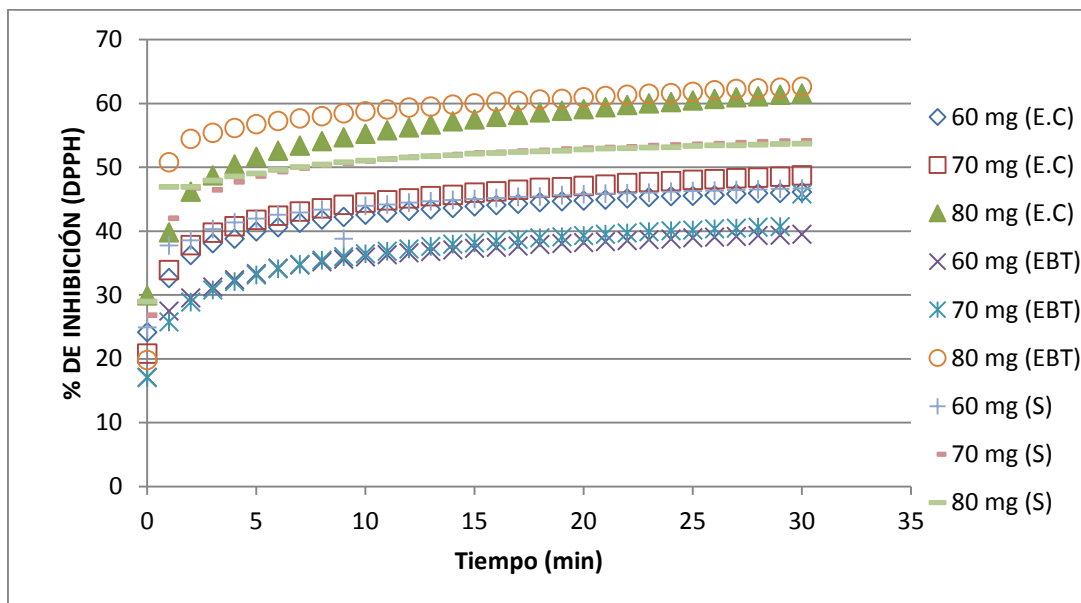


Figura 17. Actividad antioxidante de los tres tratamientos para el día 5, durante 30 min. a concentraciones de 60 a 80 mg/mL con el radical DPPH.

6.5 Valores de actividad antioxidante reportados como I_{c50} en frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha y almacenados a diferentes tiempos.

Entre los parámetros más utilizados para reportar la actividad antioxidante además del porcentaje de inhibición se encuentra el valor del I_{c50} (Antolovich *et al.*, 2001). La I_{c50} se define como la concentración requerida para alcanzar el 50% de inhibición (Serrano *et al.*, 2011). Es importante recordar que el valor de I_{c50} es inversamente proporcional a la actividad antioxidante total, es decir que a menor valor de I_{c50} mayor actividad antioxidante.

Para obtener valores óptimos y lograr alcanzar un I_{c50} certero, se realizó una adecuación del método propuesto por Mongkolsilp *et al.*, (2004) para el radical DPPH, donde se evaluó la respuesta de distintas concentraciones de los tratamientos sobre el radical. Los resultados de actividad antioxidante también

expresados como valores de Ic50 fueron calculados a partir de la regresión lineal (R^2 mayor a 0.90) graficando los porcentajes de inhibición con respecto a las concentraciones de los extractos.

En esta investigación en la Tabla 8 se mencionan los valores de Ic50 de los frutos sometidos a los diferentes tratamientos considerando el día 0 y 5 de almacenamiento.

Con los resultados obtenidos de Ic50 con los frutos en el día 0 de almacenamiento y sometidos al escalado convencional presentaron los valores más bajos de Ic50. Sin embargo, después de los 5 días fueron los frutos sonicados los que presentaron una reducción del Ic50 (65.57 ± 4.18) y por tanto una mayor actividad antioxidante. Los resultados anteriores coinciden con lo reportado por Soria y Villamiel (2010), quienes obtuvieron un incremento en la actividad antioxidante (2 y 20%) en comparación con frutos frescos al someter frutos de tomate en condiciones de termosonicación. Otros reportes indican que 40 minutos del proceso de termosonicación en hojas de Catappa ayudan a obtener un extracto enriquecido con contenido significativo de polifenoles, que puede servir como una fuente de antioxidante natural (Annegowda *et al.*, 2010).

