



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**CONSERVACIÓN DE GRANADA MÍNIMAMENTE PROCESADA
EN ATMÓSFERA MODIFICADA PASIVA Y DESINFECTADA
CON OZONO, RADIACIÓN UV-C, SOLUCIÓN DE PLATA
COLOIDAL Y CLORO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

MARÍA BEATRIZ VÁZQUEZ MAYA

ASESORAS:

M. EN C. ALMA ADELA LIRA VARGAS

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



VIRREYDAD NACIONAL
 AVERRAMA DE
 MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.**

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

Conservación de grada minimamente procesada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con ozono, radiación UV-C solución de plata coloidal y cloro

Que presenta la pasante: Maria Beatriz Vázquez Maya
 Con número de cuenta: 409025732 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de agosto de 2013.

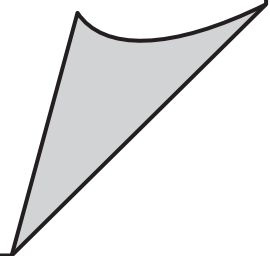
PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José Francisco Montiel Sosa	
VOCAL	Dra. Sara Esther Valdés Martínez	
SECRETARIO	M. en C. Alma Adela Lira Vargas	
1er. SUPLENTE	IA. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	
2do. SUPLENTE	M. en C. Seleno Pascual Bustamante	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HHA/lac

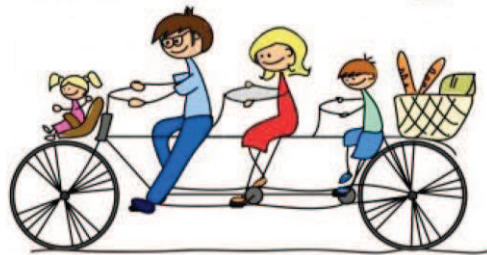
El presente trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT: Desarrollo de envases activos para la conservación de productos frescos y mínimamente procesados (IT201513), de la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM.



Dedicatoria


- Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme, por creer en mí y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento. Este trabajo se los dedico a ustedes:

Papá y mamá

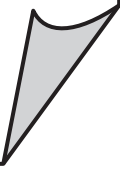


Agradecimientos

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañerismo en las diferentes etapas de mi vida. Algunos están aquí conmigo y otros en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar e donde estén o si alguna vez llegan a leer estas líneas, quiero darles las GRACIAS por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

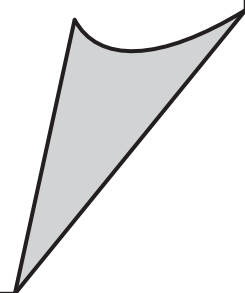
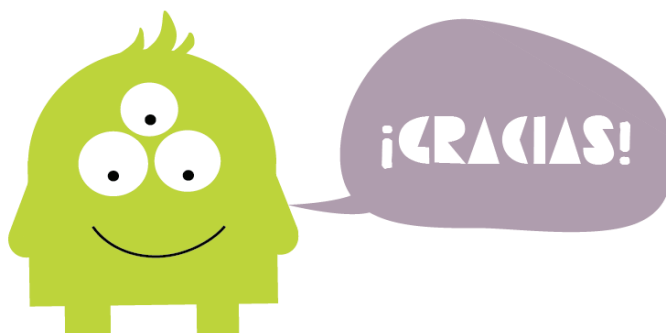
- A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
 - A mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. GRACIAS por creer en mí, siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco el que estén conmigo a mi lado. Los quiero con todo mi corazón.
 - A la Universidad Nacional Autónoma de México: Por abrirme sus puertas y brindarme un lugar en ella para poder llegar a la formación académica profesional, porque pertenecer a la máxima casa de estudios es todo un orgullo.
 - Agradezco de manera especial a la Dra. Andrea Trejo Márquez y a la M. en C. Alma Adela Lira Vargas por la oportunidad y el gran apoyo que me brindaron a lo largo del proyecto, por confiar en mí y siempre exigirme hacerlo mejor. Gracias por ayudarme a hacer esto posible☺.
- 

Agradecimientos

- A mis hermanos **Enrique, Fernando** por todo su cariño y apoyo. He aprendido que nuestras diferencias se convierten en riqueza cuando existe respeto y verdadera amistad. Los quiero mucho.
 - A mi hermana **Mary**, la incondicional, abrazo que me motiva y recuerda que detrás de cada detalle existe el suficiente alivio para empezar nuevas búsquedas, por tu alegría y muchas sonrisas, por tu fortaleza, por estar a mi lado. Gracias. Te quiero mucho.
 - A **Jonathan Barrera**: por tu paciencia y comprensión, porque preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu amor, por creer en mí, por estar siempre a mi lado, mil gracias.
 - A mis **maestros** que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos de la vida, a todos y cada uno de ellos gracias.
 - A mis **amigos** Gracias por compartir este proyecto conmigo, por escucharme, por su paciencia y por darme su amistad y cariño siempre. Gracias Eliana, Diana, Sergis, Sebas, Carmen, Luis Roberto, Sanae, Dieguin, Selene, Aralechelis. Gracias por aceptarme como soy y por soportarme.
- 

Agradecimientos

- A todos mis compañeros del Laboratorio de Poscosecha de Productos Vegetales, por todos los momentos que compartimos juntos, de manera especial a Marisol, Karla, Athziri, Jonathan, Mau, Rodrigo, Caro y Jhony.
- Al proyecto PAPIIT: Desarrollo de envases activos para la conservación de productos frescos y mínimamente procesados (IT201513), de la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM.



Al finalizar éste trabajo de tesis, dejo atrás una etapa de mi vida y comienzo a vivir ésta otra que no sé a dónde me llevará. Hoy me voy y empiezo a extrañar mi vida de estudiante, pero anhelo con grandes ilusiones la del profesional.



“Por mi raza hablara el Espíritu”.

José Vasconcelos





INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS..... V

ÍNDICE DE TABLAS IX

Resumen 1

1. Introducción 3

2. Antecedentes 6

 2.1 Generalidades de la granada..... 7

 2.1.1 Historia y origen..... 7

 2.1.2 Taxonomía y morfología..... 8

 2.1.3 Variedades de granada 9

 2.1.4 Importancia económica de la granada 11

 2.1.4.1 Países productores y consumidores de granada 11

 2.1.4.2 Producción Nacional de granada..... 13

 2.1.5 Composición química y valor nutritivo de la granada 14

 2.1.6 Conservación de la granada 17

 2.2 Generalidades de los productos mínimamente procesados (MP), frescos cortados o de la IV gama..... 19

 2.2.1 Definición de productos mínimamente procesados, frescos cortados o de la IV gama..... 20

 2.2.2 Historia y origen de los productos mínimamente procesados..... 20

 2.2.3 Pros y contras del procesado mínimo..... 22

 2.2.4 Importancia económica de los productos mínimamente procesados 22

 2.2.5 Operaciones básicas del proceso de obtención de vegetales de la IV gama..... 23

 2.2.6 Cambios de los alimentos mínimamente procesados 26

 2.2.6.1 Factores de cambio en frutas y vegetales mínimamente procesados..... 27

 2.2.7 Métodos aplicados a los productos frescos cortados para su conservación 31

 2.2.7.1 Métodos de desinfección 34

 2.2.7.2 Métodos de envasado..... 38



2.2.7.2.1	Envasado en atmósferas modificadas	40
2.2.7.2.2	Materiales de empaque	41
2.2.8	Legislación de los productos mínimamente procesados	43
3.	Objetivos.....	45
3.1	Objetivo general	46
3.2	Objetivos particulares.....	46
4.	Metodología.....	47
4.1	Cuadro metodológico	48
4.1.1	Material biológico.....	49
4.1.2	Proceso de elaboración del producto mínimamente procesado	49
4.1.3	Selección de agente desinfectante	49
4.1.4	Evaluación del efecto del tipo de envase.....	50
4.1.5	Técnicas analíticas	51
4.1.5.1	Parámetros de calidad	51
4.1.5.2	Parámetros químicos	52
4.1.5.3	Análisis microbiológico.....	54
4.1.5.4	Composición atmosférica en el espacio de cabeza	54
4.1.5.5	Evaluación sensorial.....	55
4.1.5.6	Análisis estadístico.....	55
5.	Resultados y Discusión	56
5.1	Parámetros de calidad en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.....	57
5.1.1	Acidez titulable.....	57
5.1.2	pH.....	59
5.1.3	Sólidos solubles totales	60
5.1.4	Color	62
5.1.4.1	Luminosidad	62



5.1.4.2	Croma.....	64
5.1.4.3	Angulo Hue o tono	65
5.2	Parámetros químicos en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.....	68
5.2.1	Contenido de antocianinas.....	68
5.3	Parámetros microbiológicos en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.	71
5.3.1	Recuento total coliformes.....	71
5.3.2	Recuento total de mesófilos	73
5.3.3	Recuento total de mohos y levaduras.....	76
5.4	Parámetros de calidad en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.	78
5.4.1	Acidez titulable.....	78
5.4.2	pH.....	80
5.4.3	Sólidos solubles totales	82
5.4.4	Color	85
5.4.4.1	Luminosidad.....	85
5.4.4.2	Croma.....	86
5.4.4.3	°Hue (Tono).....	88
5.5	Parámetros químicos en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.	90
5.5.1	Antocianinas totales	90
5.5.2	Fenoles totales	94
5.6	Parámetros microbiológicos en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.	97
5.6.1	Recuento total de coliformes.....	97
5.6.2	Recuento total de Mesófilos	99
5.6.3	Recuento total de mohos y levaduras.....	100



5.7	Composición gaseosa en el espacio de cabeza en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva	102
5.8	Evaluación sensorial de arilos de granada bajo diferentes atmósferas modificadas y desinfectadas con cloro y ozono.	107
	Conclusiones y Recomendaciones	110
	Conclusiones	111
	Recomendaciones	113
	Bibliografía	115

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. a) Granada roja y b) partes de la granada.....	7
Figura 2. Centro de origen (IV) y distribución de la granada en el mundo (I, II Ila, III, V,VI, VII, VIII, VIIIa y VIIIb).	8
Figura 3. Variedades de granada.....	10
Figura 4. Evolución del consumo de granada.....	12
Figura 5. a) Principales países productores de granada y b) Porcentaje de producción de los principales países productores de granada.....	12
Figura 6. Platillo de fiestas patrias.	13
Figura 7. a) Principales estados productores y b) porcentaje de producción de granada roja en México.	14
Figura 8. Comparación de potencia antioxidante de bebidas ricas en polifenoles comúnmente consumidas en Estados Unidos.....	15
Figura 9. Productos elaborados a base de granada.....	18
Figura 10. Granada mínimamente procesada o de la IV gama.....	18
Figura 11: alimento mínimamente procesado.....	20
Figura 12. Línea de tiempo productos mínimamente procesado.	21
Figura 13. Comercio mundial de los productos de IV gama.....	23
Figura 14. Esquema general de preparación de frutas y hortalizas de IV gama.	24
Figura 15. Principales alteraciones en alimentos mínimamente procesados.	26
Figura 16. Daño a nivel celular por operaciones de mínimo proceso.	26
Figura 17. Efectos del daño mecánico y los procesos fisiológicos en vegetales de IV gama.	27
Figura 18: Funciones del envase utilizado en frutas y hortalizas frescas cortadas.	38
Figura 19. Productos mínimamente procesados empacados en atmósfera modificada.	39
Figura 20. Representación esquemática de los tres escenarios del EAM de productos hortofrutícolas a) película impermeable b) película completamente permeable c) película con permeabilidad adecuada.	41



Figura 21. 1) Vegetales empacados en bolsa 2) Bandejas de PET 3) bandeja de PET con film envolvente 4) bolsa Zip lock usada en pequeña escala.....	42
Figura 22. Material biológico: granada (<i>Punica granatum L</i>).....	49
Figura 23. Diagrama de proceso de arilos de granada mínimamente procesada utilizado en los 2 objetivos del presente estudio.....	50
Figura 24. Colorímetro Minolta utilizado en la determinación de color.	51
Figura 25. Determinación de acidez por titulación a) filtración de la muestra, b) adición de fenolftaleína, b) valoración con NAOH.	51
Figura 26. Determinación de pH.....	52
Figura 27. Determinación de sólidos solubles totales.	52
Figura 28. Determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial a) dilución de extracto en buffers b) lectura de absorbancia.	53
Figura 29. Determinación de fenoles totales a) Curva de ácido gálico b) espectrofotómetro.	53
Figura 30. Recuento en placas de Agar a) Medios de cultivo b) Placas de agar.	54
Figura 31. Determinación de la composición atmosférica.	54
Figura 32. Formato de prueba sensorial.	55
Figura 33. Efecto de diferentes desinfectantes en acidez titulable de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días..	57
Figura 34. Efecto de diferentes desinfectantes en pH de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.	59
Figura 35. Efecto de diferentes desinfectantes en sólidos solubles totales de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.....	61
Figura 36. Efecto de diferentes desinfectantes en luminosidad de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.	63
Figura 37. Efecto de diferentes desinfectantes en croma de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 5°C durante 20 días..	65
Figura 38. Efecto de diferentes desinfectantes en tono de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.....	66



Figura 39. Efecto de diferentes desinfectantes en antocianinas totales de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.....	69
Figura 40. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de células viables de coliformes presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C.....	72
Figura 41. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de células de bacterias mesófilas presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días.....	74
Figura 42. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de mohos y levaduras presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días...	76
Figura 43. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en la acidez titulable de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.	78
Figura 44. Efecto de diferentes empaques de: películas en el pH de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.	81
Figura 45. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en los sólidos solubles totales de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	83
Figura 46. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas den luminosidad de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	85
Figura 47. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en el croma de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	87
Figura 48. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en el tono (°Hue) de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	88
Figura 49. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en las antocianinas totales de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	90
Figura 50. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas den el contenido de fenoles totales de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días	94
Figura 51. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en el recuento total de coliformes presentes arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días.....	98



Figura 52. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en el recuento total de mesófilos presentes arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días..... 99

Figura 53. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas en el recuento total de mesófilos presentes arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días..... 101

Figura 54. Efecto de las condiciones de empacados en: películas plásticas en la composición gaseosa de arilos de granada mínimamente procesada bajo atmósfera modificada almacenados a 4°C por 12 días..... 104

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la granada.	8
Tabla 2. Partes y características de <i>Punica Granatum L.</i>	9
Tabla 3. Variedades de granada de acuerdo a sus características.	10
Tabla 4. Composición nutricional de la granada	14
Tabla 5. Compuestos funcionales de la granada.....	16
Tabla 6: Métodos de conservación de granada en estado fresco y procesada.....	17
Tabla 7. Clasificación de los alimentos de acuerdo a su Gama.....	19
Tabla 8. Pros y contras de los productos mínimamente procesados.....	22
Tabla 9. Descripción de proceso de elaboración de mínimamente procesados.....	24
Tabla 10. Cambios en productos mínimamente procesados.	28
Tabla 11. Enzimas involucrados en el deterioro de productos de IV gama	30
Tabla 12. Microorganismos involucrados en el deterioro de productos mínimamente procesados.	30
Tabla 13. Métodos físicos y químicos empleados para la conservación de la calidad de alimentos mínimamente procesados.	32
Tabla 14. Agentes desinfectantes y sus características.....	35
Tabla 15. Técnicas de envasado.....	39
Tabla 16. Ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas	40
Tabla 17. Requisitos de los materiales de envases.....	42
Tabla 18. Permeabilidad de diferentes películas de posible utilización en envasado en atmósferas modificadas de productos mínimamente procesados.	43
Tabla 19. Descripción de variables del segundo experimento.	55
Tabla 20. Seguimiento fotográfico del color de arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección respecto al tiempo de almacenamiento.	67



Tabla 21. Asertividad de la prueba triangular efectuada entre los diferentes empaque para arilos de granada mínimamente procesada evaluada por 7 panelistas 108

Tabla 22: Porcentaje de preferencia en la comparación de los tratamientos de envase. ... 108



Resumen



Resumen

La granada es una fruta que en la última década ha tenido un marcado incremento en su cultivo y comercialización a nivel mundial, sin embargo en México es una fruta marginal con escaso consumo, asociado principalmente a la dificultad de pelado, por esta razón el mínimo proceso representa una buena alternativa para el aumento de su comercialización ya que es un producto orientado a las tendencias de consumo de alimentos frescos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro agentes desinfectantes y tres películas de empaque en la calidad de arilos de granada mínimamente procesada.

Para la obtención del producto, la granada se sometió a operaciones de selección, lavado, pelado, desgranado, desinfección y almacenado. Las dosis de desinfectante aplicadas correspondieron a: cloro 70 ppm durante 7 min, solución de plata 7 min, radiación UV-C por 30 y 40 min y Ozono por 3 y 6 min. Además, se mantuvieron arilos de granada sin ningún tratamiento como control y se evaluó la influencia de los diferentes desinfectantes en diversos parámetros de calidad (pH, °Brix, acidez, color, antocianinas y conteo total de coliformes mesófilos, mohos y levaduras). El tratamiento con cloro y ozono por 3 minutos mostraron efectividad al mantener los conteos microbianos más bajos y conservar la calidad del producto; representando el ozono una buena alternativa como método de desinfección alternativo al cloro. Ambos tratamientos aplicados por separado fueron seleccionados como métodos de desinfección para la segunda etapa experimental en la cual se evaluaron diversos materiales de empaque.

En la segunda etapa experimental se evaluó el efecto de 3 atmósferas modificadas pasivas generadas a partir de películas plásticas de Polietileno tereftalato: (PETE), Poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) sobre la calidad de los arilos de granada mínimamente procesada. Los mejores resultados se obtuvieron cuando los arilos se envasaron en películas de PETE y cuando los arilos fueron desinfectados con cloro, sin embargo se ha de hacer notar que el tratamiento de desinfección con ozono representa una buena alternativa de desinfección. Bajo estas condiciones, los arilos de granada mínimamente procesada mantuvieron buenas condiciones de calidad por un periodo de 10 días almacenadas a 4°C.



1. Introducción



Introducción

La granada es una fruta no climatérica que en la última década ha tenido un marcado incremento en su cultivo y comercialización, debido principalmente a sus características sensoriales, nutricionales y funcionales (Oluwafemi, 2012).

En México la granada es una fruta marginal con un bajo consumo, a pesar de la buena calidad de las variedades nacionales, para el año 2012 sólo se alcanzó una producción de 4,444.91 ton que fueron destinadas básicamente al consumo como fruta fresca y como guarnición de platillos típicos mexicanos (Mercado *et al.*, 2011; Mondragón y Juárez, 2008; SIAP, 2011).

Esta baja producción nacional, así como el bajo consumo de granada puede estar asociado en primer término al desconocimiento de las propiedades nutritivas, funcionales y sus potenciales beneficios para la salud derivados de su ingesta regular. En segundo término, presenta la dificultad de extracción de los arilos y el manchado de las manos durante el proceso de pelado debido a la dureza y contenido de compuestos fenólicos en la cáscara, en tercer término se tiene el problema de ausencia de agroindustrias conectadas a la producción de granadas que permitan obtener mediante la investigación y aplicación de tecnologías, nuevos productos a partir de esta fruta (Gil *et al.*, 2000; Mercado *et al.*, 2011; Oluwafemi *et al.*, 2012).

Por todo esto y por que en los últimos 20 años la demanda de productos de alta calidad mínimamente procesados ha aumentado de manera notable, la producción de arilos de granada de IV gama listos para comer, con propiedades sensoriales y nutricionales intactas, representa una alternativa para incrementar la producción y consumo de esta fruta (Gorris y Peppelenbos 1999).

Las operaciones de lavado, pelado, desgranado o cortado necesarias para la obtención de productos de la cuarta gama, generan la reducción de la vida útil del producto respecto al fruto original; con el fin de alargar la vida útil de éste, en los últimos años se han aplicado nuevas tecnologías postcosecha (tratamientos con agentes acidificantes, sales de calcio, agentes reductores, recubrimientos comestibles y compuestos antimicrobianos) combinadas el uso de atmósferas modificadas. Dentro de los nuevos métodos de desinfección alternativos al cloro se encuentra: ozono, radiación gamma, radiación UV-C, soluciones de plata, etc. Se ha aplicado exitosamente ozono a lechuga, pimiento, berros, fresas, etc.; mientras que la radiación UV-C se ha utilizado en guayaba, piña, plátano, granada, etc. Estas tecnologías han mostrado disminuir la carga microbiana y mantener las características del producto fresco (López-Rubira *et al.*, 2005; Conte *et al.*, 2009; Alexandre y Brandão 2011; Althman, 2009).



Por lo tanto el objetivo principal de este trabajo fue evaluar el efecto de cuatro agentes desinfectantes y tres empaques en la vida útil, parámetros químicos, microbiológicos y de calidad de arilos de granada mínimamente procesada para determinar qué tipo de agente desinfectante y empaque mantienen la calidad del producto durante su almacenamiento, consiguiendo de esta forma un producto de alta calidad, con un valor añadido, fácil de consumir, que aporta beneficios a la salud y cuyo proceso puede ser empleado por los productores mexicanos; aumentando de esta forma la producción y consumo de la granada.



2. Antecedentes



2.1 Generalidades de la granada

La granada (*Punica granatum L.*) es una fruta no climatérica del árbol del granado perteneciente a la familia de las puniceas que se desarrolla en muchos países con climas tropicales y subtropicales (Figura 1a). El fruto está cubierto por una cáscara gruesa y su interior está dividido en varios lóbulos que contienen una gran cantidad de arilos de color rojo y sabor agridulce (López-Rubira *et al*, 2005; Kader, 2006).

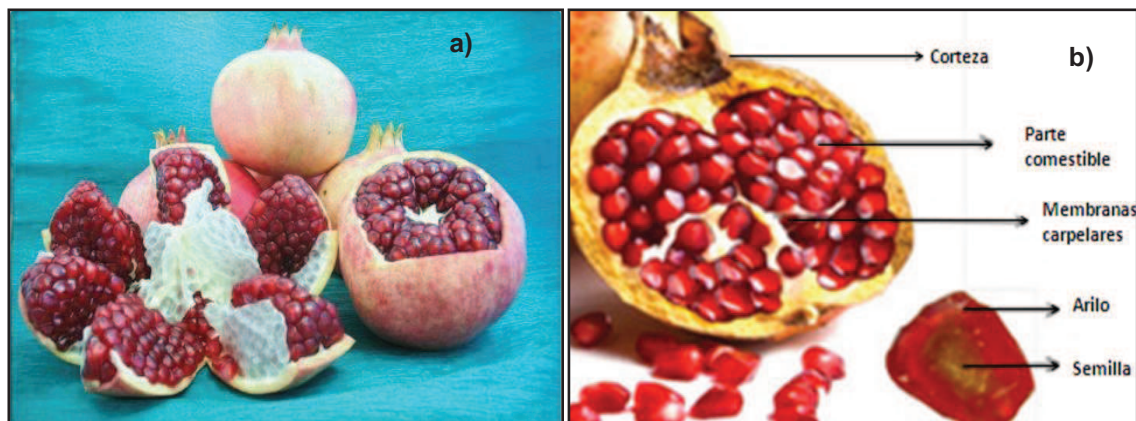


Figura 1. a) Granada roja y b) partes de la granada
Fuente: QUO, (2011); Carbone y Calin (2012).

Las semillas o arilos, son la parte comestible del fruto y suponen del 55-60% del mismo, mientras que la piel o corteza supone del 40-45% (Figura 1b). La parte comestible de la fruta está constituida por 76-85% de jugo y del 15-24% es semillas (Varastech *et al.*, 2012).

2.1.1 Historia y origen

El origen del granado se extiende desde los Balcanes hasta el Himalaya (Figura 2 región IV); es considerado uno de los frutales más cultivados desde tiempos muy remotos. Muy apreciada en las zonas desérticas, por estar protegida de la desecación por su piel gruesa y coriácea, lo que permitía que las caravanas la pudieran transportar grandes distancias, sin que le afectara en la conservación de sus cualidades tan apreciadas. Se encuentran sus huellas en todos los documentos antiguos. Se sabe del cultivo de la granada, desde hace al menos 5000 años en Asia occidental y en el Norte de África; se encontraba en los jardines colgantes de Babilonia y en los bajorrelieves egipcios (López, 2011).

Actualmente el cultivo de la granada está extendido por diversos países de Europa, Asia y América (Seragro, 2009).

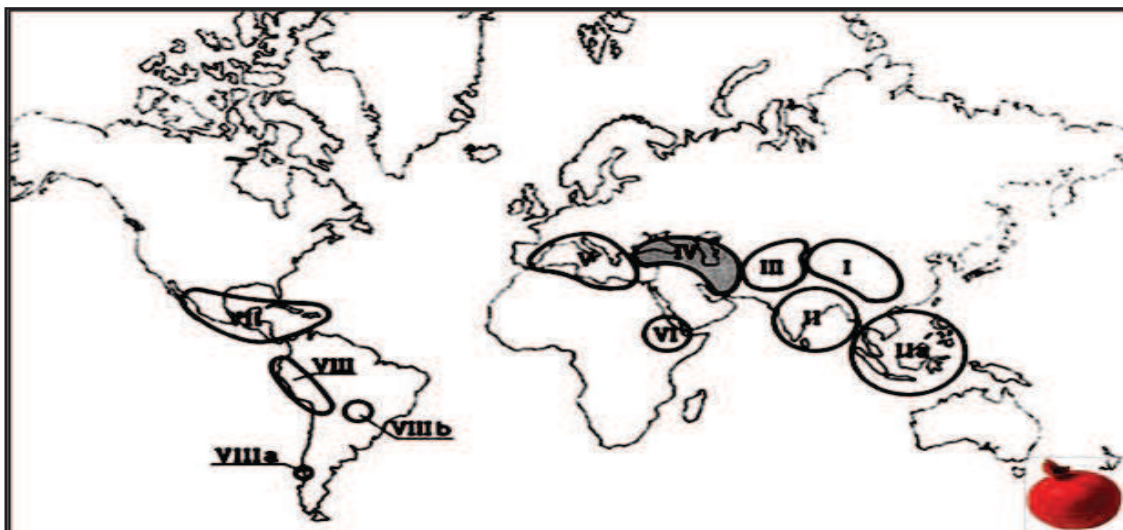


Figura 2. Centro de origen (IV) y distribución de la granada en el mundo (I, II, IIIa, III, V, VI, VII, VIII, VIIIa y VIIIb).

Fuente: Sánchez-Monge (1974).

2.1.2 Taxonomía y morfología

La granada (*Punica granatum* L.) de acuerdo a su taxonomía (Tabla 1) pertenece a la familia *Punicaceas*, que sólo posee el género *Punica* L., de este género las dos especies más conocidas son (Font, 1979):

Punica granatum L.: granado cultivado por sus frutos.

Punica nana L.: granado enano, de uso ornamental y frutos no comestibles.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la granada.

Taxonomía de la granada	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliphyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Myrtales</i>
Familia	<i>Punicaceae</i>
Genero	<i>Punica</i>
Especie	<i>Punica granatum</i>

Fuente: Infoagro (2012).

El Granado (*Punica granatum*) es el árbol donde madura un fruto muy particular: la granada, llamada así por la cantidad de granos que la integran. En la Tabla 2 se muestra un resumen de las características de *Punica Granatum* L. (SEDER, 2010).



Tabla 2. Partes y características de *Punica Granatum L.*

Parte del granado		Descripción
Árbol		El granado es un arbusto caducifolio que se desarrolla en zonas tropicales y subtropicales que puede alcanzar de 3 a 4 m de altura, es de madera dura y corteza escamosa con copa extendida y mucho ramaje.
Hoja		Las hojas son simples, teniendo un ápice obtuso y una base aguda brillante. Las hojas son opuestas ó sub-opuestas, brillantes, oblongas estrechas, enteras, de 3 a 7 cm de longitud y 2 cm de anchura.
Flor		Las flores son vistosas de forma acampanada y de un color rojo brillante, de 3 cm de diámetro, con cinco pétalos.
Fruto		El fruto es una baya en forma de globo coronado por un caliz y mide de 6 a 14 cm de diámetro, la cáscara o pericarpio es brillante y correosa. En su interior hay divisiones de entre 5 y 8 lóbulos que contienen una gran cantidad de arilos de color rojo a rosa, jugosos y con sabor agri-dulce.

Fuente. Elaboración propia con información de Castañón (2008).

En México la recolección de esta fruta comienza a mediados de Julio-Septiembre —para las variedades más tempranas—, y termina a mediados de Noviembre —para las más tardías — (SEDER, 2010).

2.1.3 Variedades de granada

A consecuencia de la propagación de la granada y de su cultivo en diferentes países alrededor del mundo existe un sin número de variedades de granada. En total se han descrito más de 3000 variedades. Hay granadas de colores diversos desde rosadas, rojas, verdes hasta negra que tienen condiciones de alta productividad y adaptadas al mercado creciente actual (Tikagroup, 2012).

De acuerdo a Melgarejo (1993) las variedades de granado (Figura 3) se pueden clasificar en variedades dulces (0.15-0.48% ácido cítrico), agridulces (0.54-0.91% ácido cítrico) y variedades agrias (2.34-2.69% ácido cítrico).



Figura 3. Variedades de granada.
Fuente: Frutihortícola (2012).

Además de la clasificación dada por Melgarejo (1993), la fruta se puede clasificar de acuerdo a su temporada de cosecha en: tempranas, medias y tardías o en base a las características físicas de la fruta como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Variedades de granada de acuerdo a sus características.


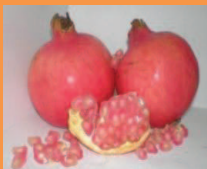




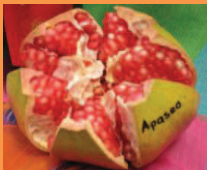

Variedad	Característica	Origen
Mollar de Elche 	Frutos de calibres medios-grandes, semillas dulces, y de piñón blando. El color externo del fruto es rojo-amarillento y el color interior es rojo claro. La piel resiste bien el manipulado. Su contenido en sólidos solubles totales oscila de 13.44-17.68 °Brix, acidez de 0.24-0.35, con un porcentaje en zumo del orden del 34.42-40% y con un contenido medio en fibra bruta de 3.8-7.9%.	España
Valenciana 	Variedad temprana, de calibre medio, semillas dulces, piñón inapreciable. Color interno rosa claro y color externo rosa intenso. Piel sensible al manipulado. Su contenido en sólidos solubles totales es de 13.9-15.50 °Brix, acidez de 0.14-0.26%, con un porcentaje en zumo del orden del 29.26-53.84%	España
Wonderful 	Presenta frutos de calibre medio a grande, corona alargada, color externo rojo, semillas de color rojo intenso, pequeñas, piñón semiduro y de sabor ácido.	Estados Unidos e Israel
Bedana 	Es medio a grande, con parduzco o la corteza blanquecina, reduce rosáceo blanco a pulpa, dulce, las semillas son suaves.	India



Tabla 3. Variedades de granada de acuerdo a sus características (Continuación).

Variedad	Característica	Origen
Kandhari 	Es grande, de color rojo oscuro, con pulpa de color rosa oscuro o sangre-roja, sub ácida y semillas duras.	India
Apaseo Tardía 	Produce frutos de color verde-amarillento, de cáscara delgada, de grano rojo oscuro y dulce, la semilla es semidura y de tamaño aceptable. Es un fruto grande con peso promedio de 400g. Madura a fines de Agosto y se puede encontrar hasta la primera quincena de Octubre.	México
Apaseo 	Principal variedad comercial de México. Está disponible desde Julio hasta Septiembre. La fruta es redonda y grande, con un peso promedio de alrededor de 300g. Es de cáscara gruesa muy resistente al manejo, madura en amarillo-naranja con chapete rojo, el grano es de color rojo brillante y dulce, la semilla es semidura y de tamaño aceptable.	México
Hicaznar y Silifke 	De un color rojo-violeta y sabor agridulce.	Turquía

Fuente: Elaboración propia con información de Mondragón y Juárez (2008) y Melgarejo (2010).

En México no se cuenta con una norma que regule a la granada como fruta, solo se tiene un anteproyecto de norma del Codex para granada CX/FFV 11/16/8. En este anteproyecto se clasifica la granada de acuerdo a la calidad y características de la fruta en: extra, categoría I y categoría II.

2.1.4 Importancia económica de la granada

2.1.4.1 Países productores y consumidores de granada

En los últimos 10 años, y particularmente en los países más desarrollados, es posible observar un crecimiento constante y bastante acelerado del consumo de productos derivados del fruto del granado (Figura 4), esto como parte de la expansión que vienen experimentando a nivel mundial, las demandas por alimentos funcionales dentro de los cuales destaca la granada por su gran poder antioxidante (SEDER, 2010).

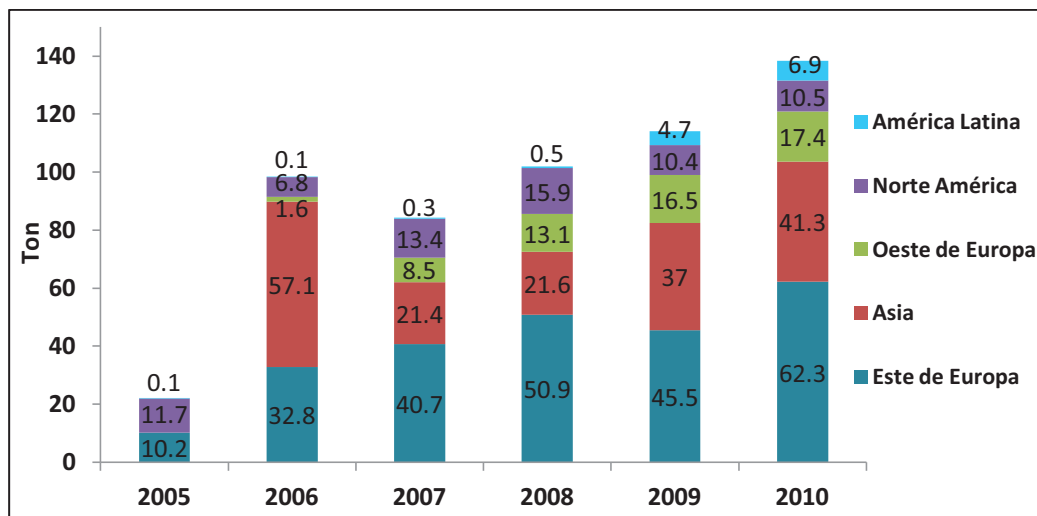


Figura 4. Evolución del consumo de granada.
Fuente: FRUTAR (2011).

En el mercado internacional los principales países productores se encuentran en el Medio Oriente, destacando la India, Irán, Pakistán y China (Figura 5). Otros países productores que destacan son Egipto, España, Turquía y Siria. El principal país exportador de granada fresca en el mundo es España (siendo el principal exportador mundial de granada y principal abastecedor del mercado Europeo).

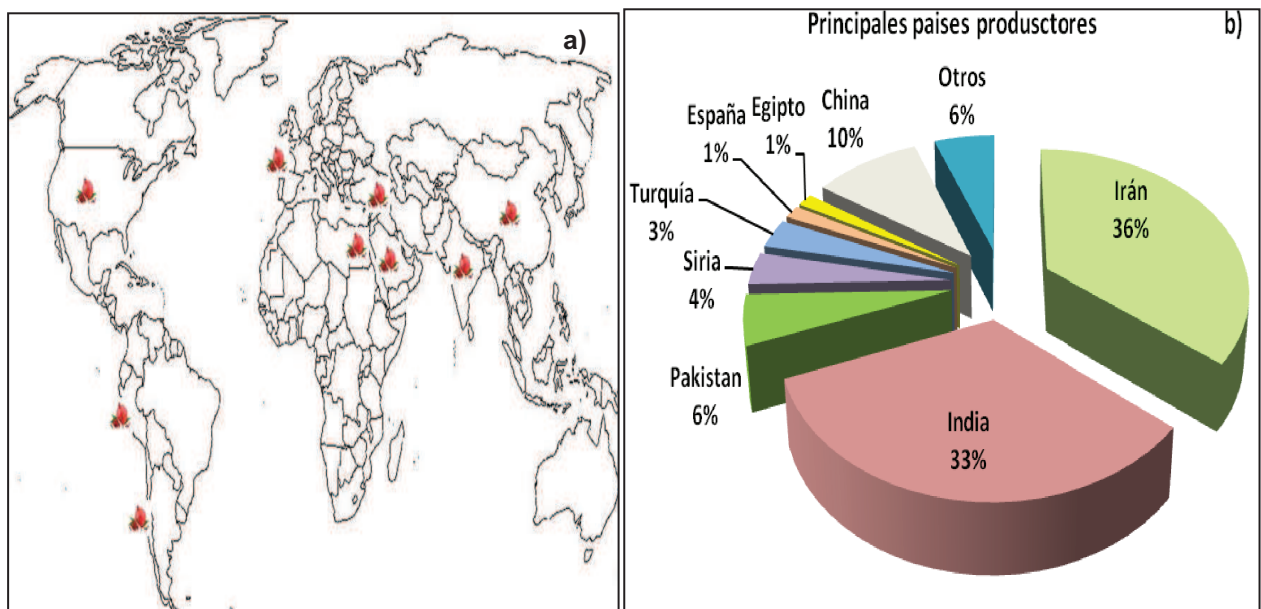


Figura 5. a) Principales países productores de granada y b) Porcentaje de producción de los principales países productores de granada.

Fuente: Elaboración propia con información de AMPEX (2006) y SEDER (2010).



India, Israel, Perú, Bangladesh, Chile, Perú y USA exportan también al mercado Europeo, pero México aunque es productor, no figura dentro de los mayores productores ni exportadores a nivel mundial (AMPEX, 2006; SEDER, 2010).

Los principales países importadores de granada fresca son los Europeos, destacando Francia como mayor importador durante el año 2005 y Holanda como el país que mayor importación ha realizado desde el Año 1999, pero los países que más precio pagan por la granada son Suiza y Suecia (AMPEX, 2006).

2.1.4.2 Producción Nacional de granada

En México la granada es un frutal marginal y árbol ornamental. A pesar de su amplia adaptación, alto rendimiento por árbol y buena calidad de fruta de las variedades nacionales, la granada es consumida en forma esporádica y estacional, usualmente como fruta fresca y como guarnición de platillos y ensaladas de fiestas patrias (Figura 6). La baja producción nacional posiblemente esté asociada a una baja demanda, debido a las dificultades involucradas en su consumo como fruto fresco; el cual es difícil de pelar y algunas variedades liberan polifenoles que tiñen las manos del consumidor (Mondragón y Juárez, 2008).

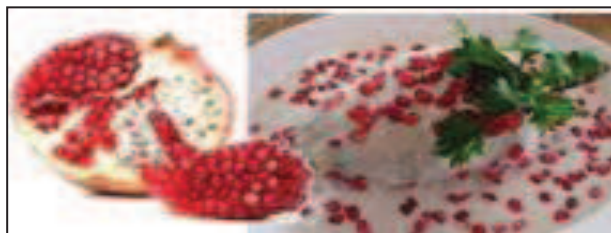


Figura 6. Platillo de fiestas patrias.
Fuente: Forosperu (2012).

En México la producción de granada roja durante 2012 alcanzó las 4,444.91 ton obtenidas de 650.2 ha y a pesar de que se cultiva ya hace años, el nivel tecnológico es muy bajo y la comercialización rudimentaria. Los principales estados productores son Oaxaca, Sonora, Hidalgo y Guanajuato que aportaron más del 70% de la producción nacional para este mismo año (Figura 7). En el mes de septiembre de 2012 el costo de una caja de 25 kg de granada se vendió entre \$160-180 en la central de abasto (SIAP, 2011; SNIIM, 2012).

Dada la alta demanda por alimentos funcionales derivados de la granada en países como Estados Unidos y Canadá, hoy existe la posibilidad de diversificar la oferta productiva de las regiones donde se cultiva la granada, como una forma de innovar incursionando en su uso agroindustrial y México como productor, puede abastecer el mercado en los momentos de baja



producción en los países productores tradicionalmente exportadores como Irán, USA, España e Israel (SEDER, 2010).

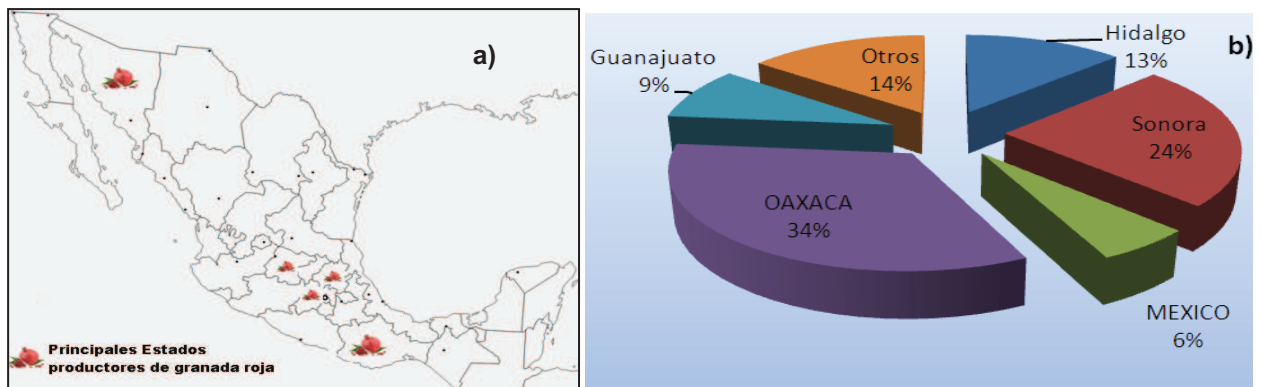


Figura 7. a) Principales estados productores y b) porcentaje de producción de granada roja en México. Fuente: SIAP (2011).

2.1.5 Composición química y valor nutritivo de la granada

La composición de la granada y su contenido de compuestos activos dependen de factores genéticos, madurez, ambiente, post cosecha, y el procesado que se le dé (Feryal *et al.*, 2012).

Como se puede observar en la Tabla 4, la granada es una fruta de muy bajo valor calórico debido a su escaso contenido de hidratos de carbono, siendo el componente mayoritario el agua. Está compuesta de carbohidratos, minerales, fibra cruda y varios compuestos activos, como lo son la vitamina C, el ácido cítrico (de acción desinfectante, alcaliniza la orina y potencia la acción de la vitamina C), málico y los taninos. Estos últimos son sustancias con propiedades astringentes y antiinflamatorias.

Tabla 4. Composición nutricional de la granada

Compuesto	en 100 g de la porción comestible
Calorías	68 Kcal
Agua	80.97 g
Proteína	0.95 g
Grasa	0.30 g
Cenizas	0.61 g
Carbohidratos	17.17 g
Fibra	0.6 g
Calcio	3 mg
Hierro	0.30 g
Fósforo	8 mg
Vitamina C	6.1 mg

Fuente: FAO (2006).



La granada también contiene flavonoides, pigmentos vegetales responsables del color rojizo de sus granos, de acción antioxidante y antiséptica. Dichos componentes tienen la capacidad de captar radicales libres nocivos para el organismo, por lo que el consumo de granada puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, cardiovasculares y de cáncer (Faten *et al.*, 2012).

De acuerdo a diversos estudios realizados en los últimos 20 años, sobre la composición química de la granada y más recientemente acerca de sus efectos sobre la salud, podemos considerar a la granada como un alimento funcional (Melgarejo, 2010).

Los alimentos funcionales son aquellos que: “Se consumen como parte de una dieta normal y contienen componentes biológicamente activos, que ofrecen beneficios para la salud y reducen el riesgo de sufrir enfermedades”. En ellos destacan los que contienen determinados minerales, vitaminas, ácidos grasos o fibra alimenticia, los alimentos a los que se han añadido sustancias biológicamente activas, como los fitoquímicos u otros antioxidantes y los probióticos, que tienen cultivos vivos de microorganismos beneficiosos (Melgarejo, 2010).

Numerosos estudios han mostrado que los compuestos fitoquímicos de la granada tienen efectos terapéuticos y preventivos de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, neurodegenerativas, ayuda a mantener niveles óptimos de colesterol, etc. Sus efectos promotores de la salud están basados en su remarcada capacidad antioxidante (Faten *et al.*, 2012; Uysal y Kirca, 2011; Tezcan *et al.*, 2009).

Gil *et al.* (2000) mostraron que la capacidad antioxidante del jugo de granada fue tres veces mayor que la del vino tinto y el té verde. Adicionalmente el jugo de granada tiene mayor capacidad antioxidante que muchas de las bebidas más comunes del mercado estadounidense ricas en polifenoles (Figura 8).

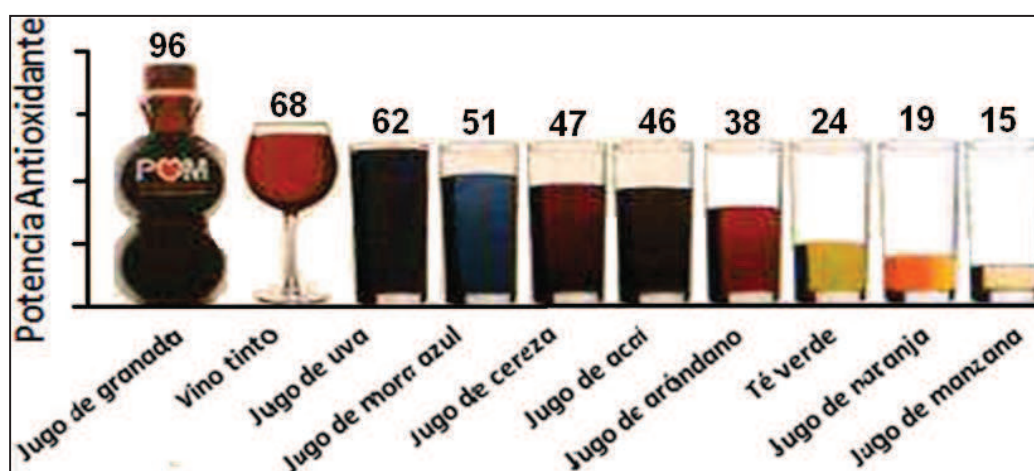
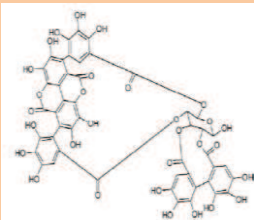
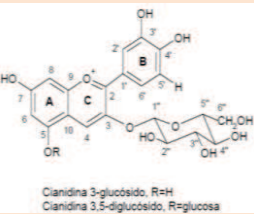
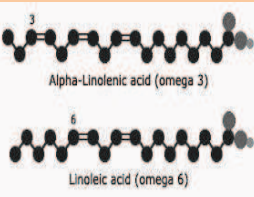


Figura 8. Comparación de potencia antioxidante de bebidas ricas en polifenoles
Fuente: Melgarejo (2010).



Algunos compuestos de gran interés, que están presentes en la granada y que le dan sus propiedades funcionales se citan en la Tabla 5.

Tabla 5. Compuestos funcionales de la granada.

Compuesto y estructura	Características	Ubicación	Tipos de compuestos	Referencia
Fenoles 	<p>Juegan un papel importante en el color, textura, sabor así como también en su capacidad antioxidante; Son responsables de aproximadamente el 50% de la actividad antioxidante</p>	Cáscara y arilos	<p>Ácido elágico, gálico, punicalin, punicalagina, peduncalagina, antocianinas y diferentes flavonoles.</p>	<p>Gil <i>et al.</i> (2000); García-Viguera y Pérez (2004); Carbone y Calin (2012) Sánchez, (2009).</p>
Antocianinas  <p>Cianidina 3-glucósido, R=H Cianidina 3,5-diglucósido, R=glucosa</p>	<p>Son compuestos polifenólicos responsables del color rojo de las granadas y de sus semillas. Actúan como antioxidantes con potenciales beneficios a la salud.</p>	Cáscara y arilos	<p>Delfinidina 3-glucósido y 3,5-diglucósido; cianidina 3-glucósido y 3,5-diglucósido y pelargonidina 3-glucósido y 3,5-diglucósido.</p>	<p>Melgarejo (2010) y Alighourchi <i>et al.</i> (2008)</p>
Ácidos grasos  <p>Alpha-Linolenic acid (omega 3) Linoleic acid (omega 6)</p>	<p>Éstos juegan un papel muy importante como preventivos en enfermedades cardiovasculares y en algunos otros problemas de corazón.</p>	Semillas	<p>Alto contenido en ácidos grasos insaturados tales como: ácido linolénico, linoleico, púnico, oleico, esteárico y palmítico</p>	<p>Carbone y Calin, (2012); Melgarejo, (2010).</p>



2.1.6 Conservación de la granada

La granada es un órgano vegetal vivo, que continúa su actividad metabólica después de la recolección, produciéndose una serie de alteraciones que determinan su pérdida de calidad en un período de tiempo relativamente corto. Entre estas alteraciones destacan: deshidratación, aumento de la respiración, daños por frío, sobre-maduración (que incluye pérdida de compuestos bioactivos) y podredumbres (Kader, 2006).

Para que la granada tenga calidad organoléptica, nutritiva y funcional debe ser cultivada adecuadamente, tener una correcta manipulación en cosecha y postcosecha, se debe conservar bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad y además se deben seleccionar y usar adecuados métodos de conservación (Melgarejo, 2010).

En la Tabla 6 se presenta una clasificación de métodos de conservación en el proceso de transformación de la granada en diversos productos.

Tabla 6: Métodos de conservación de granada en estado fresco y procesada.