Tabla 8. Valores de actividad antioxidante reportados como Ic50 en frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha y almacenados a diferentes tiempos.

	Tabla de almacenamiento (días)	
	0	5
Control	49.1 ± 0.2 ^{BC}	40.9 ± 1.88 ^C
E.C	48.74 ± 4.96 ^{BC}	67.2 ± 1.89 ^A
EBT	56.16 ± 1.1 ^C	70.64 ± 2.10 ^A
Sonicación	55.8 ± 8.2 ^B	65.57 ± 4.18 ^B

En la Tabla 9 se correlacionaron los valores del Ic50 y los contenidos de licopeno, por medio de los coeficientes de Pearson (r). Particularmente los contenidos de licopeno se correlacionaron positivamente con los valores del Ic50, con $r= 1.0000$

respectivamente, en los frutos sometidos al escaldado a bajas temperaturas, lo cual indicaría que la actividad antioxidante se ve directamente relacionada con este tratamiento. Mientras que en el tiempo 5 se presentó una correlación negativa ($r = -0.4997$) en frutos expuestos a el tratamiento de termosonicación, en comparación con los tomates procesados con escaldado convencional y escaldado a bajas temperaturas cuyos valores de r fueron $r = 0.5261$ y 1.000 , respectivamente. La tendencia anterior confirma que se mantuvo en ese tiempo de almacenamiento y en los frutos procesados con los tratamientos de termosonicación, una correlación significativa entre los contenidos de licopeno y los valores de los Ic_{50} .

Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson entre los contenidos de Licopeno e Ic_{50} de frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos post-cosecha almacenados durante 0 y 5 días a $4^{\circ}C$.

	Coeficiente de correlación	
	Tiempo 0	Tiempo 5
S	1	- 0.4997
E.C	0.5	0.5261
E.B.T	1	1

Termosonicación (S): $t = 10$ min., $T = 45^{\circ}C$ Frec.= 37KHz, Pot.= 100%, Escaldado Convencional (EC): $T = 90^{\circ}C$, $t = 45s$, Escaldado Bajas Temperaturas (EBT): $T = 55^{\circ}C$, $t = 20min.$, $[CaCl_2] = 0.5\%$

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo con el contenido de licopeno en frutos expuestos a diferentes tratamientos post-cosecha, fueron los tomates sometidos al tratamiento de escaldado convencional los que mostraron una reducción del 47.1% en comparación con el control. Asimismo se presentó un incremento en el contenido de licopeno con los frutos escaldados a bajas temperaturas y sometidos a tratamientos de termosonicación con valores de 65.2 mg/100g y 58.5 mg/100g, respectivamente.

En relación con la actividad antioxidante se pudo observar un aumento en los porcentajes de inhibición al día 3 de almacenamiento en frutos tratados con escaldado convencional y bajas temperaturas. Mientras que la actividad antioxidante en los frutos sometidos a los tratamientos con termosonicación fue mayor en los días 0 y 3 de almacenamiento. Lo anterior resulta conveniente si los frutos son consumidos durante ese periodo de tiempo.

En relación con el contenido de licopeno en frutos se observó un incremento significativo ($P < 0.05$) y gradual, particularmente a partir del tercer día de almacenamiento en frutos sometidos a los tratamientos de escaldado convencional y termosonicación. . La conclusión anterior se correlaciona directamente con la actividad antioxidante de los frutos sometidos a estos tratamientos.

En relación con el día 5 de almacenamiento la actividad antioxidante fue mayor en frutos sometidos a escaldados convencional y con bajas temperaturas. Con los resultados obtenidos de Ic_{50} se pudo observar que los frutos en el día 0 de almacenamiento y sometidos al escaldado convencional presentaron los valores más bajos de Ic_{50} , el cual puede relacionarse con el incremento de la actividad antioxidante.