Efecto	Acción	Método
Físico	Acción de la temperatura	
	Bajas temperaturas	Refrigeración
		Congelación
	Altas temperaturas	Pasteurización
		Esterilización
	Eliminación de agua	
	Sólidos o semisólidos	Deshidratación
		Liofilización
		Pulverización
	Líquidos	Concentración
	Filtración esterilizante	
	Irradiación	Radiaciones infrarrojas
		Radiaciones ultravioletas
Microondas		
Radiaciones ionizantes		
Atmósferas		
Modificadas y controladas		
Químicos	Conservadores naturales	Azúcares
	Sustancias antisépticas y desinfectantes	
	Reductores y oxidantes	
Fisicoquímicos	Acción oligodinámica de metales	Plata, oro, platino

Fuente: Michelis (2006).

La granada se consume generalmente en fresco. Sin embargo a partir del interés por ésta y por sus compuestos funcionales y utilizando solos o en combinación los métodos de conservación



se han desarrollado una gran cantidad de productos a partir de ella (Figura 9). Los productos industrializados de la granada de mayor importancia son: zumos de granada, vinos y licores, mermeladas, arilos deshidratados, arilos mínimamente procesados o de la IV gama, cosméticos: cremas, aceites, geles, jabones, etc. (Carbone y Calin, 2012).



Figura 9. Productos elaborados a base de granada.
Fuente: FRUTAR (2011).

Dentro de los productos obtenidos a partir de la granada destacan los arilos mínimamente procesados o de la IV gama cuya producción comercial es incipiente pero con un gran futuro ya que su producción se orienta de acuerdo con las tendencias del mercado, desarrollando la apertura de nuevas salidas para productos agrícolas (Figura 10) (Carbone y Calin, 2012).



Figura 10. Granada mínimamente procesada o de la IV gama.
Fuente: Melgarejo (2010); Carbone y Calin (2012).






El mínimo proceso, mejora el acondicionamiento y la presentación de los productos agrícolas, fomentando un mejor uso de los subproductos o residuos, aplica nuevas tecnologías, fomenta inversiones innovadoras, controla la calidad del proceso, controla sus condiciones sanitarias y protege el medio ambiente, elaborando un nuevo alimento que satisface las demandas de los consumidores actuales y por otra parte, se mejora y racionaliza la actividad productora de los cosecheros de granada, aumentando la competitividad y el valor añadido de su producto (Melgarejo, 2010).



2.2 Generalidades de los productos mínimamente procesados (MP), frescos cortados o de la IV gama

Desde el inicio de la humanidad el hombre ha buscado la forma para conservar sus alimentos por más tiempo, iniciando esa búsqueda con técnicas rudimentarias como el salado o el secado al sol. Conforme la ciencia ha avanzado se han empleado métodos de conservación más sofisticados en los que se han aplicado diversos factores de conservación como la temperatura, aw, pH o la adición de conservadores y así, se han generado una gran cantidad de productos en respuesta a las necesidades de la población. Los productos pueden clasificarse en cinco gamas de acuerdo a su orden de aparición en la secuencia histórica, de acuerdo a los tratamientos que hayan recibido (grado o intensidad al que están sometidos frutos y hortalizas) y a la presentación de los productos hortícolas (Tabla 7) (Hormazabal, 1999; Welti y Bermúdez, 2012).

Tabla 7. Clasificación de los alimentos de acuerdo a su Gama.

Gama	Característica
Productos frescos: I gama 	Se trata de alimentos no transformados que no han sufrido ningún tratamiento higienizante ni de conservación como lo son: Verduras, carnes, huevo, pescados y mariscos.
Conservas y semiconservas: II gama 	Han sufrido un tratamiento normalmente térmico para su conservación y se realiza un envasado hermético. Tienen larga vida útil (años). Ejemplo de estos productos son los enlatados como mermeladas, almibares, etc.
Congelados: III gama 	Alimentos a los cuales se les aplica calor (escaldado) y congelación para su conservación.
Mínimamente procesados: IV gama 	Son principalmente alimentos hortofrutícolas frescos limpios, libres de partes no comestibles, troceados para su consumo y envasados. Mantienen sus propiedades naturales y su frescura pero necesitan conservación en frío. Tienen caducidad corta (aproximadamente 7-10 días).
V gama 	Platos de última generación. Son precocinados y han sido tratados en muchos casos con calor y están listos para consumir, solo es necesario un calentamiento previo, sin necesidad de grandes manipulaciones por parte del consumidor final.

Fuente: Welti y Bermúdez (2012) y ECOEMBES (2009).



La aparición de los productos mínimamente procesados en fresco; precortados frescos y refrigerados o de la cuarta gama, está asociado al actual ritmo de vida, con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas y a la demanda por parte de los consumidores de alimentos saludables, de alta calidad, naturales, con menos aditivos artificiales y dispuestos para consumir (Artés *et al.*, 2009).

2.2.1 Definición de productos mínimamente procesados, frescos cortados o de la IV gama.

La asociación internacional de productos frescos cortados define a los productos de cuarta gama (Figura 11) como “Cualquier fruta o vegetal o combinación de estos que han sido seleccionados y/o pelados y/o cortados para obtener un producto 100% utilizable que se envasa o preempaca para ofrecer al consumidor alta nutrición, conveniencia, sabor y aroma y que mantienen su estado de frescura” (IFPA, 2003).



Figura 11: Alimento mínimamente procesado.
Fuente: Gil (2006).

Otra definición dice lo siguiente:

- Son aquellas hortalizas y/o frutas frescas, limpias, peladas enteras y/o cortadas de diferentes maneras, asociadas a un parcial tratamiento de conservación no definitivo que puede incluir control de pH, antioxidantes, inmersión en agua clorada o una combinación de estos u otros tratamientos, cuyo mínimo proceso permite mantener sus propiedades naturales y tomarlas fáciles de utilizar por el consumidor ya sea para consumo directo crudo o para preparaciones culinarias, las que se presentarán envasadas al vacío o en atmósferas modificadas con o sin utilización de gases (Wiley, 1997).

2.2.2 Historia y origen de los productos mínimamente procesados

Los productos mínimamente procesados surgen en los años 40's (Figura 12). Los primeros productos de la cuarta gama que se comercializaron fueron lechugas y diferentes hortalizas de hojas que fueron dirigidas básicamente a establecimientos de venta de comida; Inicialmente



estos productos no fueron muy exitosos ya que en el proceso de obtención del vegetal cortado eran utilizadas materias primas de segunda calidad, por esta razón sus cualidades eran impredecibles y su tiempo de vida muy limitado. Adicionalmente, la refrigeración tenía una pobre distribución y no se contaba con empaques apropiados para los productos que inicialmente fueron empacados en bolsas de celofán (Lamikanra, 2002; Wiley, 1997; Teullado-Llavador *et al.*, 2005).

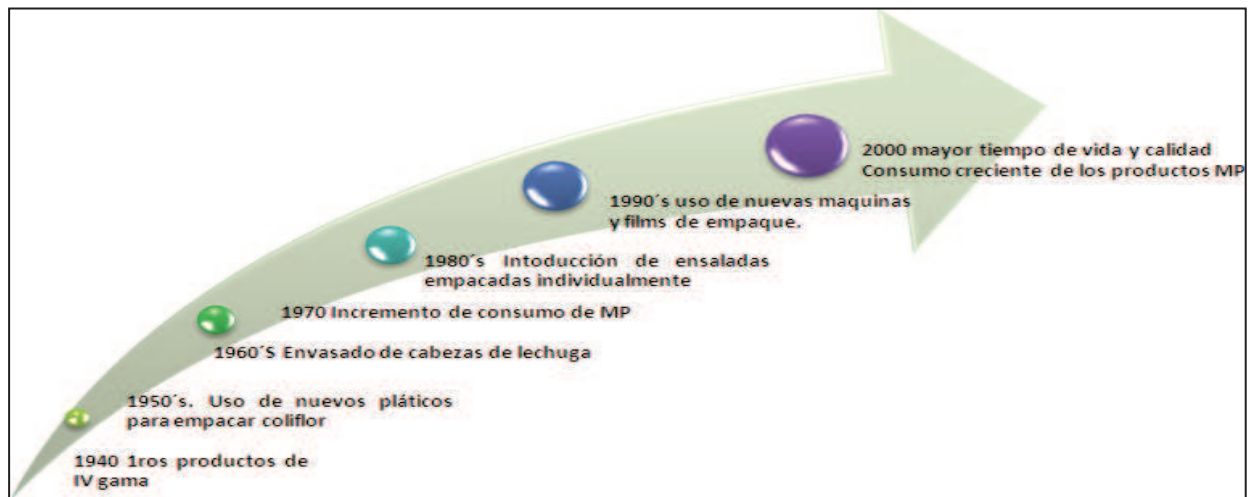


Figura 12. Línea de tiempo de los productos mínimamente procesados.

Fuente: Elaboración propia con información de Lamikanra (2002).

La industria de los productos frescos cortados construyó muchos de sus equipos y, poco a poco y con el desarrollo de nuevos envases, la producción de los mínimamente procesados fue creciendo. En los 1970's se tuvo un pequeño incremento en el consumo de estos productos; sin embargo fue hasta 1980's cuando se tuvo un marcado aumento en su consumo; este crecimiento real coincidió con el aumento del número de restaurantes (Lamikanra, 2002).

A mediados de 1980's McDonald's comenzó a comprar ensaladas frescas empacadas en bolsas de 5 lb y estas eran re-empacadas en envases individuales y vendidos dentro de sus establecimientos. Las ensaladas empacadas herméticamente en aquel entonces no eran una práctica común, pero la introducción de las ensaladas de McDonald's motivó a otros restaurantes a ofrecer productos similares. Este hecho coincidió precisamente con el momento en que las mujeres comenzaban a trabajar fuera de casa lo que generó que se buscaran productos de mayor comodidad y listos para consumir (Lamikanra, 2002).

En los 90's se sugirió ampliar el mercado mediante la producción de frutas frescas cortadas. Esta innovación en ensaladas o cocktails de frutas comprende esencialmente cítricos y trozos de manzana, adicionados con algún fruto de estación (melón, uva, fresa, etc.); pero la



inestabilidad microbiológica y la susceptibilidad a diversas alteraciones dificultó y aún dificulta su desarrollo comercial (Teullado-Llavador, 2005).

Hoy en día, la industria de los mínimamente procesados sigue creciendo buscando ofrecer al mismo tiempo cualidades de frescura, calidad nutricional y sensorial, seguridad, mayor vida útil (12-14 días en vegetales y 8-10 para frutas) y comodidad en sus productos (Allende *et al.*, 2006; Lamikanra, 2002).

2.2.3 Pros y contras del procesado mínimo

Los principales beneficios de los productos mínimamente procesados para el consumidor final así como las desventajas de estos productos se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Pros y contras de los productos mínimamente procesados.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Presentan características casi idénticas a la de los vegetales de partida. Facilitan el consumo de productos saludables y nutritivos.• Muestran una buena calidad uniforme y consistente.• Requieren poco espacio de almacenamiento y son fáciles de guardar.• Están dispuestos para el consumo inmediato sin necesitar manipulación o con muy poco tiempo de preparación.• El aprovechamiento es máximo generando poco o ningún residuo al ser generalmente comestible en su totalidad.• Da valor agregado al producto.• Menor tiempo de preparación de las comidas.• Calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año	<ul style="list-style-type: none">• No siempre cumplen con las normas de seguridad microbiológica.• En ocasiones el precio es elevado para las economías modestas.• Exigen estrictos requerimientos higiénicos y sanitarios ya que el manipuleo ocasiona un aumento de microorganismos y posibles contaminaciones con patógenos.• Necesitan un riguroso control de temperatura durante toda su vida comercial.• Resulta necesaria una gran calidad del producto original.• Tienen una vida útil menor a la materia prima de la que provienen y es difícil de preservar su frescura por tiempos prolongados.• Mayor rango de respiración y producción de etileno.

Fuente: Bautista y Corrales (2004); Ragaert *et al.* (2004).

2.2.4 Importancia económica de los productos mínimamente procesados

Los productos IV gama (frutas y hortalizas mínimamente procesadas) son un mercado relativamente nuevo y que está creciendo rápidamente, perfilándose como uno de los mercados



más prometedores de la alimentación. Dicho éxito es consecuencia directa del avance de los nuevos hábitos de consumo, que demandan productos cada vez más fáciles y rápidos de preparar, pero sin sacrificar por ello las propiedades de sabor, frescura y calidad característicos de los mismos (AINIA, 2010).

El mercado de productos IV gama a nivel mundial se encuentra liderado por EE.UU, representando el 85% de las ventas, respecto al 7% alcanzado en Europa (Figura 13) (AINIA, 2010).

En Europa los mercados más maduros de IV gama son el británico y el francés, representando alrededor de un 8% de la venta total de productos hortofrutícolas. En Estados Unidos principal consumidor de productos de IV gama, la sección hortofrutícola general ocupa un 13% de la superficie total del supermercado y cerca del 20% de la venta total; de este 13% la sección de IV gama ocupa un 10% de la zona hortofrutícola (AINIA, 2010).

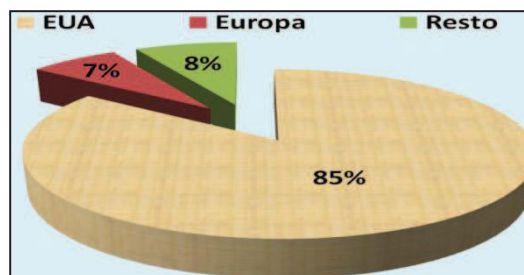


Figura 13. Comercio mundial de los productos de IV gama.
Fuente: AINIA (2010).

México tiene un consumo per cápita de productos mínimamente procesados de entre 1,5–2 kg per cápita al año, valor considerablemente inferior a otros países tales como Francia (6 kg per cápita) o EE.UU (30 kg per cápita) (AINIA, 2010).

De acuerdo a lo antes mencionado se puede considerar que el mercado de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas puede representar una oportunidad de desarrollo en México (ventaja competitiva) ya que es un mercado creciente y muy prometedor.

2.2.5 Operaciones básicas del proceso de obtención de vegetales de la IV gama

Las frutas y vegetales de IV gama son productos que, sin ser sometidos a tratamiento térmico durante su procesado se han sometido a operaciones en principio de naturaleza física (selección, lavado, pelado, cortado, envasado), de forma que se favorece la integridad del alimento y el mantenimiento de la actividad metabólica propia de los tejidos vivos (Horticom, 2011; León, 2009).



Factores como el cultivo, el estado de madurez al momento de la recolección, la manipulación poscosecha, el acondicionamiento de la materia prima, el procesado, así como las condiciones de almacenamiento influyen directamente en la calidad del producto terminado. Un esquema general de preparación de frutas y hortalizas de la IV gama se presenta en la Figura 14 y en la Tabla 9 se describen las operaciones unitarias del proceso (Rojas-Grau, 2006).

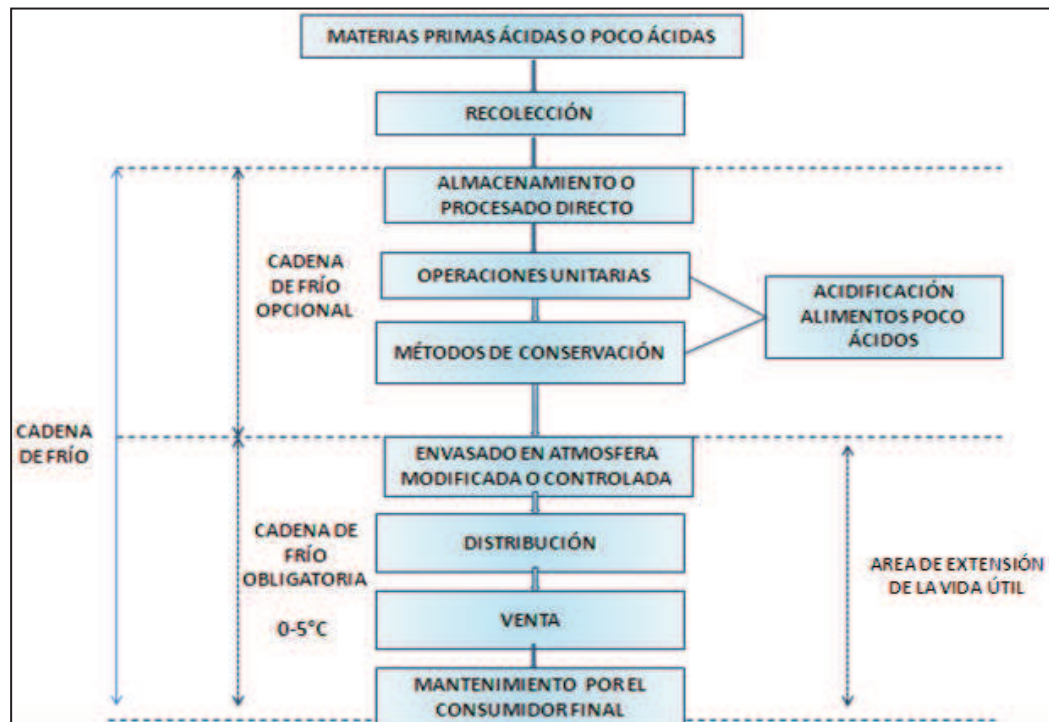


Figura 14. Esquema general de preparación de frutas y hortalizas de IV gama. Fuente: Wiley (1997).

Tabla 9. Descripción de proceso de elaboración de mínimamente procesados.







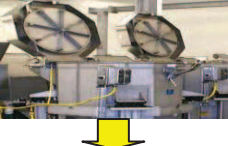


Etapa	Descripción
Recepción 	La materia prima debe ser inspeccionada visualmente, de manera de poder clasificar el producto o eliminarlo. Se pone especial atención en el estado de madurez, daños mecánicos y microbianos que pudiesen influir en la calidad del producto a obtener.
Selección 	Separación de la materia prima en varios grupos de calidad de acuerdo a tamaño y peso. Los factores más importantes a tomar en cuenta para clasificar son tamaño, color, firmeza, flavor, friabilidad, magulladuras, superficies cortadas, etc.
Lavado 	Tiene el fin de eliminar residuos y suciedad. Se realiza generalmente con agua clorada con concentraciones de 50 a 200ppm.



Tabla 9. Descripción de proceso de elaboración de mínimamente procesados (Continuación).

Etapa	Descripción
<p>Pelado</p> 	<p>Las materias primas se pelan retirando la cáscara o pericarpio. El pelado puede hacerse en forma manual, con vapor, agua caliente, álcalis, con llama, con medios mecánicos, con ácidos, etc.</p>
<p>Cortado</p> 	<p>Se refiere a la reducción de tamaño, obteniendo trozos más pequeños de frutas y hortalizas dándoles un tamaño y forma definida. Es una etapa esencial para mejorar sabor, digestibilidad, facilidad de manipulación y transferencia de calor en los productos.</p>
<p>Desinfección</p> 	<p>Esta operación es la única etapa que consigue disminuir la contaminación microbiana del producto; se utiliza como agente desinfectante el cloro en concentraciones de 50 a 150 ppm a pH de 6.5.</p>
<p>Secado</p> 	<p>La excesiva agua en las frutas y hortalizas genera un rápido crecimiento microbiano en la superficie, por eso lo importante de su eliminación a través del secado, hasta cerca de un 1% de humedad final externa. Existen dos tipos de equipamiento para el secado: uno es por túnel de aire y el otro por secado centrífugo.</p>
<p>Pesado y envasado</p> 	<p>Se utilizan atmósferas modificadas activas o pasivas, según la actividad respiratoria del producto y la permeabilidad a los gases del material de envasado. Se utilizan envases con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una alta humedad dentro del envase y evitar la pérdida de agua del producto.</p>
<p>Almacenado</p> 	<p>Se debe alcanzar una atmósfera estable en el interior de los envases con concentraciones bajas de O₂ y moderadas de CO₂. El producto se debe mantener en una estricta cadena de frío manteniendo temperaturas de 0-5°C, para la inhibición del desarrollo microbiano y en condiciones adecuadas puede alcanzar una vida útil de entre 10 a 20 días.</p>

Fuente: Wiley (1997); Pardo *et al.* (2009); Callegari y Tirado (2006); Rocha (2011).

El mínimo proceso favorece cambios y alteraciones (fisiológicas, bioquímicas, físicas y microbianas) que limitan la vida útil del producto (Shewfelt, 1987; Lee *et al.*, 2002).

La calidad final de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas que determinan su valor como alimento humano incluye diversos atributos como son: apariencia visual (frescura, color, defectos y pudriciones), textura (crujencia, jugosidad, firmeza, integridad del tejido), sabor, olor, valor nutritivo (Vitamina A y C, minerales, fibra, etc.), y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana). Cuando uno o más de estos atributos alcanzan valores indeseables, alterándose hasta tal punto, que el producto sea rechazado por el consumidor o



pueda convertirse en un peligro para la persona que los consuma, en ese momento, el producto llega al final de su vida útil (Kader y Mitcham, 1998; Lee *et al.*, 2002; Villegas, 2005).

2.2.6 Cambios de los alimentos mínimamente procesados

La vida comercial y organoléptica de las frutas hortalizas procesadas va a depender de factores intrínsecos (respiración, producción de etileno, pH y actividad de agua) y extrínsecos (manipulación, higiene, temperatura, humedad y envases).

Las operaciones del mínimo proceso (cortado, pelado, etc.) forman lesiones en el tejido que conducen al pardeamiento enzimático, pérdida de textura, rápido crecimiento microbiano, pérdida de peso y formación de compuestos volátiles indeseables, los cuales reducen mucho la vida útil del producto (Figura 15) (Corbo *et al.*, 2010).



Figura 15. Principales alteraciones en alimentos mínimamente procesados.
Fuente: Gil (2005).

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas contienen tejidos vivos que han sido modificados sólo ligeramente de su estado original, siendo en su naturaleza y calidad semejantes a los frescos. Aún así, los tejidos de estos productos no exhiben las mismas respuestas fisiológicas que los tejidos vivos intactos (Wiley, 1997).

Durante el mínimo proceso, muchas células se rompen y se liberan sustancias intracelulares (Figura 16), como enzimas oxidantes que aceleran el decaimiento pérdida de calidad y putrefacción del producto (Allende *et al.*, 2006).

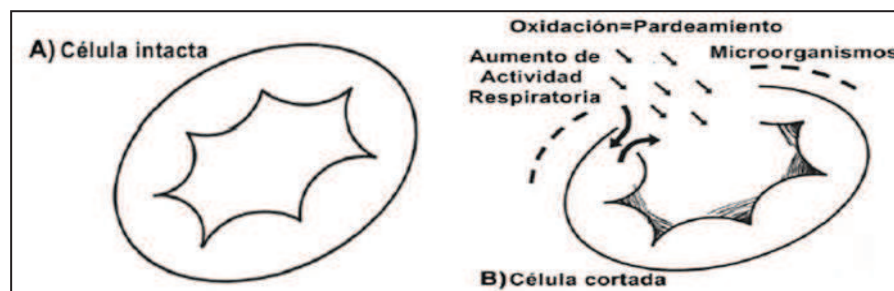


Figura 16. Daño a nivel celular por operaciones de mínimo proceso.
Fuente: Wiley (1997).



2.2.6.1 Factores de cambio en frutas y vegetales mínimamente procesados

Los principales modificaciones que sufren los vegetales originales durante la obtención de alimentos mínimamente procesados (Figura 17) son mecánicas (eliminación de la parte no comestible y reducción de tamaño), fisiológicas (estimulación de la actividad respiratoria y emisión de etileno, deterioro de la membrana celular, pérdida de agua y de clorofila, susceptibilidad al crecimiento microbiano) y bioquímicas (alteración generalmente indeseable, de enzimas oxidativas, como polifenol oxidasa, peroxidasa y lipoxigenasa, pectolíticas como poligalacturonasa y pectinmetilesterasa, fosfolipasas, fenilalanina amonioliasa y otras, y la producción de metabolitos secundarios como alcoholes, flavonoides, terpenoides, taninos, lignina, cumarina, suberina, etc. capaces de alterar el sabor, aroma, valor nutritivo e incluso la seguridad del elaborado) (Artés-Calero y Artés-Hernández , 2000; Toivonen y De Eil, 2002; Kabir, 1994; O'Beirne y Francis, 2003).

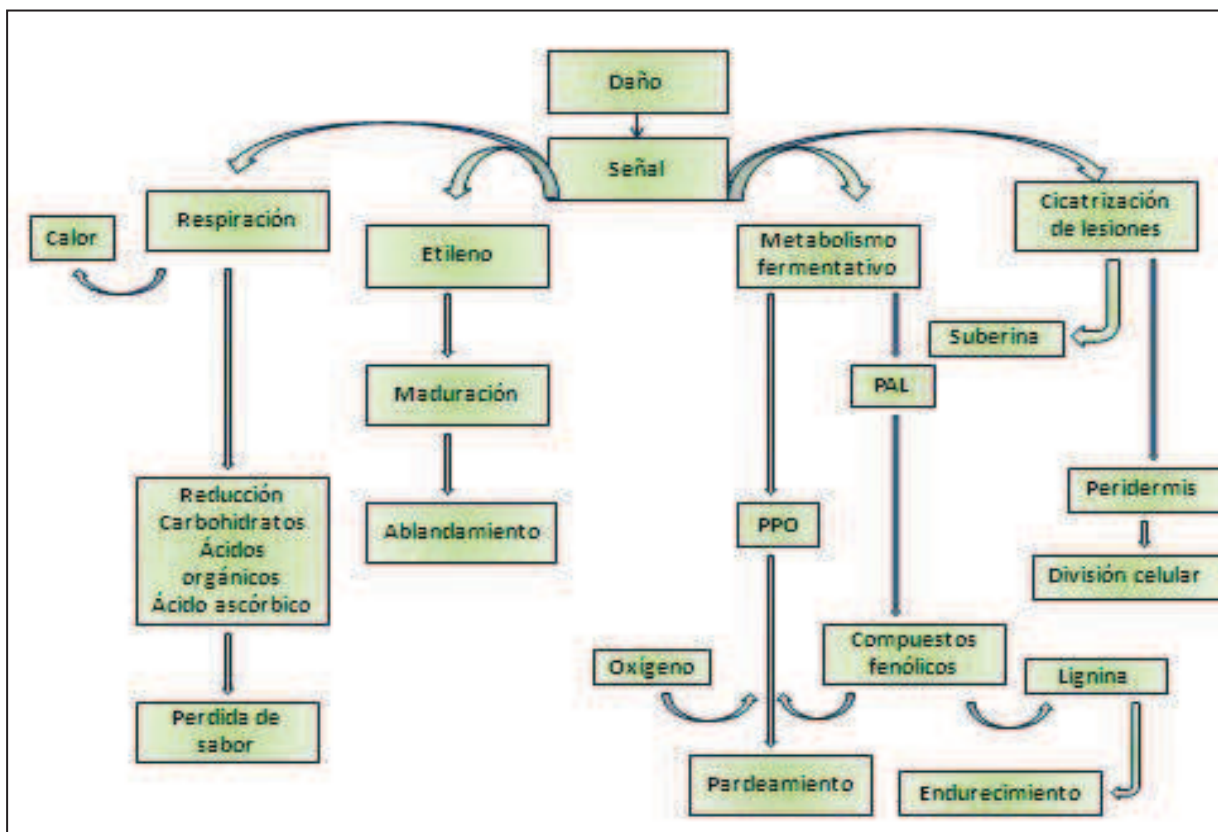


Figura 17. Efectos del daño mecánico y los procesos fisiológicos en vegetales de IV gama. Fuente: Gil (2006).

En la Tabla 10 se resumen los principales cambios que ocurren en productos mínimamente procesados y el agente causal de estos.



Tabla 10. Cambios en productos mínimamente procesados.


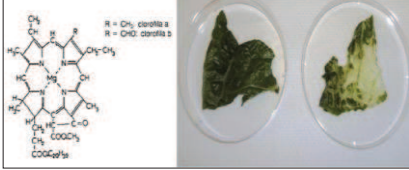
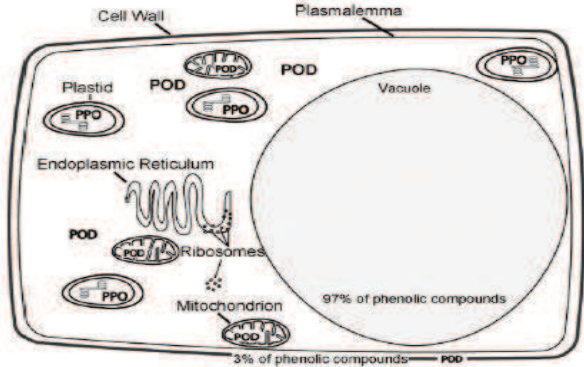

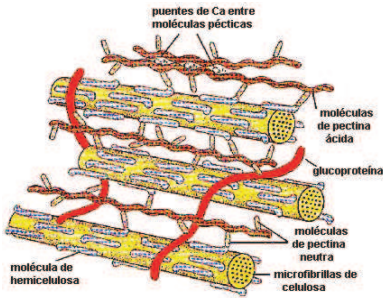
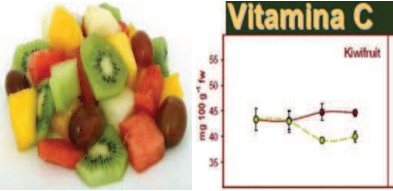
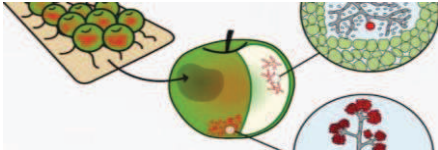
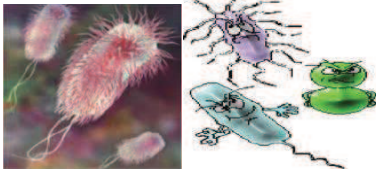
Cambios		Agente causal de cambio	Mecanismo	Referencia
Color	<p>Propiedad importante relacionada con la aceptación o el rechazo de un producto por parte del consumidor. Esta dado por una serie de pigmentos como son flavonoides, antocianinas, betaína, carotenoides, taninos clorofila, etc.</p>	<p>PPO, PDO, PAL, Clorofilasa, Lipoxigenasa etc.</p>  	<p>Al realizar el cortado se rompen células y las enzimas que forman parte de la célula entran en contacto con sus sustratos generando pardeamiento y degradación del color.</p> 	<p>Gil (2006); Matile <i>et al.</i> (1999); Badui (1990); Heaton y Marangoni (1996); Veljovic-Jovanovic <i>et al.</i> (2002); Forget y Gaillard (1997); Toivonen y Brummell (2008); Mateos (1993); Melgarejo (2010); Fennema (2002).</p>
Textura	<p>Propiedad dada por la tensión del turgor del tejido, muy asociado al contenido de agua del mismo, así como la actividad de distintas enzimas que alteran la conformación de los componentes de la pared.</p> 	<p>Corte o eliminación de la cáscara. Enzimas como: Pectinasas Celulasas Poligalacturonasa</p> 	<p>Exposición del interior del tejido por el corte lo que ocasiona un incremento drástico en la velocidad de evaporación del agua. Pectin esterases (PE) y poligalacturonasas (PG) catalizan las reacciones de hidrólisis de las sustancias pécticas, las cuales forman parte de la estructura de la pared celular y le otorgan la textura característica a los diferentes tejidos vegetales. Dichas enzimas hidrolizan los compuestos pépticos se produce la pérdida de turgencia celular y de la textura natural del producto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Celulasas: Hidrolizan la celulosa 	<p>Gil (2006)</p>

Tabla 10. Cambios en productos mínimamente procesados (Continuación).



	Cambios	Agente causal de cambio	Mecanismo	Referencia
Nutricionales	Los productos frescos cortados, ofrecen conveniencia y una opción saludable en la dieta aportando diversos nutrientes.	<p>Oxidación: Ácido ascórbico oxidasa Luz y Oxígeno</p> 	<ul style="list-style-type: none"> El ácido ascórbico es susceptible a la degradación por oxidación. La enzima Ácido ascórbico oxidasa oxida el ácido ascórbico en presencia de oxígeno. Favorece la degradación de compuestos antioxidantes. Se pueden afectar los niveles de ácido ascórbico, antocianos carotenoides o polifenoles que pueden reflejar una variación en la capacidad antioxidante de la fruta o vegetal. 	Bourne (2002); Fillion y Kilcast (2002); Szczesniak (1998); Vu <i>et al.</i> (2004).
Alteraciones microbiológicas	La microflora de los productos mínimamente procesados incluye bacterias, mohos y levaduras.	<p>Condiciones poscosecha y de proceso, naturaleza de los tratamientos aplicados, un ambiente favorable (nutrientes y aw) y tiempo para la proliferación, daños causados por el cortado y aumento de de la actividad fisiológica.</p> 	<p>Los microorganismos impactan en el valor económico de los productos mínimamente procesados por que disminuyen la vida útil de éstos al deteriorarlo y generar riesgo a la salud pública.</p> <p>Generan cambios en la apariencia, textura, sabor y pueden generar malos olores.</p> 	Rico <i>et al.</i> (2007); Gil (2005).
Sabor y aroma	El sabor y aroma provienen de fuentes como azúcares, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, taninos y compuestos volátiles	A través del pelado y corte se tienen cambios por difusión al medioambiente y por cambios en la actividad metabólica.	Los cambios por difusión en el olor y sabor del producto son resultado de la transferencia de masa de volátiles hacia el exterior. Además, la difusión de compuestos extraños hacia el interior del producto puede causar olores desagradables.	González-Aguilar (2009); James (2010).

PDO:Peroxidasa; PPO: Polifenol oxidasa



De manera resumida las principales enzimas y microorganismos involucrados en el deterioro de productos mínimamente procesados se pueden observar en la en la Tabla 11 y 12.

Tabla 11. Enzimas involucrados en el deterioro de productos de IV gama.

Enzima	Efectos	Mecanismo de acción	Control
Ac. Ascórbico Oxidasa	Nutricional	Oxidación de ácido ascórbico a ácido dehidro-ascórbico en presencia de oxígeno.	Alta calidad de materia prima Variedades adecuadas Aplicación de proceso y envasado adecuado Mantener bajas temperaturas Uso de agentes antipardeamiento. Uso de sales de calcio
Celulasa	Textura	Hidrólisis de celulasa	
Clorofilasa	Color	Catálisis del fitol y sus derivados carentes de Magnesio (feofitinas), formando clorofilidos y feofórbidos, respectivamente.	
Lipoxigenasa	Sabor	Cataliza la oxidación de ácidos grasos poli insaturados a hidroxiperóxidos y radicales hidroxiperóxidos en presencia de oxígeno. Oxida pigmentos como los β -carotenos y xantofilas; y la peroxidasa cataliza la degradación de carotenoides en ausencia de ácidos grasos insaturados y la decoloración de las antocianinas.	
	Color		
	Textura		
	Nutricional		
Pectinasas	Textura	Hidroliza la pectina a ácido glucónico y galacturónico.	
Peroxidasa	Nutricional	PDO Oxidación de compuestos fenólicos a quinonas y otros productos en presencia de H_2O_2 .	
	Color		
Polifenol Oxidasa	Color	Usa oxígeno molecular para la oxidación de los compuestos fenólicos. Se divide en dos grupos principales: las catecol oxidasas y las lacasas.	

Fuente: Artés-Calero y Artés-Hernández (2003).

Tabla 12. Microorganismos involucrados en el deterioro de productos mínimamente procesados.

Microorganismo	Tipo de agente	Efectos	Prevención/Control
Microorganismos patógenos	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i> <i>Y. enterocolitica</i>	Gastroenteritis	Mantener bajas temperaturas durante el proceso. Lavado y desinfección
	<i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>C. botulinum</i>	Meningitis Enterotoxinas Botulismo	



Tabla 12. Microorganismos involucrados en el deterioro de productos mínimamente procesados (Continuación).

Microorganismo	Tipo de agente	Efectos	Prevención/Control
Otros microorganismos	<i>Pseudomonas</i> <i>Erwinia</i> Bacterias ácido lácticas Levaduras	Podredumbre blanda bacteriana Producción de metabolitos	Uso de buenas prácticas de manufactura. Evitar creación de medios anaerobios
Mohos	<i>Rhizopus</i> <i>Fusarium</i> y otros	Podredumbre mohosa gris, negra y blanda acuosa	

Fuente: Artés- Calero y Artés- Hernández (2003).

Como se puede apreciar en las tablas 11 y 12 son muchos los agentes causantes de cambio y deterioro de los mínimamente procesados, por esta razón, en la actualidad la aplicación de técnicas que permitan controlar los factores alterantes en frutas y hortalizas frescas cortadas es el objetivo principal de muchas investigaciones en el campo de la ciencia y tecnología de alimentos. En este sentido deben aplicarse técnicas de conservación, que combinadas o no, puedan mantener o mejorar las características originales del producto, alargando su vida útil sin que se pierdan las características sensoriales y nutricionales, asegurando además su estabilidad microbiológica (Oms-Oliu *et al.*, 2012).

2.2.7 Métodos aplicados a los productos frescos cortados para su conservación

La extensión de la vida útil de los mínimamente procesados es hoy en día un reto para la industria alimentaria, así como para las instituciones de investigación, donde las tecnologías de descontaminación se encuentran actualmente evaluadas. La estructura de la investigación para probar métodos que prolonguen la vida útil de frutas y verduras mínimamente procesadas debe abarcar cinco aspectos diferentes, a saber (Gómez-López, 2009; González-Aguilar *et al.*, 2012):

- Reducción del riesgo de infecciones transmitidas por alimentos e intoxicaciones.
- Disminución del deterioro microbiano.
- La preservación de los atributos frescos.
- La preservación de la calidad nutricional.
- La ausencia de niveles inaceptables de residuos tóxicos o formación de niveles inaceptables de subproductos tóxicos.



Los productores de estos alimentos demandan tecnologías baratas y efectivas que preserven sin problemas las cualidades del producto. De la misma manera que los consumidores buscan precios bajos en los productos frescos cortados (González-Aguilar *et al.*, 2012).

Los científicos intentan resolver los problemas tanto en el proceso de obtención de los alimentos frescos cortados como el de la preservación de la calidad de estos. En base a esto, se han desarrollado y evaluado tecnologías como la irradiación UV-C, recubrimientos comestibles, atmósferas modificadas, envases activos y se han probado diversas sustancias entre las que destacan los ácidos orgánicos, sales de calcio, antioxidantes, compuestos volátiles, etc. (González-Aguilar *et al.*, 2012).

Los métodos utilizados para la higienización de alimentos vegetales enteros y de IV gama agrupan tratamientos físicos y químicos que se aplican al producto, a los equipos, e incluso a las superficies de trabajo.

En la Tabla 13 se resumen algunos métodos físicos y químicos empleados para la conservación de la calidad de alimentos mínimamente procesados.

Tabla 13. Métodos físicos y químicos empleados para la conservación de la calidad de alimentos mínimamente procesados.

Métodos Químicos	
Métodos	Función
Compuestos naturales 	<p>Muchos alimentos contienen compuestos naturales con actividad antimicrobiana que en estado natural, pueden desempeñar el papel de prolongadores de vida útil. Ejemplos: los terpenos, aceites esenciales, compuestos azufrados, metil jasmonato, etanol, benzaldehído entre otros.</p>
Ozono 	<p>Es un fuerte agente antimicrobiano, actúa a través de la oxidación y destrucción de la pared celular, membrana del citoplasma y finalmente en el material genético del microorganismo. Además de reducir la población microbiana, extiende la vida útil del producto.</p>
Sales de calcio 	<p>Ayuda a mantener la integridad de la pared celular. El calcio mantiene la firmeza mediante el cruce y conexión entre la pared celular y pectinas; así como reducción de la pérdida de proteínas y clorofila. Las sales de calcio más utilizadas son lactato de calcio y cloruro de calcio.</p>
Peróxido de hidrógeno H_2O_2 	<p>Posee propiedades bactericidas por su capacidad oxidante. Se ha utilizado en diversos vegetales sin alterar sus características sensoriales.</p>




Tabla 13: Métodos físicos y químicos empleados para la conservación de la calidad de alimentos mínimamente procesados (Continuación).

Métodos Químicos	
Métodos	Función
Ácidos orgánicos 	<p>Son fuertes agentes antimicrobianos y retardadores del pardeamiento enzimático y otras reacciones de oxidación al disminuir el pH por debajo del óptimo de la actividad enzimática. Su acción antimicrobiana se debe a la reducción del pH del producto, lo cual genera alteraciones en la permeabilidad y transporte de la membrana. Ejem.: ácido acético, láctico, tartárico, cítrico, etc.</p>
Agua electrolizada 	<p>Se basa en la electrólisis de una solución salina. El agua electrolizada contiene una mezcla de oxidantes orgánicos como el HClO, OCl⁻, Cl₂ OH y O₃ que se forman mediante un sistema de reactor electroquímico. Estos compuestos ayudan a la disminución de la carga microbiana.</p>
Métodos físicos	
Métodos	Función
Atmósferas modificadas 	<p>Consiste en la alteración de los gases de los alrededores del producto para producir una composición diferente a la del aire. Bajos niveles de O₂ y altos de CO₂ reducen la respiración del producto, con el beneficio de retardar la senescencia, extendiendo la vida útil de los productos frescos cortados.</p>
Recubrimientos comestibles 	<p>Son películas biodegradables que se adhieren a la superficie del alimento, creando una barrera semipermeable a gases como el O₂ y CO₂ y al vapor de agua, lo que permite mantener la integridad del producto, mejoran sus propiedades mecánicas y se retienen los compuestos volátiles. Reduce el proceso de respiración y por lo tanto la senescencia de los frutos.</p>
Irradiación 	<p>Bajas dosis de irradiación gamma (1 y 10 kGy) son muy efectivas para reducir bacterias, parásitos y protozoarios en los alimentos debido al daño que causa en el ADN de éstos.</p>
Altas presiones 	<p>Para algunos productos las altas presiones en el rango de 3000-8000 bar, pueden inactivar enzimas y microorganismos. Este método no se recomienda para productos porosos ya que puede afectar su integridad.</p>
Refrigeración 	<p>La temperatura constituye el factor de mayor incidencia. A medida que la temperatura disminuye todos los procesos causantes del deterioro se ven disminuidos, lo que trae como consecuencia la prolongación de la vida útil de los productos almacenados.</p>



Tabla 13: métodos físicos y químicos empleados para la conservación de la calidad de alimentos mínimamente procesados (Continuación).

Métodos físicos	
Métodos	Función
Tecnología de obstáculo 	Es una combinación de diferentes técnicas de conservación. La más ampliamente utilizada en la conservación de alimentos es la basada en el control de temperatura (refrigeración), acidez, potencial redox y el uso de conservadores y atmósferas modificadas. Mediante esta tecnología se minimiza la pérdida de calidad y el impacto al crecimiento microbiano es muy marcado.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Rico *et al.* (2007) y González (2011).

2.2.7.1 Métodos de desinfección

Todos los pasos dentro de la cadena de producción de los productos mínimamente procesados puede aumentar la carga microbiana del producto y dentro de estas etapas, el único paso que reduce la carga microbiana a lo largo de la producción es el lavado desinfección, la clave de su efectividad es un manejo adecuado y la optimización de las técnicas existentes o la combinación de éstas (Artés *et al.*, 2009)

Se debe tener en cuenta que en general, cualquier método de desinfección tiene ventajas y desventajas, dependiendo de una serie de factores, como son las características de la superficie del producto o equipo, la fisiología de los microorganismos, el tiempo de exposición, la concentración del agente desinfectante a utilizar, el pH y la temperatura de lavado (Gil *et al.*, 2011).

El cloro es un agente desinfectante eficiente y es el más ampliamente utilizado en la industria alimentaria, sin embargo, representa riesgos indeseables para los productos y puede tener en el futuro nuevas restricciones de aplicación. En consecuencia la industria de los mínimamente procesados requiere de alternativas de desinfección seguras. Muchas soluciones de lavado antimicrobianas y nuevas tecnologías están siendo consideradas como tratamientos prometedores. Sin embargo, el cambio de desinfectantes tradicionales a los innovadores, requiere de conocimiento sobre sus beneficios, restricciones así como de su perspectiva funcional (Artés *et al.*, 2009).

En la Tabla 14 se presenta un resumen de algunos agentes desinfectantes, su mecanismo de acción, ventajas y desventajas.



Tabla 14. Agentes desinfectantes y sus características



Desinfectante y Característica	Mecanismo o efecto	Ventajas	Desventajas	Referencias
<p>Hipoclorito de sodio</p> <p>Es un potente desinfectante debido a sus propiedades oxidantes que puede reaccionar con los ácidos nucleídos así como con las proteínas. La cloración es la vía principal para minimizar la transmisión de patógenos de productos vegetales.</p> 	<p>Reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso e hidróxido de sodio. La solución es alcalina y el ácido hipocloroso (HOCL) forma por ionización iones hidrógeno e iones hipoclorosos (OCL⁻). El HOCL y el OCL⁻ poseen propiedades germinicidas. El HOCL, atraviesa la membrana celular debido a su tamaño molecular tan pequeño y a su neutralidad eléctrica oxidando ciertas enzimas y proteínas microbianas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Posee un amplio espectro de acción microbicida. *Comparativamente económico. *Puede ser implementado en operaciones de cualquier tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> *Su efectividad se ve afectada por factores externos como pH, temperatura y presencia de materia orgánica. Formación de productos potencialmente cancerígenos y mutagénicos *Se puede afectar a los productos desinfectados por las concentraciones y tiempos de exposición *Es corrosivo. 	<p>Ártes <i>et al.</i> (2009); Sapers (2001)</p>
<p>Plata coloidal</p> <p>Desinfectante que presenta propiedades bactericidas.</p> 	<p>Actúa sobre la superficie celular bacteriana y causa su muerte por alteración de la pared celular y la membrana citoplasmática, desintegrando el ADN de la misma. Daña la actividad enzimática al formar mercaptanos con los grupos sulfidrilos luego de un tiempo de exposición en el que se da una combinación irreversible entre estos, matando de esta forma a los microorganismos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Se considera no corrosivo a las superficies * Efectivo contra gran variedad de microorganismos. *Su efectividad no se ve mermada con la presencia de materia orgánica. *No imparte ningún sabor a las hortalizas que desinfecta 	<ul style="list-style-type: none"> * Puede dañar a los productos desinfectados. *Posibles efectos a la salud humana. *No es demasiado útil en la aplicación a gran escala. 	<p>Mendoza (2005); Trejo (2009).</p>



Tabla 14. Agentes desinfectantes y sus características (Continuación).

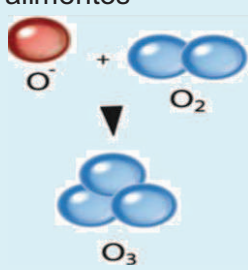
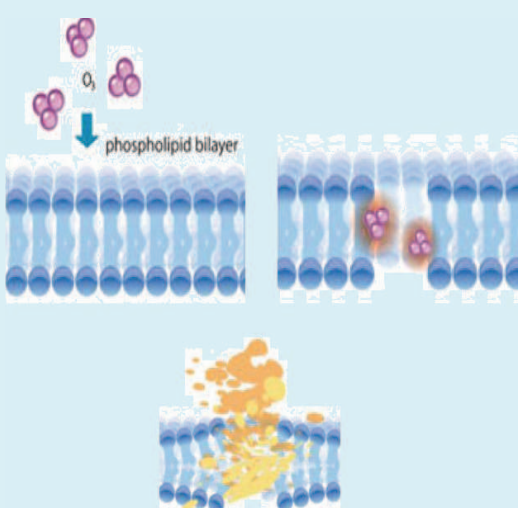
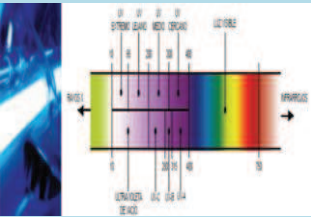
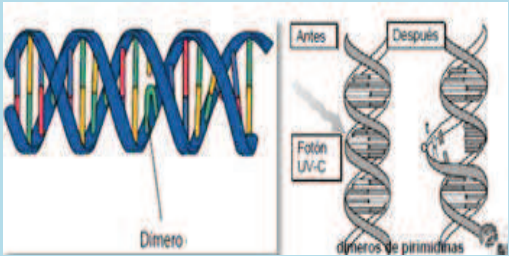
Desinfectante y Característica	Mecanismo o efecto	Ventajas	Desventajas	Referencia
<p>Ozono</p> <p>Es activo contra bacterias, hongos, virus, esporas de bacteria y de hongos siendo más sensibles las bacterias que las levaduras y hongos y las bacterias Gram-positivas son más sensibles que las Gram-negativas debido a la estructura de su membrana.</p> <p>Fue reconocido como sustancia GRAS por la FDA y fue aprobado para su aplicación directa a alimentos</p> 	<p>Actúa a través de la oxidación y destrucción de la pared celular, membrana del citoplasma y finalmente material genético de los microorganismos.</p> <p>Posee capacidad de oxidar dobles enlaces de lípidos insaturados, generando el rompimiento y subsecuente pérdida de los componentes celulares.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> * No deja residuos y por tanto genera un menor impacto ambiental. * Es 1.5 veces más fuerte que el cloro y más efectivo para un espectro más amplio de microorganismos. * Se puede reutilizar el agua de lavado-desinfección. *Aplicable a pequeña y gran escala *Cortos tiempos de contacto. *No se requiere de almacenar sustancias peligrosas ya que se produce al momento de ser utilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> * Puede afectar parámetros de calidad de los productos tratados. * Más costoso que los tratamientos con cloro ya que se requieren tanques de contacto, sistema de gas, unidades de destrucción de ozono, filtros, monitores de ozono, extractores y equipo para los trabajadores que están en contacto con él. * Es muy dañino cuando la exposición humana ocurre a concentraciones altas durante suficiente tiempo. *Es potencialmente corrosivo. 	<p>Alexopoulos <i>et al.</i> (2012); Bataller-Venta <i>et al.</i> (2010); Alexandre <i>et al.</i> (2012); Cullen <i>et al.</i> (2010); Naito y Takahara, (2006); Ártés <i>et al.</i> (2009); Kim <i>et al.</i> (1999) Güzel-Seydim <i>et al.</i> (2004).</p>



Tabla 14. Agentes desinfectantes y sus características (Continuación)

Desinfectante y Característica		Mecanismo o efecto	Ventajas	Desventajas	Referencias
Luz UV-C	<p>Luz UV-C Método físico en el cual la energía es el medio germinicida, sin generar productos secundarios indeseables. Poder germinicida en el rango de 200-280nm (254 nm es la más letal) ya que inactiva bacterias, virus, protozoarios, levaduras y mohos.</p> 	<p>Reacciones fotoquímicas que se inducen dentro de los microorganismos, debido a la absorción en el ADN de luz UV-C, provocando cruces y uniones de bases de nucleótidos. La formación de dímeros de timina en el ADN y ARN afecta la función celular, ya que el microorganismo no puede realizar la transcripción y replicación de ácidos nucleídos de forma normal, y eventualmente ocurre la muerte de la célula.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> * No deja residuos, no tiene restricciones legales, es fácil de usar y es letal para muchos tipos de microorganismos * No produce alteraciones organolépticas en los alimentos. * El producto no produce residuos químicos ni radiación. * Es de fácil aplicación, bajo costo y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> * Los organismos protegidos por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados. * Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes. * Los microorganismos pueden reparar los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo reconocidos como foto reactivación” o, en ausencia de radiación, y como el de reparación en oscuro. 	<p>Bintsis <i>et al.</i> (2000); Hollósy (2002); Matak (2004); Zenoff <i>et al.</i> (2006); Keyser <i>et al.</i> (2008); Yaun (2002); Alexandre <i>et al.</i> (2012). Domínguez y Parzanese (2011).</p>



Hasta el momento los datos publicados de diferentes investigaciones sugieren que ninguno de los tratamientos de desinfección disponibles, incluyendo algunas de las nuevas agentes desinfectantes como el dióxido de cloro, ozono, ácido peroxiacético, etc. son capaces de reducir la carga microbiana a más del 90 ó 99%. Adicionalmente, diferentes métodos de lavado y tratamientos de desinfección pueden tener efectos negativos en parámetros nutricionales y cualidades del producto por lo tanto, se requiere de mayor investigación y el uso de tratamientos que combinados preserven la calidad del producto (Allende *et al.*, 2006).