Los contenidos de licopeno de los frutos en el tiempo cero de almacenamiento se correlacionaron positivamente con los valores del Ic_{50} , con ($r= 1$) en los frutos sometidos al escaldado a bajas temperaturas y termosonicación, lo cual indicaría que la actividad antioxidante se ve afectada con este tratamiento. En el tiempo 5 se presentó una correlación negativa ($r= -0.4997$) en frutos expuestos a el tratamiento de termosonicación, lo cual indicaría que existe una correlación directa entre licopeno y actividad antioxidante.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ **Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M.M., Wu, T., Lei, S., Khan, M. A., Zeng, X., (2014).** Thermosonication as a Potential Quality Enhancement Technique of Apple Juice. *Ultrasonics Sonochemistry* 21(3), 984-990.
- ❖ **Adalid, A. (2011).** “Mejora de la Calidad Nutritiva del Tomate: Búsqueda de Fuentes de Variabilidad, Estudio de la Influencia del Ambiente y Determinación del Control Genético”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- ❖ **Aday, M.S.; Temizkan, R.; Büyükcan, M.B., y Caner, C. (2013).**An innovative technique for extending shelf life of strawberry: Ultrasound *LWT-Food Science and Technology*, 52, 93-101.
- ❖ **Akbudak, B., Akbudak, N., Seniz, V., y Eris, A. (2007).** “Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes”. *Journal of Food Quality*.
- ❖ **Álvarez, M.D. (1996).** “Caracterización reológica de tejidos de de patata tratados térmicamente. Cinéticas de ablandamiento”. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- ❖ **Al-Wandawi, H. (1983).** Chemical composition of seeds of two okra cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 31, 1355-1358.
- ❖ **Andersson, B. y S. Styring. (1991).** Photosystem II: Molecular organsation, function and acclimation. *Plant Physiol. Biochem.* 31, 683-691.
- ❖ **Anese, M., Mirolo G., y Beraldo G. (2012).**Effect of ultrasound treatments of tomato pulp on microstructure and lycopene *in vitro* bioaccessibility. LippeDipartimento di ScienzedegliAlimenti, University of Udine, Via Sondrio 2/A, 33100 Udine Italy.

- ❖ **Annegowda, H.V.; Anwar, L.N.; Mordi, M.N.; Ramanathan, S.; Mansor, S.M. (2010).** Influence of sonication on the phenolic content and antioxidant activity of *Terminalia catappa* L. leaves: 2(6): 368–373.
- ❖ **Aponte, M., Calderón, M., Delgado, A., Herrera, I., Jiménez, Y., Ramírez, Z., Rojas, J., Toro, Y. División de Investigaciones de Alimentos (D.I.A.), División de Nutrición en Salud Pública. Caracas, Venezuela. (2008).**
Disponibile: <http://www.inn.gob.ve/pdf/docinves/fitoquimicores.pdf>
- ❖ **Artés, F., y Artés, F. (2007).** “Tratamientos Postrecolección del Tomate Fresco. Tendencias e Innovaciones”. Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
- ❖ **Antolovich, M; Prenzler, PD; Patsalides, E; Mcdonald, S; Robards, K. (2001).** Methods for testing antioxidant activity. The Analyst critical review. 127(1): 183-198.
- ❖ **Avello, M; y Suwalsky, M. (2006).** Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. Atenea 2(2006): 161-172.
- ❖ **Badui S.D. (2006).** Química de los alimentos, ed. Pearson Educación, México.
- ❖ **Barreiro M.J.A., Sandoval B. y Aleida J. (2006).** Operaciones unitarias de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Venezuela: Editorial equinoccio.
- ❖ **Begum, S., y Brewer, M. (2001).** “Chemical, nutritive and sensory characteristics of tomatoes before and after conventional and microwave blanching and during frozen storage”. Journal of Food Quality.
- ❖ **Bello G.J. (2000).** Ciencia bromatológica de alimentos. España: Ediciones días de santos.
- ❖ **Bertram, J.S., y Vine, A.L. (2005).** Cancer prevention by retinoids and carotenoids: Independent action on a common target. BiochimicaetBiophysicaActa, 1740: 170-178.