A los métodos de conservación de vegetales mínimamente procesados mencionados en párrafos anteriores, se debe sumar el envasado en atmósfera modificada (EAM). Estas herramientas trabajan juntas para mantener la frescura, extender la vida útil, asegurar la sanidad y promover las ventas. Ni las bajas temperaturas, ni los tratamientos químicos, ni el EAM pueden actuar solos para ofrecer al consumidor un producto con todo su valor, por esta razón se han desarrollado diversas soluciones de envasado con la finalidad de prevenir el rápido deterioro de los productos, ocasionado por el oxígeno, la luz, las bacterias y por sustancias externas con mal olor o sabor, las cuales pueden entrar en contacto con el producto (Zagory y Hurst, 1996; Cruz, 2006).

2.2.7.2 Métodos de envasado

Los consumidores demandan productos libres de conservadores, y con mayor vida útil. En cumplimiento de tales requisitos, los sistemas de envasado desempeñan un papel importante y cumplen distintas funciones en la conservación de frutas y hortalizas frescas cortadas (Figura 18).

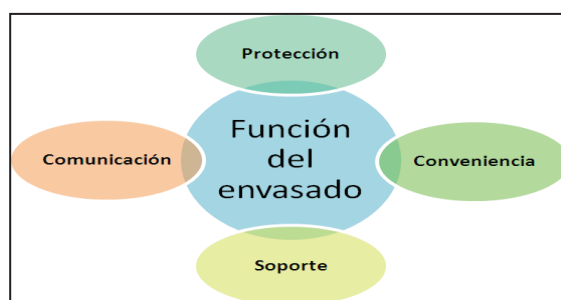


Figura 18: Funciones del envase utilizado en frutas y hortalizas frescas cortadas.

Fuente: González-Aguilar (2009).

Entre las funciones más importantes tenemos que contiene al producto, le dan forma, lo protegen de contaminación externas, evitan pérdidas de sabor y aromas, prolongan su tiempo de almacenamiento, crean un microambiente para el producto, regulan el contenido de agua,



humedad y/o gases, conservan la calidad nutricional y su etiqueta informa a los consumidores sobre las características del producto, como sus propiedades nutricionales, composición y forma de almacenamiento. (González-Aguilar 2009).

Existen diversas técnicas para la aplicación de un sistema de envasado en frutas y hortalizas frescas cortadas: la tradicional, al vacío, el envasado en atmósferas modificadas (EAM) o controladas (EAC). Las características de las diversas técnicas de envasado se describen en la Tabla 15.

Tabla 15. Técnicas de envasado.

Técnica de envasado	Características
Tradicional	El sistema de envasado solo actúa como una barrera limitadora entre el producto y el exterior, evitando contaminaciones cruzadas con otros alimentos, manipuladores o el mismo ambiente.
Vacío	El producto se empaqueta en un material con baja permeabilidad al oxígeno. El aire es evacuado e inmediatamente después el producto es sellado.
Atmósfera modificada	Se basa en la modificación de la composición gaseosa de la atmósfera que rodea al producto fresco cortado.
Atmósfera controlada	La concentración de gases utilizada para modificar la atmósfera se monitorea y regula continuamente a lo largo del periodo de almacenamiento, por lo general se aplica a temperaturas de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia con información de González-Aguilar (2009) y Guevara (2010).

Las bajas temperaturas y el empaquetado en atmósferas modificadas han sido ampliamente utilizados para extender la vida útil de muchas frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados (Figura 19). Entre los beneficios de la conservación en atmósfera modificada se cita que frena la actividad respiratoria, reduce o inhibe la síntesis de etileno, inhibe la maduración, limita el ablandamiento (actividades pectinesterasa y poligalacturonasa), restringe los cambios de composición (pérdida de acidez y de azúcares, degradación de la clorofila y prevención del enranciamiento), preserva el valor nutritivo (vitamina A y C) y reduce la velocidad de deterioro del órgano vegetal (Thompson, 1998; Artés, 2000).



Figura 19. Productos mínimamente procesados empaquetados en atmósfera modificada.

Fuente: Olusola (2008) y Gil (2006).



2.2.7.2.1 Envasado en atmósferas modificadas

El almacenamiento en atmósferas modificadas es una de las tecnologías aplicadas para la comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Una vez envasado el alimento en aire o en una mezcla de gases diferentes, la atmósfera evoluciona como consecuencia de la propia fisiología del fruto (respiración del producto vegetal) y de las características del material de envase (intercambio de gases con la atmósfera exterior a través del film) hasta alcanzar un estado de equilibrio dinámico o estado estacionario, donde la concentración de oxígeno disminuye y la de CO₂ aumenta.

Las atmósferas modificadas pueden ser activas o pasivas (Vargas *et al*, 2010):

- Atmósfera modificada pasiva: se genera por la interacción entre la velocidad de respiración del producto empacado y las características de permeabilidad del empaque (elevada permeabilidad al CO₂ y vapor de agua y baja permeabilidad al oxígeno) a lo largo del almacenamiento, o hasta alcanzar condiciones de pseudoequilibrio.
- Atmósfera modificada activa: El alimento se encuentra rodeado de una mezcla específica de gases, cuya composición base suele ser el nitrógeno y dióxido de carbono.

En la Tabla 16 se presentan las principales ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas.

Tabla 16. Ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Disminución de los procesos metabólicos y fisicoquímicos causantes del proceso normal de deterioro de los alimentos.• Incremento de la vida comercial del producto. Al disminuir la velocidad con la que se presentan reacciones fisicoquímicas relacionadas con los procesos deteriorativos (actividad enzimática, velocidad de crecimiento microbiano, pérdida de atributos sensoriales y velocidad de respiración).• Menor pérdida de peso durante la comercialización.• Mejora la presentación del alimento ante el consumidor.	<ul style="list-style-type: none">• Se pueden inducir trastornos metabólicos (fermentación), que pueden conllevar a la formación de malos olores y a la pérdida de vida útil.• Los beneficios de la atmósfera modificada se pierden una vez que el producto se abre.• Maquinaria de empaque costosa.• Aumentos en los costos de producción

Fuente: Elaboración propia con información de Guevara (2010)

Cuando los productos de IV gama son sellados en un empaque impermeable, los niveles de oxígeno en el interior del empaque disminuirán a concentraciones muy bajas, a partir de las



cuales se iniciará la respiración anaerobia (Figura 20a). La anaerobiosis, con la acumulación de etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos, se asocia con olores y sabores indeseables y un marcado deterioro de la calidad del producto (Guevara, 2010).

De manera contraria, si los productos vegetales son sellados en una película con una excesiva permeabilidad, una ligera o nula modificación atmosférica se genera en el interior del empaque (Figura 20b). Aunado a esto la pérdida de humedad causará un indeseable arrugamiento; pero si se seleccionan películas con las características de permeabilidad adecuadas, puede establecerse un equilibrio en el interior de la atmósfera modificada con las concentraciones deseadas (Figura 20c), siempre y cuando la velocidad con la que el O_2 y el CO_2 permean la película sea igual a la velocidad de respiración (Guevara, 2010).

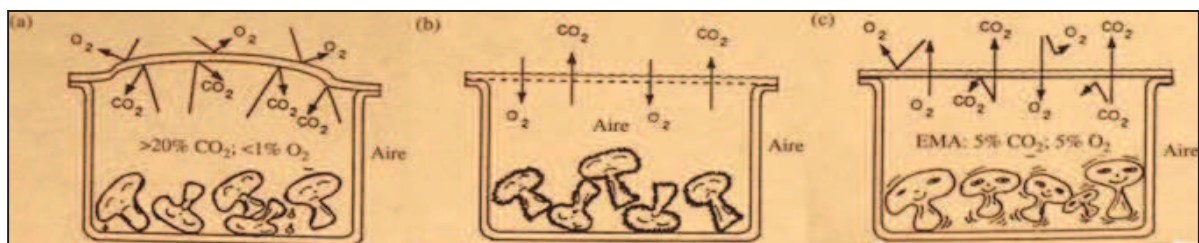


Figura 20. Representación esquemática de los tres escenarios del EAM de productos hortofrutícolas a) película impermeable b) película completamente permeable c) película con permeabilidad adecuada. Fuente: Guevara (2010).

Los beneficios de las atmósferas modificadas en los mínimamente procesados solo se logran cuando se realiza una correcta elección de los materiales de empaque que puedan proveer apropiados niveles de oxígeno y dióxido de carbono dentro del producto fresco empacado por esta razón, se han desarrollado diversas soluciones de envasado y de polímeros para prevenir el rápido deterioro de los productos mínimamente procesados. (Allende *et al.*, 2006, IFPA, 2003).

2.2.7.2.2 Materiales de empaque

Existen muchos tipos de materiales que se utilizan en el empackado de alimentos que pueden ser clasificado por su naturaleza (naturales y artificiales), por el tipo de uso que se les da, por la forma o dimensiones que producen, por sus propiedades físicas como permeabilidad a gases y/o vapores, su resistencia, fragilidad, permeabilidad a la luz y por el tipo de material (Guevara, 2010).

El empacador de los productos alimenticios busca y elige materiales de envase adecuados para su necesidad, que cumplan con las disposiciones legales. Dados los factores que afectan a la duración de vida del producto, cualquier film para envasado de frutas y hortalizas frescas debe



cumplir los requisitos mostrados en la Tabla 17 para conservar su frescura, su calidad tras la recolección y prolongar la vida del mismo (Baldwin, 1995; Cruz, 2006):

Tabla 17. Requisitos de los materiales de envases.

Requisitos de los materiales de envases	
✓	Reducir la respiración sin producir fermentación.
✓	Minimizar la deshidratación.
✓	Frenar los mecanismos de deterioro tanto fisiológico como microbiológico.
✓	Resistencia.
✓	Barrera contra la evaporación, para evitar pérdida de peso y deshidratación del producto.
✓	Barrera contra gases.
✓	Permeabilidad de los gases.
✓	Propiedades anti-vaho. Para evitar que las gotas de agua procedentes del vapor de agua se condensen en la superficie interna del envase.
✓	Propiedades de sellado. Que además faciliten la apertura del envase.

Fuente: Baldwin (1995) y Cruz (2006).

El número de polímeros utilizables para el envasado de alimentos es muy grande debido a que son considerados ligeros, manejables, moldeables, resistentes y económicos y cada uno tiene diferentes propiedades y características de resistencia, barrera y sellado, de tal forma que se pueden seleccionar combinaciones para diseñar un envase que satisfaga los requerimientos específicos de contenido, conservación, protección, vida de anaquel y preservación de cada producto, y es indispensable tener presente que es el producto, en el sentido más amplio, el que nos permite determinar las características del material a utilizar (Figura 21) (Contreras, 2010).



Figura 21. 1) Vegetales empacados en bolsa 2) Bandejas de PET 3) bandeja de PET con film envolvente 4) bolsa Zip lock usada en pequeña escala.

Fuente: James y Ngarmsak (2010).

En la Tabla 18 se observan las características de permeabilidad de una amplia variedad de películas plásticas que permiten generar diversas atmósferas modificadas.



Tabla 18. Permeabilidad de diferentes películas de posible utilización en envasado en atmósferas modificadas de productos mínimamente procesados.

Tipo de película	Velocidades de transmisión ^{ab}		
	O ₂	CO ₂	Vapor de agua
Polietileno baja densidad (LDPE)	3,900-13,000	7,700-77,000	6-23.2
Polietileno baja densidad lineal (LLDPE)	7,000-9,300	-	16-31
Polietileno media densidad (MDPE)	2,600-8,293	7,700-38,750	8-15
Polietileno alta densidad (HDPE)	520-4,000	3,900-10,000	4-10
Polipropileno (PP)	1,300-6,400	7,700-21,000	4-10.8
Cloruro de polivinilo (PVC)	620-2,248	4,263-8,138	-
Cloruro de polivinilo plastificado (PVC)	77-7,500	770-55,000	>8
Poliestireno (PS)	8,000-13,000	35,000-53,000	60
Cloruro de polivinilideno (PVDC)	8-26	59	1.5-5

Fuente: Wiley (1997)

^a Las velocidades de transmisión del O₂ y CO₂ se expresan en cm³m⁻²día⁻¹ a 1 atmósfera de presión diferencial para película de 0.0254 mm de grosor a 22-25°C en diferentes HR o en HR sin especificar.

^b Las velocidades de transmisión del vapor de agua se expresan en g m⁻² día⁻¹ a 37.8°C y 90% HR.

Es importante señalar que muchas de estas películas no son las óptimas para el envasado en atmósfera modificada de una infinidad de productos hortofrutícolas. Diferencias en la velocidad de respiración de frutas o vegetales individuales, el efecto de la temperatura y la humedad relativa sobre la velocidad de respiración, la velocidad de transpiración, la permeabilidad del tejido a los gases y la permeabilidad de la película polimérica a los gases, requieren que previo al envasado en atmósfera modificada se realice un estudio detallado para definir el tipo de material de empaque que debe utilizarse, definiendo a la par el área y el espesor del material de empaque para cada uno de los productos hortofrutícolas de manera específica, para asegurar de esta manera la conservación de su calidad (Guevara, 2010).

2.2.8 Legislación de los productos mínimamente procesados

Actualmente no se tiene una norma mexicana que regule la producción de alimentos de la cuarta gama, sin embargo existen un código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas (CAC/RCP 53-2003) dado por el CODEX que en su anexo 1 trata sobre los



mínimamente procesados y las buenas prácticas de fabricación de estos para garantizar su seguridad (CODEX, 2007)

La legislación Europea marca lo siguiente respecto a productos de la cuarta gama y sobre sus parámetros microbiológicos: En todo momento, habrán de cumplirse los límites que establece la legislación (Real Decreto 2207/1995 y Real Decreto 3484/2000) sobre comidas preparadas con vegetales crudos y otros aspectos del Código Alimentario aplicables a estos productos (Artés-Calero y Artés-Hernández, 2003).

El Real Decreto 3484/2000 (BOE, 2001) establece los límites que deben cumplir las comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos. En el caso del recuento total de aerobios mesófilos, y para una muestra de 5 unidades, sólo dos de ellas pueden tener un valor de entre 10^5 y 10^6 ufc/g el día de fabricación y entre 10^6 y 10^7 ufc/g para el de caducidad. Además, ninguna de las muestras podrá superar las 10^6 ufc/g en el primer caso y 10^7 ufc/g en el segundo. También se establecen límites para *E. coli*, microorganismo considerado como testigo de falta de higiene, admitiéndose solo dos muestras de un total de cinco que tengan lecturas entre 10^1 y 10^2 ufc/g. Los mismos valores se utilizan para *Listeria monocitogenes*. En cuanto a *Salmonella*, se especifica que debe estar ausente en 25 g (Artés-Calero y Artés-Hernández, 2003).

En Estados Unidos existe IFPA que es la asociación internacional de productores de vegetales frescos cortados. Esta asociación da una guía de seguridad alimentaria para la industria de productos vegetales frescos cortados (Gil *et al.*, 2011).

La guía de IFPA es un documento muy completo que aborda los siguientes puntos (Gil 2006):

1. Producción y manipulación postrecolección.
2. Microbiología de las frutas y hortalizas frescas cortadas.
3. Directrices para mejorar la seguridad de los productos en IV gama.
4. Sistema de APPCC para la industria de frutas y hortalizas en IV gama.
5. Diseño higiénico del equipo y planta de procesado.
6. Limpieza y desinfección de plantas.
7. Establecimiento de un programa de verificación microbiológica.
8. Higienización del agua de lavado.
9. Interacción entre envasado y seguridad alimentaria.
10. Conservación y distribución.



3. Objetivos



3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes agentes desinfectantes y tipos de envases en los parámetros de calidad, químicos, microbiológicos, sensoriales y composición atmosférica de granada roja mínimamente procesada refrigerada a 4°C para establecer las condiciones que permitan alargar la vida útil del producto.

3.2 Objetivos particulares

- **Objetivo particular 1**

Determinar el efecto del tipo de desinfectante (radiación UV-C por 30 y 40 min, ozono por 3 y 6 min, cloro 70 ppm y solución coloidal de plata) en los parámetros de calidad (color, pH, acidez, sólidos solubles) químicos (antocianinas), microbiológicos (coliformes, bacterias mesófilas, hongos y levaduras) y en la vida útil de granada roja mínimamente procesada para seleccionar el tratamiento que preserve mejor las características del producto.

- **Objetivo particular 2**

Comparar el efecto distintas atmósferas modificadas pasivas formadas a partir de diferentes materiales de envase (Polietileno tereftalato (PETE), Poliestireno (PS) y película co-extruída) en los parámetros de calidad (color, pH, acidez, sólidos solubles), químicos (antocianinas y fenoles), microbiológicos (coliformes, bacterias mesófilas, hongos y levaduras), composición atmosférica (%O₂ y CO₂), y sensoriales de granada roja mínimamente procesada con el fin de seleccionar el envase que mantiene mejor las cualidades del producto.



4. Metodología



4.1 Cuadro metodológico

Objetivo General: Evaluar el efecto de diferentes agentes desinfectantes y tipos de envases en los parámetros de calidad, químicos, microbiológicos, sensoriales y composición atmosférica de granada roja mínimamente procesada refrigerada a 4°C para establecer las condiciones que permitan alargar la vida útil del producto.

Actividades preliminares

1. Determinar rendimiento de granada, para establecer la cantidad a utilizar.

1. Elaboración del producto mínimamente procesado.

Objetivo Particular 1: Determinar el efecto del tipo de desinfectante (radiación UV-C por 30 y 40 min, ozono por 3 y 6 min, cloro 70 ppm y solución coloidal de plata) en los parámetros de calidad (color, pH, acidez, sólidos solubles) químicos (antocianinas), microbiológicos (coliformes, bacterias mesófilas, hongos y levaduras) y en la vida útil de granada roja mínimamente procesada para seleccionar el tratamiento que preserve mejor las características del producto.

Objetivo Particular 2: Comparar el efecto distintas atmósferas modificadas pasivas formadas a partir de diferentes materiales de envase (Polietileno tereftalato (PETE), Poliestireno (PS) y película co-extruida) en los parámetros de calidad (color, pH, acidez, sólidos solubles), químicos (antocianinas y fenoles), microbiológicos (coliformes, bacterias mesófilas, hongos y levaduras), composición atmosférica (%O₂ y CO₂), y sensoriales de granada roja mínimamente procesada con el fin de seleccionar el envase que mantiene mejor las cualidades del producto.

Evaluación de parámetros microbiológicos (Recuento en placas de agar):

- Coliformes (NOM-113-SSA-1994).
- Mesófilos (NOM-092-SSA-1994).
- Mohos y levaduras (NOM-111-SSA-1994).

Evaluación de parámetros Químicos:

- Antocianinas: pH diferencial (Giusti y Wrolstad, 2005).
- Fenoles totales: Espectrofotómetro (Spanos y Wrolstad, 1990).

Evaluación de parámetros de calidad:

- pH: Potenciómetro (Faten, 2012).
- Acidez: Acidez titulable (AOAC, 1984).
- Sólidos solubles totales: Refractómetro (Faten, 2012).
- Color: Colorímetro (Ozge, 2011).

Evaluación de parámetros de composición atmosférica (contenido de O₂ y CO₂):

Analizador de gases (Del Nobile, 2009).

Evaluación sensorial:

- Identificación de diferencia: Prueba triangular
- Aceptación: Prueba afectiva. (Pedrero y Pangborn, 1994).

Resultados y Discusión

Conclusiones



4.1.1 Material biológico

La granada fresca (*Punica granatum L.*) (Figura 22) fue comprada en la central de abasto de la Ciudad de México proveniente de los estados de Hidalgo y Morelos, se trasladó al Laboratorio de Postcosecha de productos vegetales de la UNAM, y se almacenó a una temperatura de 5°C hasta su procesado. Los arilos de granada se obtuvieron mediante un pelado y desgranado manual bajo condiciones de refrigeración (10°C).



Figura 22. Material biológico: granada (*Punica granatum L.*).

4.1.2 Proceso de elaboración del producto mínimamente procesado

La granada se sometió a operaciones de selección, lavado, pelado, desgranado, desinfección, escurrido, pesado, envasado y almacenamiento refrigerado a 4°C de acuerdo al diagrama de proceso presentado en la Figura 23.

4.1.3 Selección de agente desinfectante

Los arilos de granada fueron sometidos a diferentes tratamientos de desinfección bajo las siguientes condiciones: cloro 70 ppm durante 7 min, solución coloidal de plata 7 min, radiación UV-C por 30 y 40 min y Ozono por 3 y 6 min. Además, se mantuvieron arilos sin ningún tratamiento de desinfección como control. Los arilos fueron envasados en tarrinas de Polietileno tereftalato (PETE) y se evaluaron los distintos parámetros de calidad en los días 1, 4, 8, 12, 16 y 20 de almacenamiento y a partir de los resultados se seleccionaron los dos mejores desinfectantes para la siguiente etapa experimental.



4.1.4 Evaluación del efecto del tipo de envase.

Los arilos de granada fueron desinfectados con los agentes seleccionados en la etapa 4.1.3. La operación de envasado se realizó en tres diferentes películas plásticas: Polietileno tereftalato ($PO_2= 50-130 \text{ cm}^2/\text{m}^2\cdot\text{día}\cdot\text{atm}$), poliestireno ($PO_2= 2000- 7700\text{cm}^2/\text{m}^2\cdot\text{día}\cdot\text{atm}$) y película co-extruida ($PO_2= < 100 \text{ cm}^2/\text{m}^2\cdot\text{día}\cdot\text{atm}$). Los arilos fueron almacenados a 4°C y se les realizó una evaluación de la calidad de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.1.5. Las determinaciones se realizaron por triplicado en los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento.

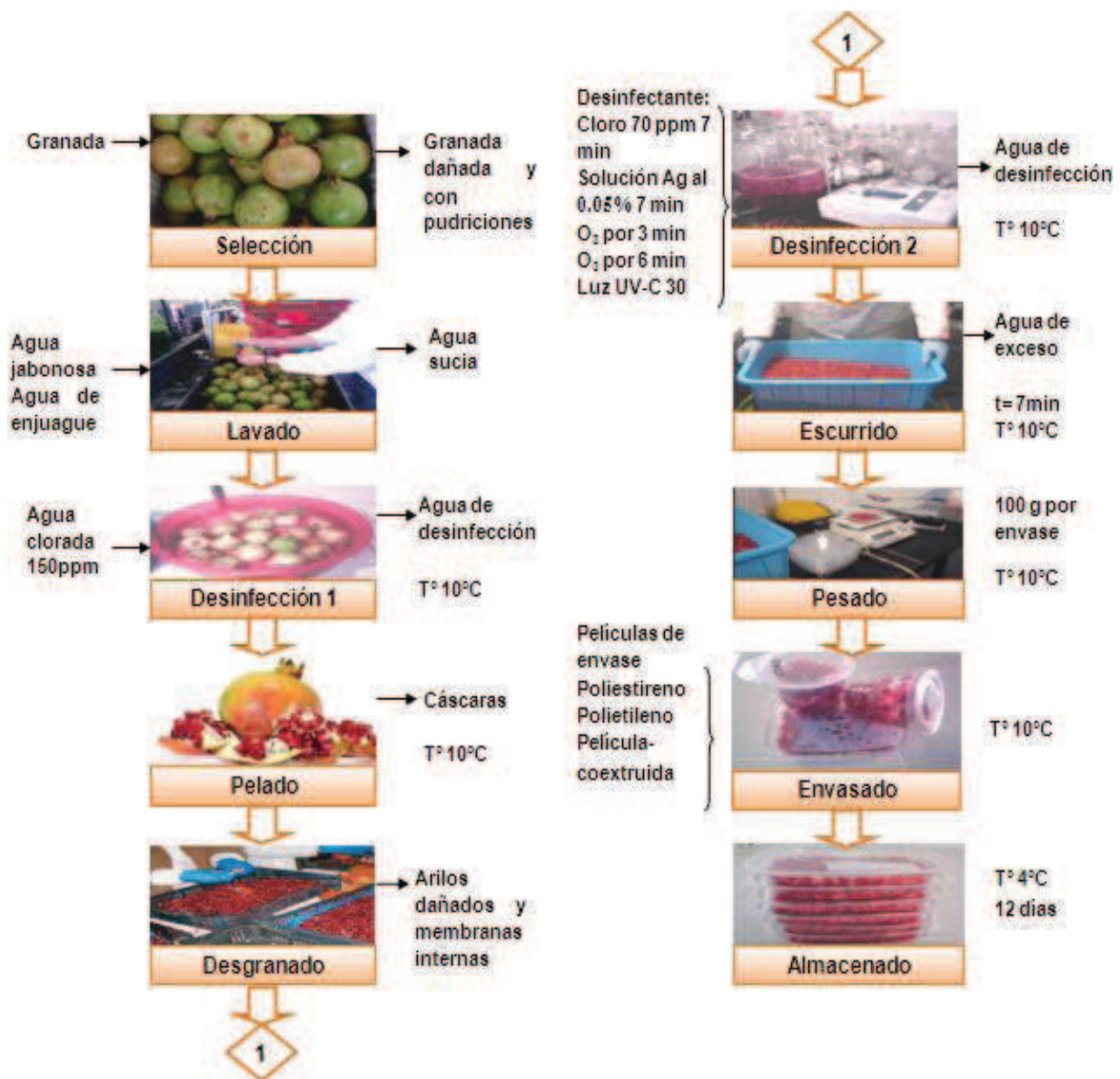


Figura 23. Diagrama de proceso de arilos de granada mínimamente procesada utilizado en los 2 objetivos del presente estudio.



4.1.5 Técnicas analíticas

4.1.5.1 Parámetros de calidad

- **Color**

La medición de color se realizó utilizando un colorímetro Minolta (Figura 24) con el cual se obtuvieron valores de L (luminosidad), a y b. A partir de las coordenadas a y b se calculó la tonalidad del ángulo Hue (matiz del color) y croma (intensidad o saturación de color) con las siguientes fórmulas $Hue = \arctan(b/a)$ $Croma = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Ozge, 2011).



Figura 24. Colorímetro Minolta utilizado en la determinación de color.

- **Acidez**

La acidez se midió volumétricamente neutralizando los jugos o extractos de las frutas con una base fuerte (Figura 25). Para la valoración se utilizó NaOH 0.1N y fenolftaleína al 1% como indicador, registrando el volumen gastado para neutralizar el ácido. Los resultados se expresaron como gramos de ácido cítrico/100 mL de muestra. (AOAC 1984).

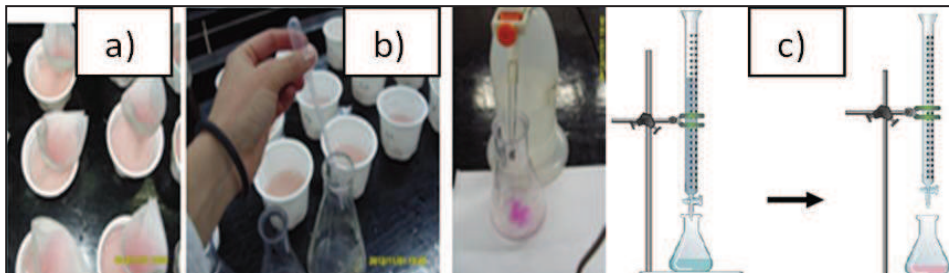


Figura 1. Determinación de acidez por titulación a) filtración de la muestra, b) adición de fenolftaleína, c) valoración con NaOH.

- **pH**

El pH se midió con un potenciómetro manual sumergiendo el potenciómetro directamente en el jugo de los arilos (Figura 26). Estos instrumentos miden una diferencia de potencial que se establece entre dos electrodos y que depende de la concentración de hidrogeniones del



medio que se analiza. Esta diferencia es indicada como valores de pH en una pantalla que posee el instrumento (AOAC, 1984).



Figura 26. Determinación de pH.

- **Sólidos solubles totales**

El contenido total de sólidos solubles se determinó mediante el uso de un refractómetro de mano (Atago) a 20°C colocando una gota del jugo de granada (Figura 27). Los resultados se expresaron como °Brix (Faten, 2012).



Figura 27. Determinación de sólidos solubles totales.

4.1.5.2 Parámetros químicos

- **Antocianinas**

El contenido total de antocianina de las muestras se determinó espectrofotométricamente utilizando el método de pH diferencial que se basa en la transformación estructural de las antocianinas y de su color en función del pH, manifestado por una marcada diferencia en su absorbancia. La forma colorida oxonium de las antocianinas es predominante a pH de 1.0 y la forma hemiketal (sin color) es predominante a pH de 4.5, y en esta reacción está basado el método. Los buffer utilizados para la determinación fueron: Cloruro de potasio 25 mM con pH de 1.0 y acetato de sodio 0.4M a pH de 4.5. Se realizaron lecturas a dos longitudes de onda: 510 y 700 nm (Figura 28).

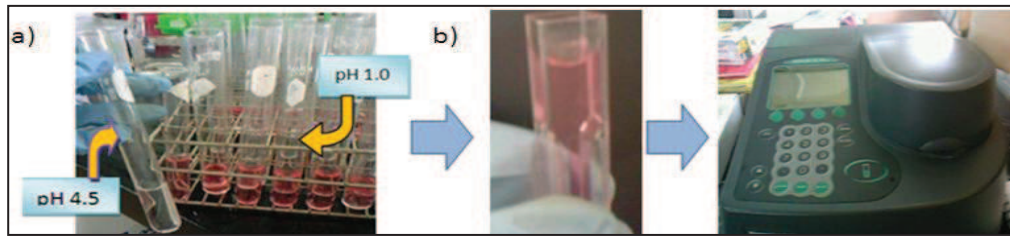


Figura 28. Determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial a) dilución de extracto en buffers b) lectura de absorbancia.

El contenido total de antocianinas fue calculado con la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas totales} = [(A \times MW \times FD \times 100) / MA].$$

Donde:

$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$; MW: peso molecular (449.2 g/mol); FD: Factor de dilución; MA: coeficiente de absorvividad molar (29, 900 $\text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$).

Los resultados se expresan como mg de cianidin 3-glucosido por litro de jugo (Giusti y Wrolstad, 2001).

• Fenoles totales

Los fenoles totales fueron cuantificados usando el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu en el cual se utiliza ácido gálico como estándar (Figura 29). El método se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula (Gutiérrez- Avella *et al.*, 2008).

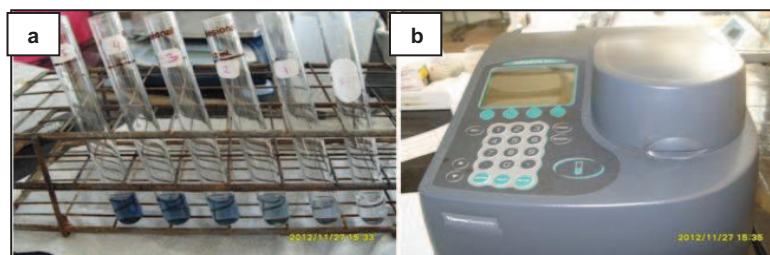


Figura 29. Determinación de fenoles totales a) Curva de ácido gálico b) espectrofotómetro.

Una disolución patrón de ácido gálico se preparó a 0.1 g/L, para ser utilizada como curva patrón y se leyó la absorbancia a 760 nm. La absorbancia de las muestras fue leída e interpolada en la curva estándar y los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico por gramo (mg GAE/100 g de jugo) (Spanos, 1990).



4.1.5.3 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico utilizado fue el método de siembra en placa. El recuento de mesófilos, coliformes totales, mohos y levaduras se realizó empleando diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} .

Para mohos y levaduras se utilizó el medio agar papa-dextrosa (PDA) incubando a 25°C durante 5 días, para mesófilos se usó el medio de agar nutritivo incubando a 32°C durante 48 h y para el recuento de bacterias coliformes se usó agar Mc-Conkey incubando a 35°C por 24 h (Figura 30). Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g) (NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994).

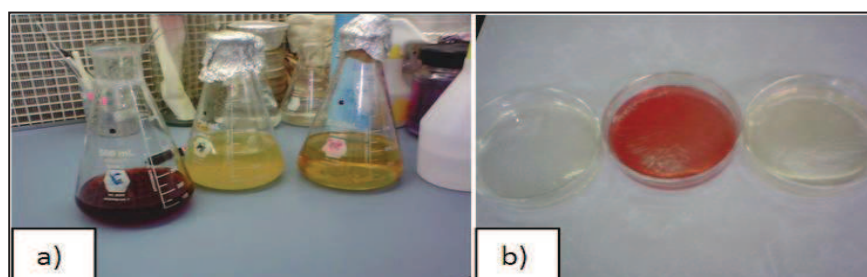


Figura 30. Recuento en placas de Agar a) Medios de cultivo b) Placas de agar.

4.1.5.4 Composición atmosférica en el espacio de cabeza

Los cambios en la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en los arilos envasados se determinó utilizando un analizador de gases (Quantek DualTrack 902D) con el cual se midió el porcentaje de CO_2 y O_2 retenido en el espacio de cabeza de cada empaque (Figura 31).

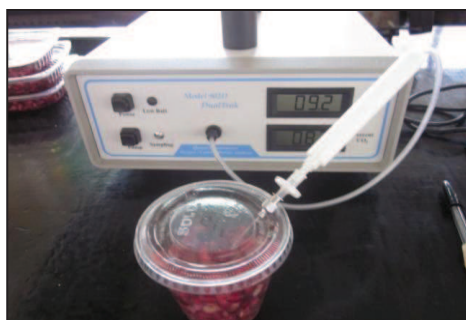


Figura 31. Determinación de la composición atmosférica.

El equipo consta de tres partes: una fuente de infrarrojo, la celda donde se coloca el gas a medir y un detector y trabaja sobre el principio de que el gas CO_2 absorbe luz infrarroja, de manera que una determinada cantidad de este gas que penetre en dicho analizador originará



una señal que es proporcional a la concentración del CO₂ en la corriente de aire que entra por acción de una bomba (Del Nobile, 2009).

4.1.5.5 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo con un panel de siete jueces no entrenados. Una prueba triangular se realizó para establecer si los panelistas detectaban diferencia entre los arilos de granada colocados en los diferentes envases y a su vez se evaluó la preferencia y aceptación de cada producto mediante una prueba afectiva donde los jueces expresaron su reacción ante el producto, indicando si les gustaba o les disgusta y cual preferían de las muestras presentadas; todo esto mediante el llenado del formato mostrado en la Figura 32 (Pedrero y Pangborn, 1994).

Nombre _____

Instrucciones: Anota el código de muestras y evalúa tratando de identificar cuál es diferente y marcando qué muestra prefieres

ABC	ADE	AFG

Muestra que prefieres _____

Figura 32. Formato de prueba sensorial.

4.1.5.6 Análisis estadístico

La determinación de los parámetros químicos y microbiológicos se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron mediante un análisis completamente al azar (ANOVA) para el primer experimento y un diseño factorial para el segundo experimento. La diferencia significativa se determinaron mediante una prueba de rango múltiple Tukey por medio de un paquete estadístico (SPSS versión 15). Las variables y los niveles de variación del segundo experimento se muestran en la Tabla 19. Los resultados se presentaron como valores medio \pm desviación estándar.

Tabla 19. Descripción de variables del segundo experimento.

Factor de variación	Nivel de variación
Desinfectante	<ul style="list-style-type: none">• Cloro• Ozono
Material de Envase	<ul style="list-style-type: none">• Poliestireno (PS)• Polietileno tereftalato (PETE)• Película coextruida



5. Resultados y Discusión



5.1 Parámetros de calidad en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.

5.1.1 Acidez titulable

La acidez en los frutos es un parámetro de calidad atribuido a la presencia de ácidos orgánicos que contribuye a la percepción del sabor y por tanto, a la aceptación del fruto por parte del consumidor. En la granada se han encontrado ácido cítrico, málico, fumárico, etc. sin embargo, el ácido mayoritario considerado para determinar la acidez titulable en los arilos de granada es el ácido cítrico (Melgarejo *et al.*, 2011).

De acuerdo a la Figura 33, la acidez inicial observada en los arilos de granada mínimamente procesada se encontró en el rango de 0.02-0.03% de ácido cítrico mostrando una tendencia ligeramente ascendente respecto al tiempo de almacenamiento y presentando al final del periodo de almacenamiento una acidez 26.15% mayor a la observada en el día 1.

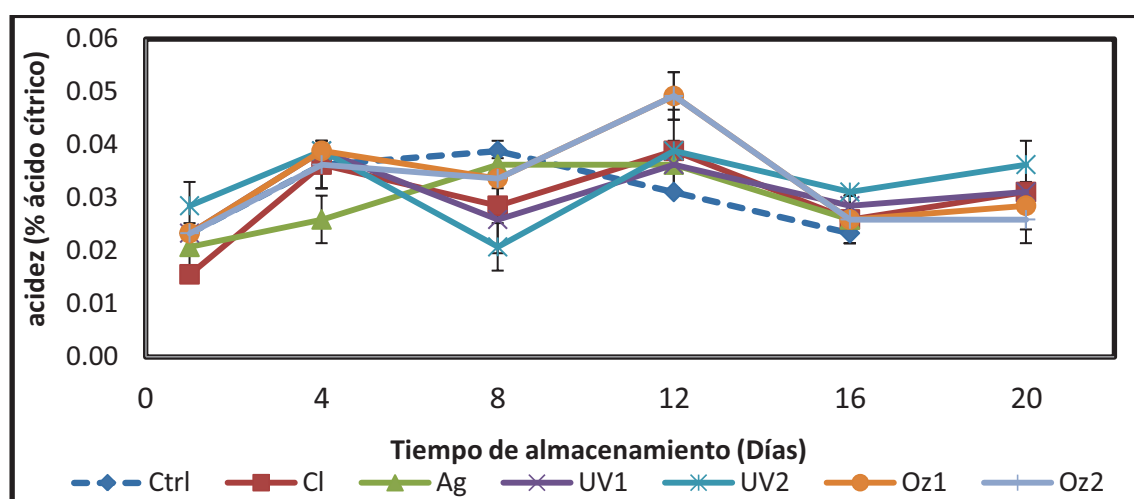


Figura 33. Efecto de diferentes desinfectantes en acidez titulable de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: 3Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

En el día 1 de almacenamiento los arilos tratados con cloro presentaron la acidez titulable más baja (0.016% de ácido cítrico), en tanto que las muestras tratadas con luz UV-C por 40min presentaron la mayor (0.029% de ácido cítrico). Estos valores de acidez fueron aumentando respecto al tiempo de almacenamiento llegando a alcanzar en el día 12 valores máximos de 0.05% de ácido cítrico y terminando en el día 20 con valores en el rango de 0.02 a 0.04% de ácido cítrico.



Estadísticamente se presentó un efecto significativo ($P \leq 0.05$) del tipo de desinfectante sobre el parámetro de acidez en los días 1, 4 y 12 de almacenamiento. Para el día 1 se tuvo diferencia significativa de los arilos tratados con cloro respecto a los desinfectados con ozono por 6 min, luz UV-C y al control; para el día 4 los arilos tratados con plata presentaron diferencia significativa respecto al resto de las muestras y en el día 12 se tuvo diferencia significativa en la acidez de los arilos control y los tratados con plata respecto a los tratados con ozono en sus dos tiempos.

El incremento en la acidez de los arilos de granada (principalmente en el día 12) puede ser asociado con la disminución de las tasas de actividad fisiológica que ejerce la baja temperatura, ya que en condiciones de baja actividad fisiológica se presenta una baja tasa de utilización de ácidos (Ciclo de Krebs), lo que podría generar la acumulación de éstos y por tanto el aumento de acidez y también, puede ser asociado principalmente al aumento de ácido láctico y acético productos de la actividad de microorganismos fermentativos indeseables como lo señaló Voon, *et al.* (2006).

Autores como Carlin *et al.* (1989), Marchetti (1992) y Ahn *et al.* (2005) han reportado la producción de ácido láctico y acético generado por bacterias ácido lácticas en vegetales almacenados bajo distintas condiciones, teniendo como consecuencia un aumento en la acidez. Otros autores como Mercado *et al.* (2011) y Palma *et al.* (2009) observaron un aumento de acidez en arilos de granada y atribuyeron dicho aumento a la solubilización de CO_2 en el tejido, que incrementa la acidez titulable, esto puede estar sustentado por los hallazgos de un incremento muy alto en la respiración de las semillas de granada a 4°C reportado por García *et al.* (2000) en comparación con la respiración de frutos intactos reportados por Crisosto *et al.* (2007).

Los arilos de granada mínimamente procesada bajo los diferentes tratamientos de desinfección presentaron niveles de acidez notablemente menores a los reportados por otros autores en otras variedades; por ejemplo Kulkarni y Aradhya (2005) y Tehranifar (2010) reportaron valores de acidez en el rango de 0.33-0.56 y 0.33-2.44 respectivamente en diferentes variedades de granada; mientras que Melgarejo *et al.* (2000) al analizar 40 materiales de granada provenientes de España los clasificó en tres tipos diferentes; dulces, agridulces y agrios, asignando valores de 0.317 de ácido total para los dulces y hasta 2.725 g de ácido cítrico por cada 100g para los agrios. De acuerdo con esta clasificación, los frutos utilizados en este estudio tuvieron valores notablemente más bajos y se clasificarían como muy dulces concordando con los valores reportados por Mercado *et al.* (2011) para granadas provenientes de Guanajuato y fueron similares a los reportados por Poyrazoglu *et al.* (2002) quien reportó valores en el rango de



0.033 a 0.89 para granadas de Turquía. La variación en los valores de acidez puede ser atribuido a diversos factores como lo son la variedad de la fruta, estado de madurez y a las condiciones poscosecha.

5.1.2 pH

El pH es un parámetro de calidad que caracteriza el sabor ácido de la granada y por lo tanto afecta la aceptación de las frutas por parte de los consumidores (Al-Maiman y Ahmad, 2002).

El pH inicial en los arilos de granada sometidos a los diferentes tratamientos de desinfección se encontraron en el rango de 3.1 a 3.4 para el día uno de almacenamiento, correspondiendo los menores valores de pH (3.1) a los arilos control y los mayores a los arilos tratados con ozono por 6 min (Figura 34). Estadísticamente se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) del pH de las muestras control respecto al resto de tratamientos.

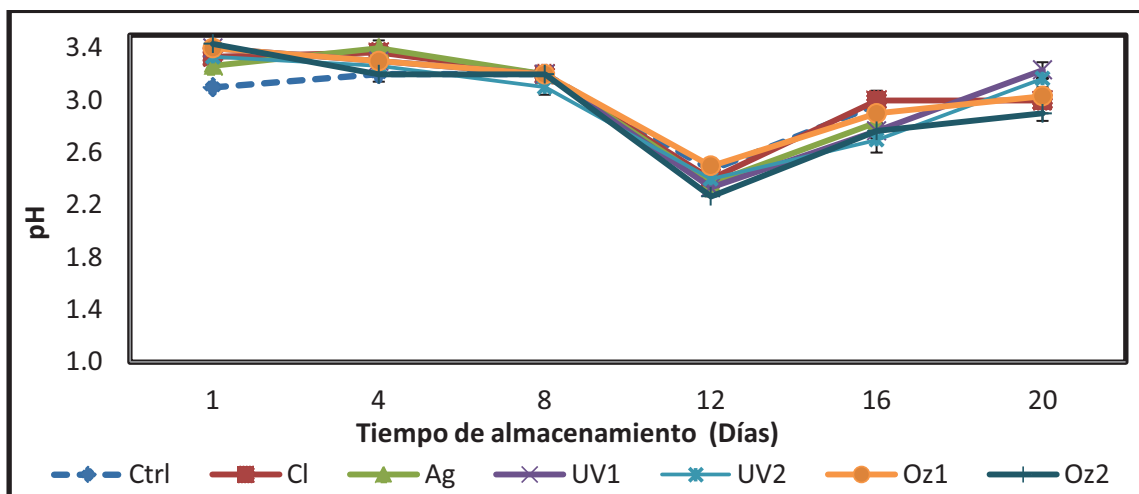


Figura 34. Efecto de diferentes desinfectantes en pH de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar

El pH en los arilos de granada sometidos a los diferentes tratamientos de desinfección se mantuvo casi constante con una tendencia ligeramente descendente durante los primeros 8 días de almacenamiento, sólo en el día 12 el pH de los arilos de granada disminuyó drásticamente casi una unidad, teniendo en promedio valores de 2.4 unidades de pH, sin diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en este parámetro entre los tratamientos. En el día 16 el pH de las distintas muestras aumentó alrededor del 16% respecto al día 12 y llegó a rangos de entre 2.7 a 3 y de acuerdo al análisis estadístico se presentó un efecto significativo ($P \leq 0.05$) de los



diferentes métodos de desinfección sobre el pH de las muestras, dicha diferencia se dio entre los arilos tratados con cloro respecto a las muestras tratadas con luz UV-C en los dos tiempos de proceso, ozono por 6 min y plata, en tanto que los arilos control y los tratados con ozono por 3 min no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre sí.

En el día 20 se terminó con valores de pH 9% menores respecto al día 1 de almacenamiento, con intervalos entre 2.9 a 3.2 unidades de pH. El descenso de pH coincidió con un ligero aumento de acidez titulable de la fruta atribuible a la producción de ácidos por microorganismos indeseables generando una disminución en el pH.

Voon *et al.* (2006) reportaron en durian mínimamente procesados un descenso en el valor del pH de los frutos luego de 2 días de almacenamiento y lo atribuyeron a la producción de ácidos orgánicos, los cuales probablemente excedieron el umbral de la capacidad del tejido de la fruta de actuar como buffer, ocasionando un descenso del pH.

Los valores de pH encontrados en este estudio estuvieron dentro del rango de 2.75-4.14 reportado por Akbarpour *et al.* (2009), Tehranifar *et al.* (2010) y Cam *et al.* (2009) para diversas variedades de granada (3.1-4.9). La FDA (2007) reportó intervalos de pH de 2.93-3.2 para la porción comestible (arilos) de granada en estado natural, siendo también similares a los resultados aquí obtenidos.

A partir de estos datos se puede referir que en general los arilos de granada muestran un pH ácido menor a 5 y es en el día 12 cuando estos valores se salen de los rangos de pH reportados por otros autores.

5.1.3 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles es un buen estimador del contenido de azúcar en las frutas, ya que ésta representa más del 90% de la materia soluble en la mayoría de ellas (González, 2011). Los resultados obtenidos respecto a la variable de sólidos solubles totales (SST) presentes en el jugo de granada expresados como °Brix se presentan en la Figura 35.

Los arilos de granada presentaron valores de °Brix que se situaron en el intervalo de 11 a 18 durante todo el periodo de almacenamiento; siendo en el día 1 los arilos tratados con cloro y luz UV-C por 40 min los que presentaron el mayor contenido de SST (14°Brix), mientras que los tratados con ozono en sus dos tiempos de proceso tuvieron los menores valores (12.4 y 11.4°Brix) y estadísticamente se formaron 4 grupos que mostraron diferencia significativa entre sí ($P \leq 0.05$): el primero lo formaron los arilos control, los tratados con plata coloidal y con luz UV-



C por 30 min; el segundo los tratados con cloro y luz UV-C por 40 min, el tercero los desinfectados con ozono por 3 min y el cuarto los de ozono por 6 min.