- ❖ **Block G, Patterson B, y Subar AF. (1992).** Fruit, vegetable and cancer prevention a review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer* 18: 1-29.
- ❖ **Brennan, J.G.; Butters, J.R.; Cowell, N.D.; Lilly, A.E .V. (1980).** Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Acribia, S.A (eds). Zaragoza, España.
- ❖ **Bülher, K.; Gierscher, K. Emährungs-Umschau. (1988).** 35,216.
- ❖ **Butz, P. y Tauscher, B. (2002).** Emerging technologies: chemical aspects, *Food Res. Int.* 35 279–284.
- ❖ **Candelas-Cadillo, M.G., Alanís-Guzmán, M.G.J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague y García-Díaz, C. (2005).** Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersion. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 4, 299-307.
- ❖ **Canet-Parreño, W. (1980).** “Estudio de la influencia de los tratamientos térmicos de escaldado, congelación y descongelación en la textura y estructura de patata (*Solanum tuberosum* L.)”. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- ❖ **Cantwell, M. (2004).** “Fresh market tomato”. Statewide uniform variety trial report field and postharvest evaluations. Universidad de California.
- ❖ **Carrillo, L. A.; Yahia, E. M. y Ramírez, P. G. (2010).** Bioconversion of carotenoids in five fruits and vegetables to vitamin A measured by retinol accumulation in rat livers. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5(2):215-221.
- ❖ **Clinton, S.K. (1998).** Lycopene: Chemistry, biology and implications for human health and disease. *NutritionReviews*, 1: 35-51.
- ❖ **Cruz, R.M.S., Vieira, M.C., Fonseca, S.C. y Silva, C.L.M. (2009).** “Impact of thermal blanching and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) quality: thermosonication process optimisation and microstructure evaluation”. *Food and Bioprocess Technology*.

- ❖ **Davies, J.N., y Hobson, G.E. (1981).** The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15: 205-280.
- ❖ **Dewanto, V.,X.Wu.;K. Adom y R.Liu (2002).** Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J.Agric.Food Chem.*59:3010-3014.
- ❖ **Dorgan, J.F., Sowell, A., Swanson, C.A., Potischman, N., Miller, R., Schussler, N., Stephenson, y H.E. Jr. (1998).** Relationship of serum carotenoids, retinol, a-tocopherol and selenium with breast cancer risk: results from a prospective study in Columbia, Missouri. *Cancer Causes Control*, 9: 89-97.
- ❖ **Doymaz, I. (2008).** Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 41-47.
- ❖ **Esquina-Alcázar J., y Nuez F.V. (2001).** Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. España: Mundi Prensa. pp. 13-42.
- ❖ **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (1993).** Prevención de pérdidas de alimentos pos cosecha. (Roma).
- ❖ **Farah, A., y Donangelo, C.M. (2006).** Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18:23-36.
- ❖ **FeiertagSimon. (2012).** Disponible: [http:// www.ethno-botanik.org](http://www.ethno-botanik.org)
- ❖ **Fernández, F.A.N., Rodríguez, S., Law, C.L., y Mujumdar, A.S. (2011).** Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 163-185.
- ❖ **Festy Daniele (2007).** “Antioxidantes” Barcelona: Ediciones Robinbook, pag.92.
- ❖ **Figuroa-Cares I.; Martínez-Damián M. T.; Rodríguez-Pérez E.; Colinas-León M.T.; Valle-Guadarrama S.; Ramírez-Ramírez S.; y Gallegos-Vázquez C. (2010)** Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad

antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntiaspp.*) de México, *Agrociencia*, México, 44:763-771.