El contenido de SST se mantuvo casi constante durante los primeros 8 días de almacenamiento y en el día 8 se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de las muestras tratadas con luz UV-C por 30 min respecto a las tratadas con cloro.

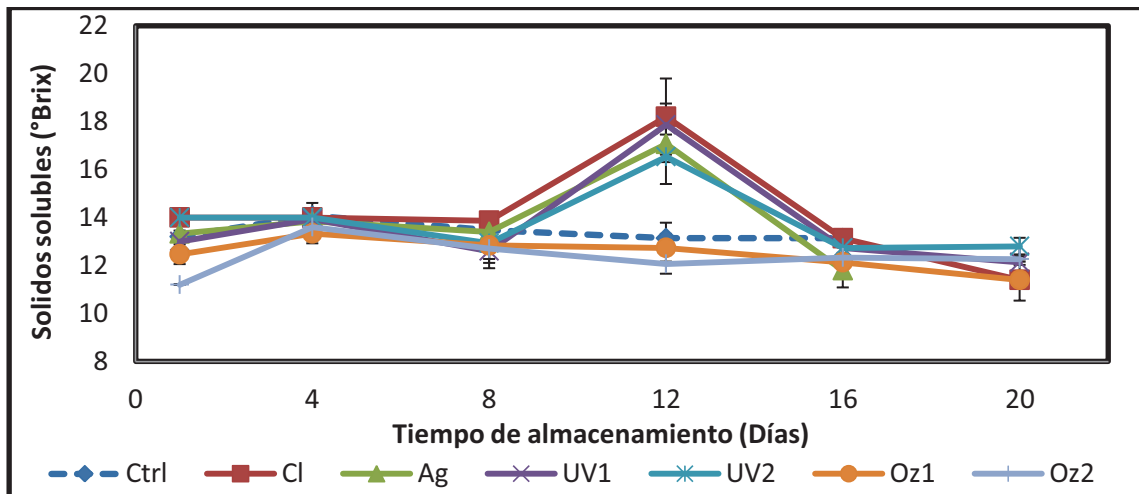


Figura 35. Efecto de diferentes desinfectantes en sólidos solubles totales de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar

En el día 12, de acuerdo al análisis estadístico se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$), clasificando las muestras en dos grupos diferentes: el primero incluyó a los arilos tratados con cloro, plata coloidal y luz UV-C en sus dos tiempos de proceso, los cuales presentaron un aumento en su contenido de SST llegando a alcanzar valores de 18°Brix y fue este contenido en SST en promedio 23.5% superior al resto de tratamientos, mientras que el segundo grupo (arilos control y arilos tratados con ozono por 3 y 6min) continuó con la tendencia ligeramente descendente en su contenido de SST siendo los arilos de granada tratados con ozono los que presentaron un comportamiento similar a los arilos control.

Los resultados obtenidos en este estudio entraron en el rango (10-16.5°Brix) reportado para granada fresca por Fadavi *et al.* (2005) y similares (12.36-16.32°Brix) a los señalados por Martínez *et al.* (2006) y por Tehranifar *et al.* (2010) para granadas españolas e iraníes, respectivamente. Sin embargo, en los arilos tratados con ozono por 6 min se tuvieron en el día 1 de almacenamiento valores de SST inferiores al mínimo requerido comercialmente (12 °Brix) para jugo de granada.



El aumento marcado en el contenido de sólidos solubles totales registrado en el día 12 de almacenamiento puede atribuirse de acuerdo Melgarejo (2010) a que durante el almacenamiento de las granadas se producen una serie de cambios que afectan a la calidad organoléptica del fruto, entre los que destacan la pérdida de peso por deshidratación, la acumulación de azúcares etc. concordando con lo observado por Sepulveda *et al.* (2000) quienes reportaron un incremento en SST en arilos de granada empacados; interpretándolo como resultado de un proceso de deshidratación,

El ligero descenso de SST mostrado respecto al día inicial (descenso menor al 11% en el día 20) pudo deberse a que los azúcares son utilizados como sustratos primarios durante el proceso de respiración como lo señalaron Torales *et al.* (2010) o al proceso de senescencia de la fruta como lo mencionó Fadavi (2005).

La escasa variación en los sólidos solubles totales confirma la naturaleza no climatérica de la granada como la definieron Kader *et al.* (1984).

5.1.4 Color

El color es el principal factor de calidad crucial en la preferencia, elección y aceptación de un alimento por parte del consumidor, pues con tan solo el hecho de verlo, se sustituirá por otro si no cumple las propias normas de calidad del consumidor (Eiro y Heinonen, 2002; Rico *et al.*, 2007).

En el caso de los arilos de granada, su atractivo color rojo se debe a su contenido de antocianinas que son pigmentos naturales responsables del color rojo, anaranjado, azul y violeta en flores, frutas y vegetales (Ahmed *et al.*, 2004).

Los arilos de granada pueden sufrir cambios en el color mediante diferentes procesos bioquímicos, principalmente la degradación de antocianinas y el pardeamiento enzimático o no enzimático.

El efecto que provocaron los distintos tratamientos de desinfección en los parámetros de color de los arilos de granada mínimamente procesada con respecto al tiempo de almacenamiento se presentan en las Figuras 36, 37 y 38.

5.1.4.1 Luminosidad

El atributo del color "L" representa la luminosidad del color y va entre el blanco y el negro con valores que oscilan en rangos de 0 a 100, representando el L=0 negro y L=100 blanco.



El valor de L en los arilos de granada mínimamente procesada aumentó con el tiempo de almacenamiento desde promedios entre 20.4-26.7 hasta valores de entre 24.5 a 32.4 en el día 1 y 20 respectivamente (Figura 36) lo que indicó que los arilos de granada fueron más blancos al final del almacenamiento, esto puede explicarse por la expulsión de fluidos del interior del fruto hacia la superficie como lo reportó Villegas (2005) en litchi mínimamente procesado.

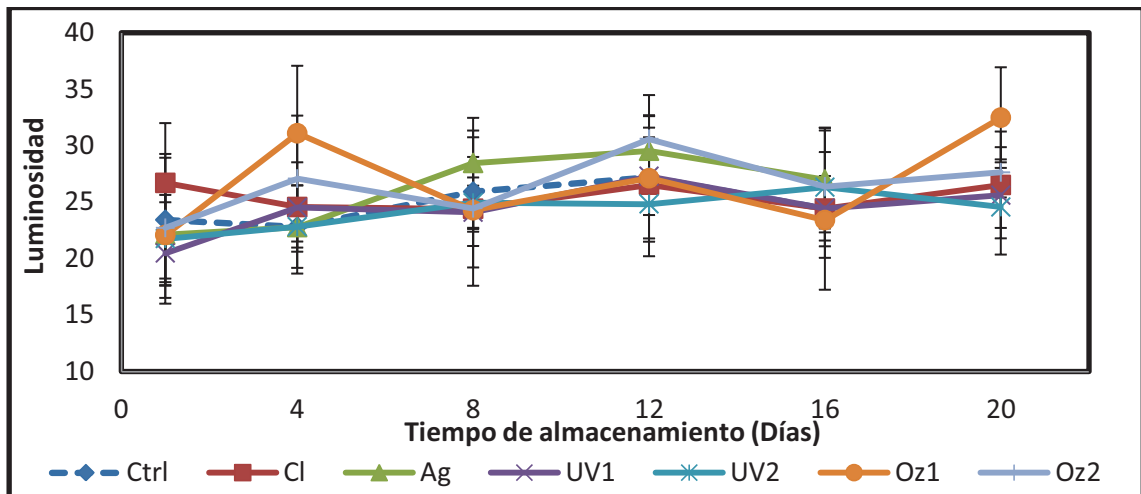


Figura 36. Efecto de diferentes desinfectantes en luminisidad de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

En el día 1 la mayor luminisidad se tuvo en los arilos tratados con cloro (26.7) y la menor en los arilos tratados con luz UV-C por 30 min (20.5), sin presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en este parámetro en las distintas muestras. En el día 4 de almacenamiento los arilos tratados con ozono por 3 y 6 min presentaron un aumento del 29 y 16% respectivamente, en tanto que el cloro tuvo una disminución en su luminisidad del 9% y el resto de las muestras mantuvieron dicho parámetro constante.

Estadísticamente existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras tratadas con ozono por 3 min respecto al control y a las muestras tratadas con plata coloidal y luz UV-C por 40 min. En los días posteriores se observó un ligero aumento en este atributo del color en todas las muestras y una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras tratadas con ozono por 6 min respecto a las tratadas con luz UV-C por 40 min tanto para el día 8 como para el 12 y finalmente en el día 20 se terminó con valores de luminisidad en promedio 19% mayores a las obtenidas en el día 1 y diferencia significativa entre los arilos desinfectados con ozono por 3 min respecto a los tratados con luz UV-C en los dos tiempos de proceso.



En todas las muestras se observó un aumento en la luminosidad de los arilos, con excepción de los arilos de granada tratados con cloro en los cuales se mantuvo constante durante los 20 días de almacenamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio respecto a la luminosidad fueron similares a los reportados por Turfan *et al.* (2011) para jugo de granada fresca (24.21 a 36.54), pero inferiores a los datos reportados por Zaouay *et al.* (2012) en jugo de granada (51.7-83.9) y a los reportados por Mercado *et al.* (2011) en arilos de granada del estado de Guanajuato ya que encontraron luminosidad en el rango de 35-40 en el día 1 de almacenamiento y un descenso posterior con valores entre 10 y 35 al final de su almacenamiento (día 20) contrastando con los resultados aquí obtenidos.

Las marcadas diferencias entre la luminosidad de los arilos aquí estudiados respecto a lo reportado por otros autores se atribuye a las diferencias entre las diversas variedades de granada, condiciones de cultivo y a las condiciones de proceso a las que son sometidas.

Similares resultados en cuanto el aumento en el parámetro de luminosidad en frutas y vegetales tratados con ozono han sido reportados por diversos autores. Por ejemplo Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas (2013) reportaron aumentos en la luminosidad de lechuga tratada con ozono y atribuyeron dicho aumento al elevado poder oxidante que el ozono presenta, ya que ataca a los tejidos vegetales y genera daños en el color; mientras que Tiwari *et al.* (2009) reportaron un aumento en la luminosidad de jugo de manzana luego de ser tratado con ozono y Torres *et al.* (2011) señalaron un aumento en la luminosidad del jugo de manzana luego de ser tratada con ozono y asociaron este aclarado del color a la degradación de las antocianinas por su oxidación al interactuar con el ozono.

5.1.4.2 Croma

Respecto al parámetro de croma que representa la “pureza”, saturación o intensidad de color representado con valores que oscilan en el rango de 0 a 60 (Varastech *et al.*, 2012). Numéricamente los arilos tratados con la solución de plata coloidal (24) y luz UV-C por 40 min (23.2) tuvieron los mayores valores de croma siendo por tanto más puros en su color respecto al resto de tratamientos; mientras que los arilos de granada tratados con cloro mostraron menor intensidad de color (17.9) y fue en promedio 22% menor al presentado en el resto de muestras como se puede ver en la Figura 37.

Se debe recordar que el cloro es oxidante y por tanto pudo generar un efecto negativo inicial en el croma de las muestras sin embargo, a pesar de la diferencia numérica observada en los



valores de croma, no se tuvo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en este parámetro durante el tiempo de almacenamiento para las diversas muestras de arilos de granada, manteniéndose casi constante la intensidad del color durante los 20 días de refrigeración y se terminó con valores de croma en el rango de 20.9 a 23.7, por lo que se puede decir que los diversos tratamientos de desinfección aplicados a arilos de granada mínimamente procesada no ejercieron un efecto significativo negativo en la intensidad del color.

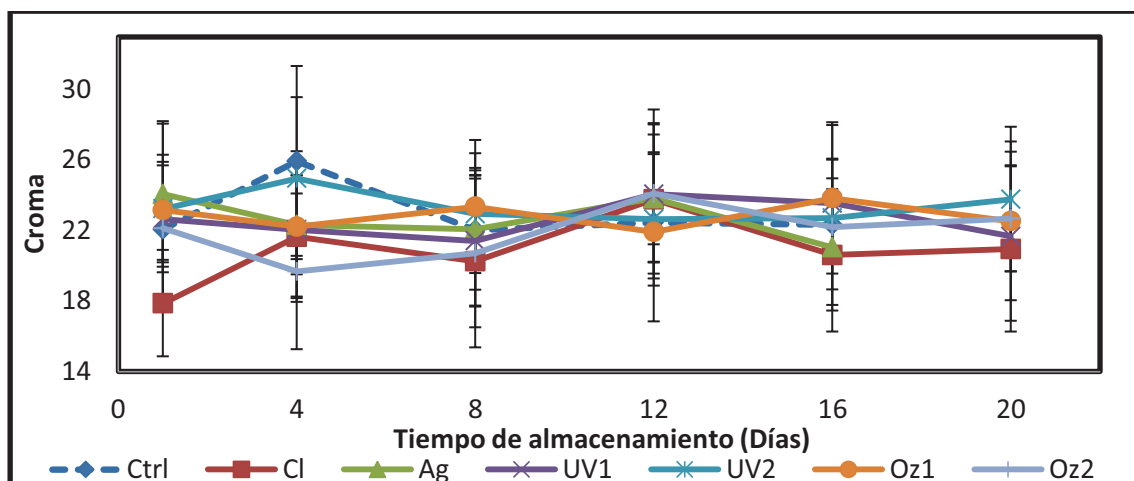


Figura 37. Efecto de diferentes desinfectantes en croma de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Cromas similares fueron reportados en jugo de granada fresca (11.2-34.1) por Zaouay *et al.* (2012) y por Varastech *et al.* (2012) en arilos tratados con quitosán (15.63-20.49), y fueron superiores a los obtenidos por Ozgen *et al.* (2008) en arilos de granada cultivadas en Turquía, lo que indicó una mayor intensidad en el color de los arilos de granada cultivadas en México.

5.1.4.3 Angulo Hue o tono

El valor del Hue es un ángulo en el círculo de color de 360° con 0°, 90°, 180° y 270° representando el rojo, amarillo, verde y azul, respectivamente. El valor Hue representa el verdadero color, matiz o tono el cual, es efectivo para visualizar la apariencia de los productos alimenticios (McGuire, 1992; Rocha Morais, 2003).

Referente a este atributo en los arilos de granada, los resultados se presentan en la Figura 38, los valores de tono que presentaron los arilos en el día 1 de almacenamiento se encontraron entre 11.5° y 20.1° Hue correspondiendo estos valores a los tonos rojos en el círculo cromático



contribuyendo a esta tonalidad las antocianinas presentes en los arilos. Los arilos con mayor °Hue en el día 1 de almacenamiento fueron los arilos tratados con la solución de plata coloidal (20.16°Hue) seguidos de los arilos tratados con ozono por 6min (19.6°Hue); mientras que las muestras desinfectadas con cloro presentaron el menor tono (11.5°Hue) en este mismo día.

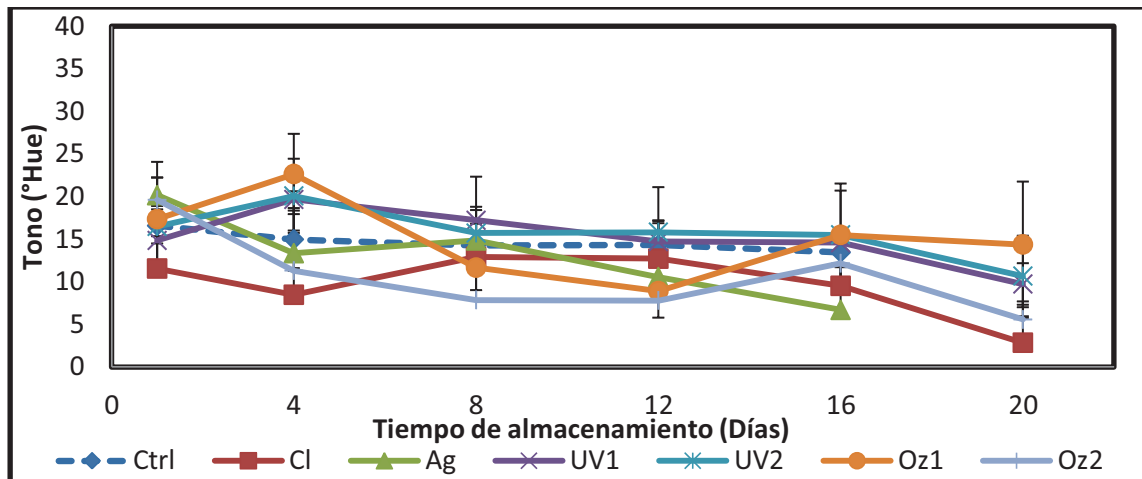


Figura 38. Efecto de diferentes desinfectantes en tono de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

El tono de los arilos presentó una tendencia descendente respecto a los días de almacenamiento y terminó con valores en promedio 45% menores a los que se obtuvieron en el día 1. Los arilos tratados con cloro presentaron el menor °Hue en el día 20; mientras que los arilos tratados con ozono por 3 min tuvieron una disminución en su tono de sólo 17% al final del almacenamiento.

Mediante el análisis estadístico, se encontró que no existió diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en el tono de los arilos evaluados bajo los distintos tratamientos de desinfección durante 16 días y fue hasta el día 20 que se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras desinfectadas con ozono por 3 min respecto a las tratadas con cloro.

Tonos similares a los obtenidos durante los primeros 16 días de almacenamiento fueron reportados por Varastech *et al.* (2012) para granada recubierta con quitosán en donde el ángulo °Hue se encontró en el intervalo de 6.8° a 18.5°hue y fueron inferiores a tonos reportados por Turfan *et al.* (2011) en jugo de granada fresca (42.3°hue). Éstas variaciones reportadas en la tonalidad puede deberse a la variedad del fruto, tipo de proceso y condiciones de almacenamiento de los frutos.



La disminución del °Hue indicó una variación del color hacia un rojo más violeta. Este comportamiento corresponde a un cambio en el color como consecuencia de la degradación de pigmentos y la pérdida de éstos durante la sanitización del producto pelado cortado, lo cual resulta en la ruptura de la célula y salida de los compuestos intracelulares (incluyendo los pigmentos) que se pierden en el agua de lavado o en el agua superficial que se pudo tener en exceso al no existir una adecuada centrifugación; también, el cambio en el tono de los arilos pudo deberse a la degradación de antocianinas monoméricas, la polimerización de estas y la subsecuente formación de colores pardos (Turfan *et al.*, 2011).

En la Tabla 20 se presentan algunas imágenes de los arilos de granada mínimamente procesada bajo los diversos tratamientos de desinfección y los cambios en el color de los arilos durante su periodo de almacenamiento.

Como se pueden observar, se presentó un cambio en la luminosidad y tono de los arilos, siendo la luminosidad mayor al final del almacenamiento, en tanto que el tono disminuyó; es decir, se terminó con un rojo más claro y tendiente a los blancos que el original.

Tabla 20. Seguimiento fotográfico del color de arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección respecto al tiempo de almacenamiento.


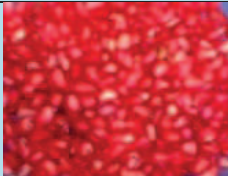
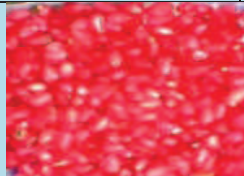













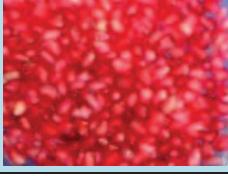
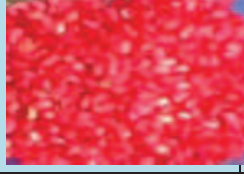
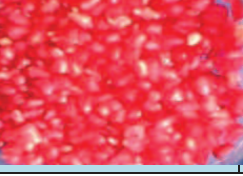

Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
control					
Cloro 70 ppm					
Plata coloidal 0.05%					
Ozono 3 min					



Tabla 20. Seguimiento fotográfico del color de arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección respecto al tiempo de almacenamiento (Continuación).

Tratamiento	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Ozono 6 min					
UV-C 30min					
UV-C 40 min					

Los cambios observados en el color de los arilos de granada puede ser atribuido al efecto de los diferentes desinfectantes y a la interacción de éstos con el tejido vegetal, pero además, a los efectos de las operaciones mecánicas llevadas a cabo durante la elaboración del producto mínimamente procesado, ya que como se sabe se genera el rompimiento de algunas células y la salida de compuestos intracelular (algunos líquidos que contribuyeron al aumento de la luminosidad, y salida de pigmentos que generó una disminución del tono), pero además el cambio observado en la coloración de todas las muestras puede ser también un efecto natural del proceso de senescencia de los arilos.

5.2 Parámetros químicos en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.

5.2.1 Contenido de antocianinas.

Las antocianinas son compuestos polifenólicos que pueden actuar como fitoquímicos antioxidantes con potenciales beneficios a la salud. El contenido de antocianinas es un importante parámetro de calidad de la granada y juega un papel importante en el color del fruto. Desafortunadamente las antocianinas son inestables y susceptibles a la degradación conduciendo a una pérdida del color y al pardeamiento durante el proceso de almacenamiento. Estos cambios de color afectan fuertemente el comportamiento del consumidor y generan la pérdida de comerciabilidad de los productos procesados de la granada (Turfan *et al.*, 2011).



El efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos de desinfección en el contenido de antocianinas totales en los arilos de granada mínimamente procesada durante los 20 días de almacenamiento se presenta en la Figura 39.

Los resultados revelan una considerable cantidad de antocianinas expresadas como mg de cianidin 3-glucósido por litro (mg Cy3g/L) en los arilos de granada estudiados. Se encontró en el día 1 de conservación un contenido de antocianinas totales en el rango de 33 a 60 mg Cy3g/L. Como se puede observar, al inicio del almacenamiento el contenido de antocianinas totales se vio afectado por el tipo de desinfectante utilizado. En el día 1, estadísticamente las muestras se clasificaron en 4 grupos diferentes.

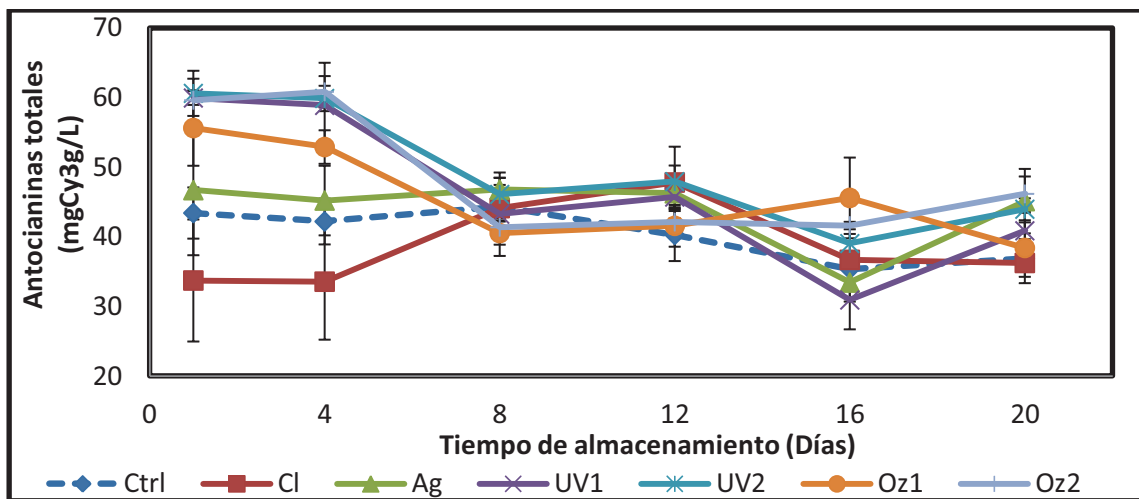


Figura 39. Efecto de diferentes desinfectantes en antocianinas totales de arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los arilos tratados con ozono por 3 y 6 min y los tratados con luz UV-C por 30 y 40 min tuvieron un contenido de antocianinas totales en promedio 35.7% mayor al contenido observado en los arilos control, los cuales tuvieron un valor 43.4 mg Cy3g/L. Los arilos tratados con plata coloidal presentaron un contenido de antocianinas 7.5% mayor respecto al control mientras que en las muestras desinfectadas con cloro el contenido de antocianinas totales fue 23.3% menor y se mantuvo este comportamiento hasta el cuarto día de almacenamiento.

Las variaciones en el contenido de antocianinas en las distintas muestras se deben al efecto de los diferentes desinfectantes sobre las antocianinas. La síntesis de antocianinas, de acuerdo a datos reportados, continúa en la fruta luego de ser cosechada y las bajas temperaturas y tratamientos poscosecha pueden afectar su biosíntesis, su degradación o ambos casos (Goncalves *et al.*, 2007; Holcroft y Kader, 1999).



En este sentido se tiene un efecto de los diferentes tratamientos de desinfección en la biosíntesis y degradación de antocianinas, produciendo a partir del estrés generado en la célula un aumento o un descenso en estas.