- ❖ **Fish W. W., Perkins-Veazie P., y Collins J. K. (2002).** A Quantitative Assay for Lycopene That Utilizes Reduced Volumes of Organic Solvents. *Journal of Food Composition and Analysis* 15(3), 309-317.
- ❖ **Fuchigami, M.; Miyazaki, K. y Hyakumoto, N. (1995).** "Frozen carrots texture and pectic components as affected by low-temperature-blanching and quick freezing". *Journal of Food Science*, 60 (1): 132-136.
- ❖ **Gachovska, T.K.; Simpson, M.V.; Ngadi, M.O., y Raghavan, G.S.V. (2003).** Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 2372-2376.
- ❖ **García-García, I. (2004).** El balance redox y la alimentación. Balance antioxidante/pro-oxidante: salud y enfermedad. Cuba. Editorial Palcograf. 309 pp.
- ❖ **Garriz. A. J.A. Chamizo. (1998).** Química. Terpenos. Disponible: <http://books.google.com.mx/books?id=kbvDfKe1810C&pg=PA52&dq=sustancias+activas+de+los+terpenos&hl=es419&sa=X&ei=bIxxUuO2POXt2QWF5IGICQ&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=sustancias%20activas%20de%20los%20terpenos&f=false>.
- ❖ **Gil, A. (2010).** "Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos". Tomo II segunda edición, editorial panamericano.
- ❖ **Gordon, E. A., y Barrett, D. B. (2006).** "Characterization of the Temperature Activation of Pectin Methyltransferase in Green Beans and Tomatoes". *Journal of agriculture and food chemistry*.
- ❖ **Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., Chatzitakis, P.C. y Nikas, V.A. (2006).** Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering* 74, 37-46.

- ❖ **Gross, J. (1991).** Carotenoid distribution in vegetables. pp 148-250. En Pigments in Vegetables. Chlorophylls and Carotenoids. Chapman and Hall, New York, USA.
- ❖ **Gutiérrez, C.M. (2001).** Efecto del ácido salicílico en frutos de tomate con tratamientos precosecha con K/Ca para alargar su vida postcosecha. Congreso: IX SOMECH, XXLVII HIST, VII AMEHOAC. Morelos, México p.14.
- ❖ **Havsteen, B. (1983).** Flavonoids, a class of natural products of high pharmacological potency. *Biochem. Pharmacol.* 32(7):1141-1148.
- ❖ **Hilhorst, H.W.M., Groot S.P.C y Bino R.J. (1998).** The tomato seeds as a model system to study seed development and germination. (*ActaBotánicaNeerlandica*) 47: 169-183.
- ❖ **Howard, L.R.; Burma, P.; y Wagner, A.B. (1997).** "Firmness and cell wall characteristics of pasteurized jalapeño pepper rings as affected by preheating and storage". *Journal of Food Science*, 62 (1): 89-92, 112.
- ❖ **Hughes, J.C.; Grant, A.; Faulks, R.M. J. Food Sci. Agric. (1975).** 26, 739-748.
- ❖ **InfoRural. (2012).** Revista científica "inforural". Director general: Eduardo Goycoolea Nocetti. Disponible en: www.inforural.com.mx.
- ❖ **INN.Dirección de Investigaciones Nutricionales. (2008).** Fitoquímicos. Disponible: <http://www.inn.gob.ve/pdf/docinves/fitoquimicos.pdf>
- ❖ **Javanmardi J., y Kubota C. (2006).** Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Tecnology* 41(2), 151-155.
- ❖ **Jurado, G.S. (2013).** Efecto de los tratamientos post-cosecha tradicionales y emergentes sobre las características de calidad y propiedades químico-funcionales de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) durante el almacenamiento en refrigeración. Pág. 48.
- ❖ **Kähkönen, Marja; Anu I. Copia y Marina Heinonen. (2001).** Berry phenolics and their Antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 49, 4076 - 4082.

- ❖ **Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., y Lee, D. (2004).** “Applications and potential of ultrasonics in food processing”. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 261–266.
- ❖ **Krishnamurthy, K.; Khumana, H.K.; Jun, S.; Irudayaraj, J., y Demirci, A. (2008).** IR heating in food processing: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7 (1), 2-13.
- ❖ **Kun, Y., Lule, U.S., y Xiao-Lin, D. (2006).** Lycopene: Its properties and relationship to human health. *Food Reviews International*, 22: 309-333.
- ❖ **Kuskoski E, Asuero A, Troncoso A, Manzini-Filho J, y Fett R. (2005).** Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 25(4):726-732.
- ❖ **Leighton, T. (1998).** The principles of cavitation. In M.J.W. Povey, and T.J. Mason (Eds.). *Ultrasound in food processing*. p. 151 - 178.
- ❖ **Lemmens, L.; Tiback, E.; Svelander, C.; Smout, Ch.; Ahrné, L.; Langton, M.; Alming, M.; Van Loey, A., y Hendrickk, M. (2009).** Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: Effect on quality related aspects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 522-529.
- ❖ **Lenucci, M.S.; Cadinu, D.; Taurino, M.; Piro, G.; y Dalessandro, G. (2006).** Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J Agric Food Chem*, 54: 2606-2613.
- ❖ **Lewicki, P.P. (2006).** Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 153–163.
- ❖ **Lopez, H. Jaime, H., Cano, G.R., David, S. Oscar, O., y Perez, S. Francisco, L. (2000).** Manejo post-cosecha de frutas y hortalizas. España: Municipio de Granada.
- ❖ **Lurie, S., y J.D. Klein. (1991).** Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 1007-1012.

- ❖ **Lurie, S., A. Handros, E. Fallik, y R. Shapira. (1996).** Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. *Plant Physiol.* 110: 1207-1214.
- ❖ **Luthria DL, Mukhopadhyaya S, y Krizek DT (2006).** Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *J Food Compos Anal.* 19:771-777.
- ❖ **Magoala, I.; G. Tsapas, K. Paletas y K. Mauromatidis (1991).** "Insulin dependent diabetes and renal hypouricemia". *Nephron.* 59: 21-26.
- ❖ **Mangels, A. R.; Holden, J. M.; Beecher, G. R.; Forman, M. R. y Lanza, E. (1993).** Carotenoid contents of fruits and vegetables: an evaluation of analytical data. *J. Am. Diet. Assoc.* 93(3):284-96.
- ❖ **Matkowski, A.; Tasarz, P. y Szypula, E. (2008).** Antioxidant activity of herb extracts from five medicinal plants from Lamiaceae, subfamily Lamioideae. *J. Med. Plant. Res.* 2(11):321-330.
- ❖ **Meléndez-Martínez A.J.; Vicário I.M.; y Heredia F.J. (2004)** Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinamericanos de Nutrición, Venezuela,* 54:209-215.
- ❖ **Mertens, B. y Knorr, D. (1992).** "Developments of nonthermal processes for food preservation". *Food Technology.*
- ❖ **Mongkolsilp S.; Pongbupakit I.; Sae-Lee N.; y Sitthithaworn W. (2004).** Radical scavenging activity and total phenolic content of medicinal plants used in primary health care, *Journal of Pharmaceutical Sciences, Tailandia* 9:32-35.
- ❖ **Morris, E.R., y Walker, J.C. (2003)** Receptor-like protein kinases: the keys to response. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 339-342.
- ❖ **Muftugil, N.J. Food Proc. Pres. (1986).** 10, 69.
- ❖ **Nuria Cubero, Monferrer Albert, y Villalta Jordi. (2002).** Aditivos alimentarios. Mecanismo de actuación de los antioxidantes fenólicos.

Disponible: http://books.google.com.mx/books?id=d_8WL8l-5ooC&pg=PA85&dq=reacciones+de+los+antioxidantes&hl=es&sa=X&ei=eEwVU9vZNaeG2wX7mYCYCw&ved=0CDEQ6AEwAQ#v=onepage&q=reacciones%20de%20los%20antioxidantes&f=false.

- ❖ **Omoni, A.O., Aluko, R.E. (2005).** The anticarcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene: a review. *Trend in Food Science and Technology*, 16: 344-350.
- ❖ **Orrego Alzate, C.E. (2003).** Procesamiento de alimentos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- ❖ **Percival M. (1998)** Antioxidants, *Clinical Nutrition Insights*, 96:1-4.
- ❖ **Pérez Espinosa, J. (2012).** Producción de tomate poblano. Disponible en: www.chavezradiocast.com/altavoz/?p=45978.
- ❖ **Periago MJ, García-Alonso J, Jacob K, Olivares AB, Bernal MJ, Iniesta MD, y Martínez C, Ros G (2009).** Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. *Int J Food Sci Nutr*. 60(8):694-708
- ❖ **Pokorny J, Yanishlieva N, y Gordon M. (2001)** Antioxidantes de los alimentos, ed. Acribia S.A., España.
- ❖ **Porrini Riso, B., Berti, G., and Visioli. (2008).** Singh & Goyal. (2008).
- ❖ **Poulsen, KP. (1986).** Optimization of Vegetable Blanching. *Food Technology* 40 (6), 122- 129.
- ❖ **Prado, Pricilla. Chalampunte. (2005).** Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Disponible: <http://books.google.com.mx/books?id=MpUzAQAAMAAJ&pg=PA34&dq=composicion+proximal+del+tomate&hl=es&sa=X&ei=Q-4MU8S8BOjQyAHGwoCACw&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q=composicion%20proximal%20del%20tomate&f=false>

- ❖ **Prior, R-L., WU, X., y Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 4290-4302.
- ❖ **Rahman S., M. Manual de conservación de los alimentos (2003).** Editorial Acribia (Zaragoza, España).
- ❖ **Raso, J., y Barbosa-Cánovas, G. V. (2003).** Nonthermal Preservation of Foods Using Combined Processing Techniques. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(3), 265-285.
- ❖ **Rangel D., Siller-Cepeda, J., García-Estada, R., Osuna-Enciso, T. y Díaz-Pérez, J. (2003).** CIAD, A.C. Unidad Culiacán E.U.A.: University of Georgia.
- ❖ **Raventós, S. M. (2003).** Industria alimentaria tecnologías emergentes. Universidad politécnica de Catalunya, SL: Ediciones Mundi-Prensa.
- ❖ **Raviyan, P.; Zhang, Z., & Feng, H. (2005).** Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering*, 70, 189-196.
- ❖ **Rawson, A.; Tiwari, B.K.; Tuohy, M.G.; O'Donell, C.P., & Brunton, N. (2011).** Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 1172-1179.
- ❖ **Robbins, R. (2003).** Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 51, 2866-2887.

- ❖ **Rodrigo-García, J.; E. Alvarez - Parrilla.; L. De la Rosa.; G. Mercado y B.Herrera. (2006).** Valoración de la capacidad antioxidante y actividad polifenol oxidasa en duraznos de diferentes áreas de producción. I Simposio Ibero-Americano de vegetales frescos y cortados, San Pedro Brasil. 111 - 116.
- ❖ **Rodríguez R. R., J. M Tavares R. y A. Medina J. (2001).** Cultivo Moderno del Tomate. Madrid, España: Mundi-Prensa 255p.

- ❖ **Roginsky, V., y Lissi, E-A. (2005).** Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*. 92, 235-254.
- ❖ **Roldán-Gutiérrez J. M., y Luque de Castro M. D. (2007).** Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 26(2), 163-170.
- ❖ **Roy, S.J., Tucker, E.J y Tester, M. (2011).** Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops. *Current Opinion in Plant Biology*. 14(3); 232-239.
- ❖ **Sabehat, A., D. Weiss, y S. Lurie. (1996).** The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling tolerance in tomato fruit. *Plant Physiol*. 110: 531-537.
- ❖ **SAGARPA. (2010).** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México: Derechos Reservados.
- ❖ **Sahlin E., Savage G. P., y Lister C. E. (2004).** Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis* 17(5), 635-647.
- ❖ **Salunkhe, D., y Kadam, S. (2003).** "Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas". Acribia, Zaragoza, España.
- ❖ **Sánchez-Moreno, C.; M.P. Cano, B. Ancos, L. Plaza, B. Olmedilla, F. Granada y A. Martín. (2004).** "Consumption of high-pressurized vegetable soup increases plasma vitamin C and decreases oxidative stress and inflammatory biomarkers in Health humans". *J. Nutr.* 134: 3021-3025.
- ❖ **Sánchez-Moreno C, Plaza L, De Ancos B, y Cano MP. (2006).** Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *J Sci Food Agric*. 86:171-9.
- ❖ **Serrano M.; Umaña G.; y Sáenz M.V. (2011).** Fisiología poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de pejíbaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. tuiradarién cosechadas a tres diferentes edades, *Agronomía Costarricense, Costa Rica*, 35:75-87.

- ❖ **Shao, A., y Hathcock, J.N. (2006).** Risk assessment for the carotenoids lutein and lycopene. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 45: 289-298.
- ❖ **Shi, J. y Maguer, M. Le. (2000).** *Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical properties affected by food processing*. *Critical Review in Biotechnology*: 20 (4), 293-334.
- ❖ **Sies H; y Stahl W. (1998).** **Lycopene:** Antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. *Proc Soc Exp Biol Med*; 218: 121-4.
- ❖ **Soria, A.C., y Villamiel, M. (2010).** Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21 (7): 323-331.
- ❖ **Story, E.N., Kopec, R.E., Schwartz, S.J., y Harris, G.K. (2010).** An Update on the Health Effects of Tomato Lycopene. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1: 187-210.
- ❖ **Soria, A.C., y Villamiel, M. (2010).** Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity in foods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 21, 323-331.
- ❖ **Stanley, D.W.; Bourne, M.C.; Stone, A.P. y Wismer, W.V. (1995).** "Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots". *Journal of Food Science*, 60, (2): 327-333.
- ❖ **Takahama, U. (1985).** Inhibition of lipoxygenase-dependent lipid peroxidation by quercetin: Mechanism of antioxidative function. *Phytochemistry*. 24(7):1443-1446.
- ❖ **Takeoka GR, Dao L, Flessa S, Gillespie DM, Jewell WT, Huebner B, Bertow D; and Ebeler S (2001).** Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *J Agric Food Chem*. 49:3713-3717.
- ❖ **Tang, L.L., Jin, T.Y., Zeng, X.B., y Wang, J.S. (2005).** Lycopene inhibits the growth of human androgen-independent prostate cancer cells in vitro and BALB/c nude mice. *The Journal of Nutrition*, 135: 287-290.

- ❖ **Tiwari, B.K., y Mason, T.J. (2012).** Ultrasound processing of fluid foods. En: Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods. DOI: 10.1016/B978-0-12 – 381470-8.00006-2.
- ❖ **Toor R.K.; y Savage G.P.; (2006).** Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes, *Food Chemistry*, Nueva Zelanda, 94:90-97.
- ❖ **Troung, V. D., Walter, W. M. y Bett, K. L. 1998.** Textural properties and sensory quality of processed sweetpotatoes as affected by low temperature blanching. *J. Food Sci.* 63(4): 739-743.
- ❖ **Vilkhu, K., R. Mawson, L. Simmons and D. Bates. (2008).** Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry – A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.9 (2):161P169.
- ❖ **Vercet, A., Burgos, J., Crelier, S., y López-Buesa, P. (2001).** “Inactivation of proteases and lipases by ultrasound”. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
- ❖ **Wang, H.; Cao, G. y Prior, R. L. (1996).** Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.*44(3):701-705.
- ❖ **Xianguan, S; Shi, J; Kakuda, Y; y Yueming, J. (2005).** Stability of lycopene during food processing and storage. *J Med Food*. Winter; 8(4):413-22.
- ❖ **Xiu-Quin L.; Chao J.; Yan-Yan S.; Min-Li Y.; y Xiao-Gang C. (2009)** Analysis of synthetic antioxidants and preservatives in edible vegetable oil by HPLC/TOF-MS, *Food Chemistry*, 113:692–700.
- ❖ **Yucel, U.; Alpas, H., y Bayindirli, A. (2010).**Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. *Journal Food Engineering*, 98, 266-272.
- ❖ **Zamora S.J.D. (2007)** Antioxidantes: Micronutrientes en lucha por la salud, *Revista Chilena de Nutrición*, Chile, 34.
- ❖ **Zanoni, B, Peri, C, Nani, N y Lavelli, V. (1999).** Daño por calor oxidativo de tomate mitades como se ve afectada por el secado. *Investigación Alimentaria Internacional* 31, 5, 395-401.

- ❖ **Zhu, Y., y Pan, Z. (2009).** Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering*, 90, 441-452.
- ❖ **Zoffoli, J. (2009).** Una novedosa alternativa para prolongar la conservación de frutas: inhibidores de la acción del etileno. Disponible: www.alimentariaonline.com