En el día 8 se presentó un descenso de 27.3% en este parámetro en los arilos tratados con luz UV-C y ozono. En los arilos tratados con plata coloidal y los arilos control el contenido de antocianinas se mantuvo casi constante; mientras que en los arilos tratados con cloro se dio un aumento del 30.8%, presentando las distintas muestras en general un contenido de antocianinas totales en el rango de 40.53 a 46.79 mg Cy3g/L con respecto al día 4. Estadísticamente existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las muestras tratadas con luz UV-C por 40 min respecto a los tratados con ozono por 3 min.

El descenso en el contenido de antocianinas en las distintas muestras puede atribuirse a diversos factores como son los cambios en el pH y acidez observado en las muestras lo que ocasionó una transformación estructural reversible de las antocianinas con el cambio de acidez y pH como lo señalo Cabrita *et al.* (2000), o a las condiciones de almacenamiento, a la propia naturaleza inestable de estos pigmentos, etc., esto fundamentado en lo reportado por Turfan *et al.* (2011); Tiwari *et al.* (2008) y Alighourchi *et al.* (2007) quienes mencionaron que las antocianinas son compuestos inestables, lábiles y muy susceptibles a la degradación bajo diferentes condiciones ambientales como lo son: luz, temperatura, pH, oxígeno, ácido ascórbico, la presencia de enzimas, etc.

Después del día 8 de almacenamiento no se presentaron cambios significativos en la cantidad de antocianinas totales y en el día 20 se registró un contenido de antocianinas menor al presentado en el día 1 con rangos de 36.25 a 47.17 mg Cy3g/L, siendo los arilos tratados con cloro los que tuvieron menor cantidad de antocianinas (36.25 mg Cy3g/L) que fue 16.5% menor respecto al contenido en los control en su día 1, en tanto que los tratados con ozono por 6 min presentaron el mayor contenido de antocianinas (46.17 mg Cy3g/L) y este fue 6.33% mayor al presentado por los arilos control en su día 1. De acuerdo al análisis estadístico los arilos tratados con cloro y ozono por 3 min y luz UV-C por 30 min no tuvieron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) respecto al control, mientras que el resto de muestras sí tuvieron diferencia estadística ($P \leq 0.05$).

De acuerdo a Medeni (2004) la concentración de antocianinas en el jugo de granada generalmente varía entre 10 y 700 mg Cy3g/L dependiendo del cultivar de granada así que los resultados obtenidos en este estudio entran dentro de este rango y además dentro del reportado (25-250 mg Cy3g/L) por Alighourchi *et al.* (2007) y por Pérez-Vicente *et al.* (2004) para variedades de granada cultivadas en Irán y para variedad Primosole (33.8 mg Cy3g/L)



respectivamente. Sin embargo, los niveles en el contenido de antocianinas obtenidos para las muestras aquí estudiadas fueron menores a los reportados en otras variedades como Wonderful (306 mg Cy3g/L) y Mollar (250 mg Cy3g/L), en jugo de granada tratada con luz UV-C (390.51-418.52 mg Cy3g/l), granada mínimamente procesada tratada con luz UV-C (178.63-197.35 mg Cy3g/l) y granadas de origen chileno (170-1342 mg Cy3g/l) (D'Aquino *et al.*, 2010; Gil *et al.*, 2000; López-Rubira *et al.*, 2005; Pala *et al.*, 2011; Sepulveda *et al.*, 2010).

Estas diferencias en el contenido de antocianinas en las diversas variedades de granada, representa que el sistema del alimento y la estabilidad relativa de las antocianinas es función de la matriz, estructura característica y la combinación de condiciones de proceso y almacenamiento además de las condiciones de cultivo, madurez, variedad, área de producción, etc. (Alighourchi *et al.*, 2007; Alighourchi *et al.*, 2008; Borochoy-Neori *et al.*, 2009;).

5.3 Parámetros microbiológicos en arilos de granada mínimamente procesada bajo distintos tratamientos de desinfección.

En los frutos mínimamente procesados se ha encontrado una amplia variedad de microorganismos como bacterias mesófilas, acidolácticas, coliformes, hongos y levaduras. Esta microflora depende enormemente del tipo de vegetal, condiciones ambientales, las condiciones bajo las cuales un vegetal en particular crece y luego de su cosecha dependerá de las condiciones de proceso y el manipuleo que se les dé (Francis *et al.*, 1999;; Nguyen y Carlin, 1994).

En este estudio, el análisis microbiológico (mesófilos totales, coliformes totales y mohos y levaduras) en los arilos de granada mínimamente procesada fue aplicado para evaluar la eficacia de diferentes desinfectantes en la reducción de la carga microbiana.

Los efectos de los 6 tratamientos de desinfección en el crecimiento microbiano generado en los arilos de granada mínimamente procesada se muestran en las Figuras 40, 41 y 42.

5.3.1 Recuento total coliformes

La Figura 40 muestra el efecto de los diferentes agentes desinfectantes en el conteo de células viables de bacterias coliformes como función del tiempo de almacenamiento.

Durante los primeros cuatro días de almacenamiento no se observó un efecto de los diferentes desinfectantes sobre el conteo de coliformes. De hecho los conteos iniciales (día 1) fueron de



10 UFC/g (1 log UFC/g) para todas las muestras y se continuó con esta tendencia hasta el día 4 de almacenamiento.

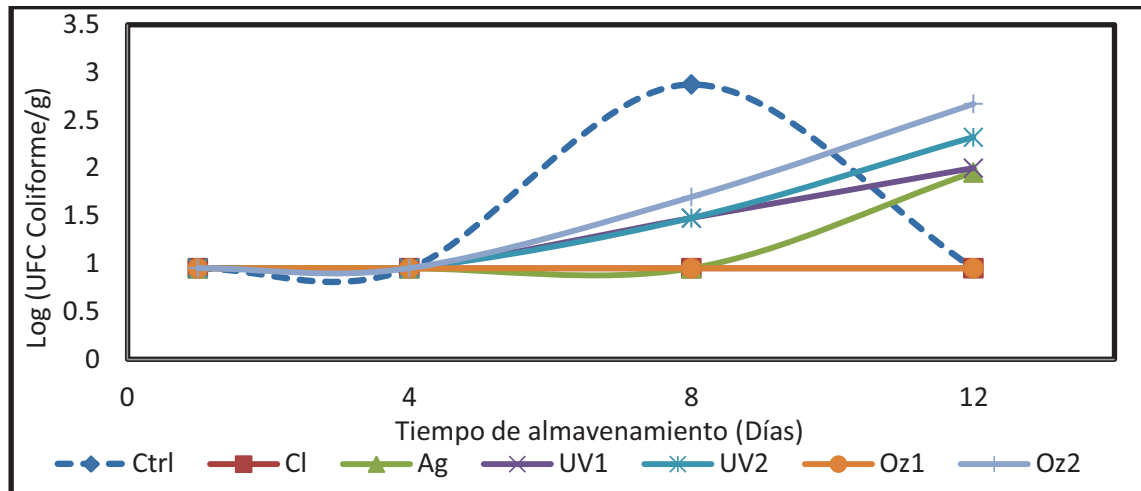


Figura 40. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de células viables de coliformes presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

El conteo inicial de microorganismos coliformes estuvo por debajo del límite de tolerancia (2 log UFC de coliformes totales /g) permitido por la legislación europea para productos mínimamente procesados en el día de su producción, lo cual indica que se trabajó bajo adecuadas condiciones de higiene.

El efecto de los diferentes desinfectantes sobre la carga microbiana de coliformes se pudo observar hasta el día 8 de almacenamiento, en donde se apreció que la fase lag del crecimiento microbiano fue más larga en los arilos que tuvieron un tratamiento de desinfección en comparación con los arilos control, los cuales, presentaron un máximo conteo de coliformes de 75×10^1 UFC/g (2.8 log ufc/g) en este día; mientras que en el resto de muestras el máximo conteo de coliformes se presentó solo en algunos casos hasta el día 12.

Los arilos de granada desinfectados con cloro, plata coloidal y ozono por 3 min presentaron en el día 8 el menor conteo de coliformes (10 UFC/g) seguidos de los arilos tratados con luz UV-C (3×10^1 UFC/g). En el día 12 de almacenamiento se presentó el máximo conteo de coliformes en las muestras sometidas a tratamiento de desinfección con luz UV-C (10 y 21×10^1 UFC/g), plata coloidal (9×10^1 UFC/g) y ozono por 6 min (47×10^1 UFC/g); en tanto que la desinfección de los arilos de granada con cloro y ozono por 3 min mantuvo significativamente baja la cuenta de coliformes totales que fue igual al obtenido en los días anteriores (10 UFC/g).



Los arilos de granada que presentaron mayor conteo de coliformes en el día 12 fueron los tratados con ozono por 6 min sin embargo, este conteo de coliformes fue 7.05% menor al máximo reportado en los arilos control.

A partir del día 12 todas las muestras de arilos presentaron olores de fermentación lo que indicó el fin de su vida útil y en el día 16 de almacenamiento las placas de agar presentaron un número de microorganismos incontable, por lo cual se suspendió el muestreo en el día 20.

El efecto de los diferentes desinfectantes en el crecimiento de coliformes totales se fundamenta en el poder de estos para generar daño en la estructura celular que impide la reproducción de los microorganismos o generan su muerte cuando se compromete una función vital de la célula (Alexandre *et al.*, 2012).

El conteo total de coliformes es considerado como un buen indicador de higiene y se determina en una gran cantidad de productos en la evaluación de diversos desinfectantes como los aquí estudiados. Diversos investigadores han reportado el efecto positivo de los desinfectantes evaluados en este estudio sobre la reducción de microorganismos coliformes en diversos productos. Por ejemplo: Beltran *et al.* (2005) estudiaron el efecto del ozono en la reducción de coliformes presentes en lechuga y encontraron que el ozono representa una buena alternativa para el control de estos microorganismos concordando con Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas (2013) los cuales observaron una reducción en el conteo de coliformes de zanahorias tratadas con ozono y mencionaron que la eficacia del ozono se debe a que genera oxidaciones en los lípidos de la célula, que actúa sobre los lípidos insaturados de la membrana celular y en los lipopolisacáridos de la capa de las bacterias gram negativas, enzimas y material genético, promoviendo la muerte de los microorganismos. Por su parte Gil *et al.* (1996) al comparar el efecto de diversos ácidos orgánicos con cloro, concluyeron que el cloro fue más efectivo en la reducción de coliformes en arilos de granada mínimamente procesada.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que los tratamientos de desinfección con cloro y ozono por 3min representan una buena alternativa para el control de microorganismos coliformes ya que mantuvieron los conteos más bajos de estos microorganismos durante todo el periodo de almacenamiento.

5.3.2 Recuento total de mesófilos

Los resultados respecto al efecto de los diferentes tratamientos de desinfección en el conteo de mesófilos presentes en los arilos de granada mínimamente procesada se presentan en la Figura 41.

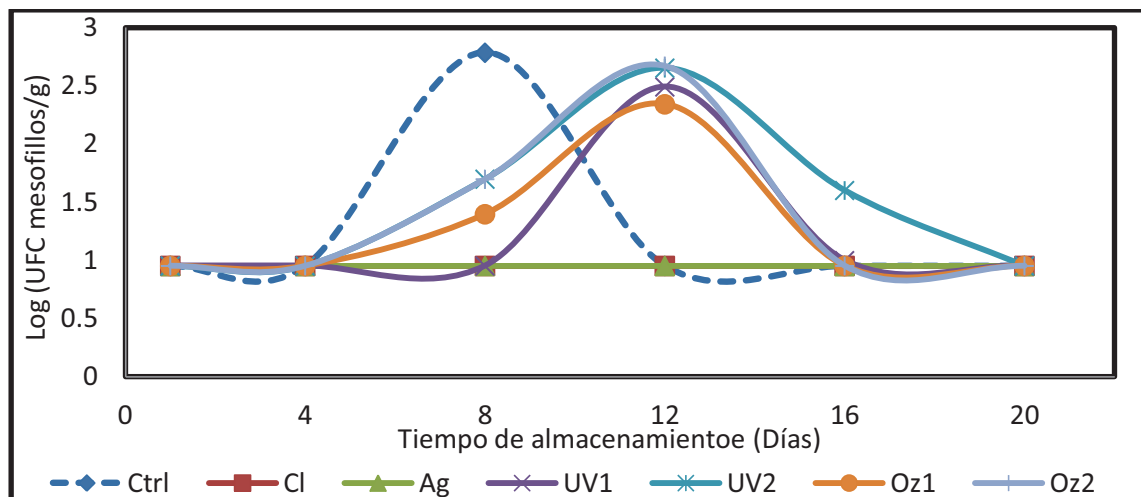


Figura 41. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de células de bacterias mesófilas presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Al igual que en el conteo de coliformes se observó el efecto de los tratamientos de desinfección ahora en el conteo de mesófilos se visualizó hasta el día 8 de almacenamiento con un efecto similar de alargamiento de la fase lag del crecimiento microbiano; en tanto que en los arilos control la fase lag fue más corta y por tanto el máximo conteo de mesófilos se presentó en el día 8 de almacenamiento con conteos de hasta $2.78 \log \text{ UFC/g}$ ($61 \times 10^1 \text{ UFC/g}$). Los arilos tratados con plata coloidal, cloro y luz UV-C presentaron en este día el menor conteo de mesófilos (10 UFC/g) seguido de los arilos tratados con ozono por 3 min ($2.5 \times 10^1 \text{ UFC/g}$) y los tratados con luz UV-C por 40min y ozono por 6min ($5 \times 10^1 \text{ UFC/g}$) y fueron los conteos en promedio 54.2 % menores a los observados en los arilos control.

En el día 12 de almacenamiento los arilos tratados con cloro y plata continuaron con los menores conteos de bacterias mesófilas (10 UFC/g); mientras el resto de muestras presentó su etapa de máximo crecimiento microbiano. Los arilos tratados con ozono por 3min, los tratados con luz UV-C por 30 y 40 min y los tratados con ozono por 6 min presentaron conteos de 22, 31, 45 y $47 \times 10^1 \text{ UFC/g}$ respectivamente, siendo los arilos tratados con ozono por 6min los que tuvieron mayor cantidad de mesófilos.

Para el día 16 se presentó un descenso en la carga de microorganismos mesófilos y fueron los arilos tratados con luz UV-C por 40min los que presentaron mayor conteo de mesófilos ($1.7 \log \text{ UFC/g}$); mientras que en el día 20 de almacenamiento todas las muestras terminaron con conteos similares a los observados en el día 1 de almacenamiento (10 UFC/g).

La disminución de los microorganismos mesófilos observada a partir del día 16 se debió a los cambios en las condiciones ambientales óptimas de crecimiento para estos microorganismos



como lo fue la disminución del pH y el efecto de la temperatura de almacenamiento de 4°C que no es la óptima para su crecimiento.

Numerosos autores han evaluado el efecto de los diferentes desinfectantes aquí estudiados sobre los microorganismos mesófilos. Por ejemplo, López-Rubira *et al.* (2005) y Hernández *et al.* (2010) reportaron que la luz UV-C redujo el conteo de microorganismos mesófilos durante el inicio del almacenamiento de arilos de granada y rebanadas de sandía, respectivamente. También señalaron que el tratamiento con luz UV-C representa una buena alternativa al agua clorada, concordando con los resultados aquí obtenidos. Otros autores como Erkan *et al.* (2001), Allende y Artés 2003, Barka *et al.* (2000) y Vicente *et al.* (2004) han reportado un efecto positivo de la radiación UV-C para reducir el crecimiento microbiano, esto sustentado en la capacidad de la radiación UV-C de ocasionar daños en diferentes magnitudes en el ADN celular, afectando la viabilidad de las células microbianas (Bintsis *et al.*, 2000).

Por otra parte, Baur *et al.* (2004) evaluaron cloro, ozono y agua como tratamientos de desinfección en lechuga y encontraron que la desinfección con cloro mostró mayor efectividad en la reducción del conteo de microorganismos mesófilos coincidiendo con los resultados aquí obtenidos; además, señalaron que las muestras tratadas con ozono tuvieron conteos más bajos de mesófilos comparado con la lechuga lavada solo con agua. Otros autores como Selma *et al.* (2008) reportaron un efecto benéfico en la reducción del conteo de mesófilos en melón Cantaloupe tratado con ozono al igual que Wei *et al.* (2007) quienes observaron una disminución de mesófilos en fresas tratadas con ozono.

Respecto al efecto de la plata coloidal, Gopal *et al.* (2010) compararon los tratamientos con cloro y plata en lechuga mínimamente procesada y reportaron que la desinfección con el agua que contenía plata fue más efectiva que la desinfección con agua clorada. De acuerdo con esto y con los resultados obtenidos se puede decir que los tratamientos con cloro, ozono por 3min, luz UV-C por 30 min y plata coloidal fueron más efectivos en la reducción de microorganismos mesófilos. Sin embargo, al observarse que en el día 8 de almacenamiento los arilos tratados con plata presentaban olores de fermentación, se descartó este agente como tratamiento alternativo en la desinfección de arilos de granada.

Los resultados obtenidos en este estudio en cuanto al conteo de bacterias mesófilas se encontraron dentro de los límites de tolerancia permitido por las normas de calidad europeas para productos mínimamente procesados en el día 1 de producción de 4.7 log UFC/g para mesófilos, y luego de 20 días de almacenamiento no se sobrepasaron los límites máximos de 7 log UFC/g para bacterias aerobias establecido por la legislación europea BOE (2001) (Erturk y Picha, 2005; Legnani y Leoni, 2004).



5.3.3 Recuento total de mohos y levaduras

Las levaduras son contaminantes comunes de las frutas y representan uno de los mayores problemas para la industria de las frutas procesadas, por la habilidad de crecer a bajos pH y altas concentraciones de azúcar (Restuccia *et al.*, 2006).

Los datos presentados en la Figura 42 indican el crecimiento de levaduras en las muestras de arilos de granada mínimamente procesada respecto a los días de almacenamiento. Como se puede observar el contenido inicial de levaduras en los arilos de granada mínimamente procesada fue de 2.2 a 3.9 log UFC/g estando en el rango reportado por una gran cantidad de frutas y vegetales mínimamente procesados (Nguyen y Calin, 1994).

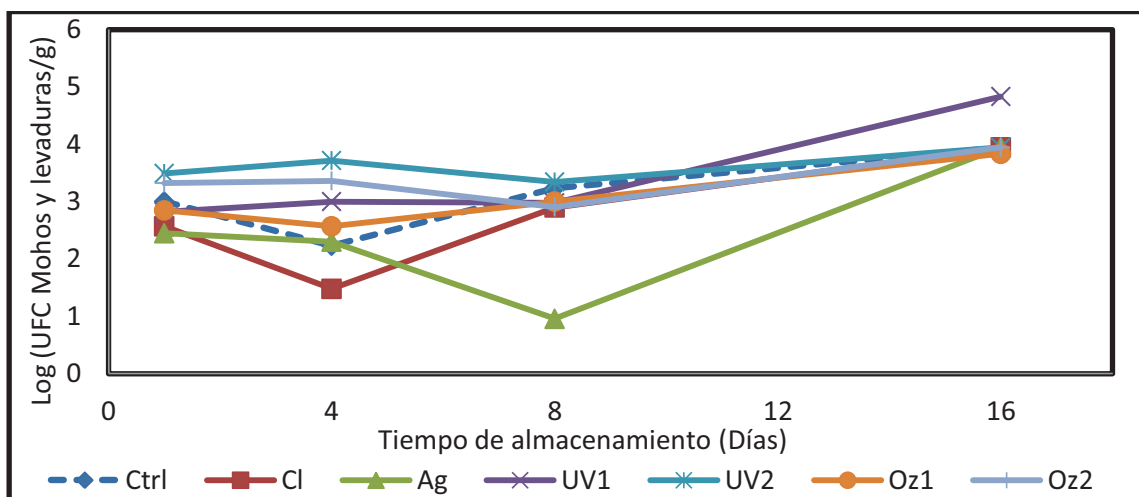


Figura 42. Efecto de diferentes desinfectantes en conteo de mohos y levaduras presentes en arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 20 días. Ctrl: Control, Cl: Cloro 70ppm, Ag: Plata coloidal al 0.05%, UV1: Luz UV-C 30min, UV2: Luz UV-C 40min, Oz1: Ozono 3min, Oz2: Ozono 6min. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los arilos de granada que presentaron menor conteo de levaduras en el día 1 de almacenamiento fueron los tratados con plata coloidal y cloro con conteos de 28 y 37×10^1 UFC/g (2.44 y 2.56 log UFC/g) respectivamente, mientras que los arilos tratados con luz UV-C por 40 min presentaron el mayor crecimiento con 31×10^2 UFC/g (3.39 log UFC/g). En los días subsiguientes se observó que las levaduras crecieron muy marcadamente alcanzando en el día 16 conteos de entre 68×10^2 a 68×10^3 UFC/g (3.8 a 4.8 log UFC/g) que fueron en promedio 39% mayores a los obtenidos en el día 1 de almacenamiento y fueron los arilos tratados con radiación UV-C los que presentaron mayor conteo, mientras que para el día 20 el número de mohos y levaduras ya resultó incontable.



El marcado crecimiento de levaduras se pudo deber a que las levaduras encontraron condiciones óptimas de humedad, pH y nutrientes para su crecimiento; pero a pesar del marcado crecimiento, se ha de hacer notar que el contenido de levaduras en los arilos de granada durante todo su tiempo de almacenamiento estuvo por debajo de los valores límites de 5 Log UFC/g recomendados por Debevere (1996) y la legislación europea (BOE 2001) contrastando con los resultados reportados por López-Rubira *et al.* (2005) quienes mencionaron que para los días 6-8 de almacenamiento de arilos de granada tratadas con luz UV-C ya se excedían el límite de levaduras recomendado; además mencionaron que el tratamiento con luz UV-C no afectó el crecimiento de levaduras. También se hace notar que el tratamiento con cloro fue más efectivo en la reducción de levaduras durante los primeros 8 días de almacenamiento.

Como se puede apreciar de acuerdo con los resultados microbiológicos, la efectividad de los diferentes métodos y tecnologías de desinfección depende de la sensibilidad microbiana al agente desinfectante y a la concentración y/o tiempos de exposición. Pero además, es importante considerar que parte importante de la eficacia de un desinfectante en diversas frutas y vegetales está condicionada por la composición de la superficie del alimento, la accesibilidad al alimento por parte del microorganismo y el grado de asociación del microorganismo con el alimento, y es por eso que variables resultados en cuanto a la efectividad de los desinfectantes son comúnmente reportados por los investigadores (Alexandre *et al.*, 2012).

Se puede concluir que los diferentes tratamientos de desinfección evaluados en los arilos de granada tuvieron un efecto sobre la carga microbiana. Este efecto está respaldado por numerosos estudios donde se reporta que el cloro, luz UV-C, ozono y plata poseen actividad antimicrobiana debida a su efecto sobre numerosos constituyentes celulares (Miller *et al.*, 2003). Y basados en los resultados microbiológicos, químicos y de calidad obtenidos y observándose que el crecimiento microbiano estuvo por debajo de los límites de crecimiento establecidos por la legislación europea, se podría decir que en este caso el crecimiento microbiano no es el limitante de la vida útil en el producto estudiado, sin embargo, sí llega a marcar el fin de la vida útil del producto cuando impacta de manera negativa algunos parámetros de calidad (como son el pH y acidez). Por tanto se puede decir que la vida útil de los arilos de granada mínimamente procesada fue de alrededor de 6 días para los arilos tratados con plata coloidal y de 10 días para los arilos tratados con cloro y ozono por 3min, siendo esta vida útil superior a los 7 días reportados por Gil *et al.* (1996) para semillas de granada variedad Mollar almacenadas a 1°C y concuerda con los 10 días de vida útil señalados por López-Rubira *et al.* (2005) para arilos de granada mínimamente procesada tratados con luz UV-C.



En cuanto a parámetros microbiológicos y de calidad, se determinó el uso de cloro y ozono por 3 min como tratamientos de desinfección para la siguiente etapa de experimentación, ya que probaron efectividad al reducir la carga microbiana preservando por mayor tiempo las cualidades del producto.

5.4 Parámetros de calidad en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.

5.4.1 Acidez titulable

Al analizar la evolución de la acidez en los arilos de granada mínimamente procesada se determinó que en general para todas las muestras bajo las diferentes películas de envasado y los dos tratamientos de desinfección hubo un ligero aumento desde valores próximos de 0.019 y 0.024% a valores entre 0.023 a 0.03% de ácido cítrico (Figura 43).

En el día 1 de almacenamiento, las muestras desinfectadas con cloro tuvieron valores de acidez de 0.019% de ácido cítrico para los arilos empacados en la película coextruida (PCE) y de poliestireno (PS) y fue de 0.023% de ácido cítrico para los arilos empacados en polietileno tereftalato (PETE) (Figura 43a).

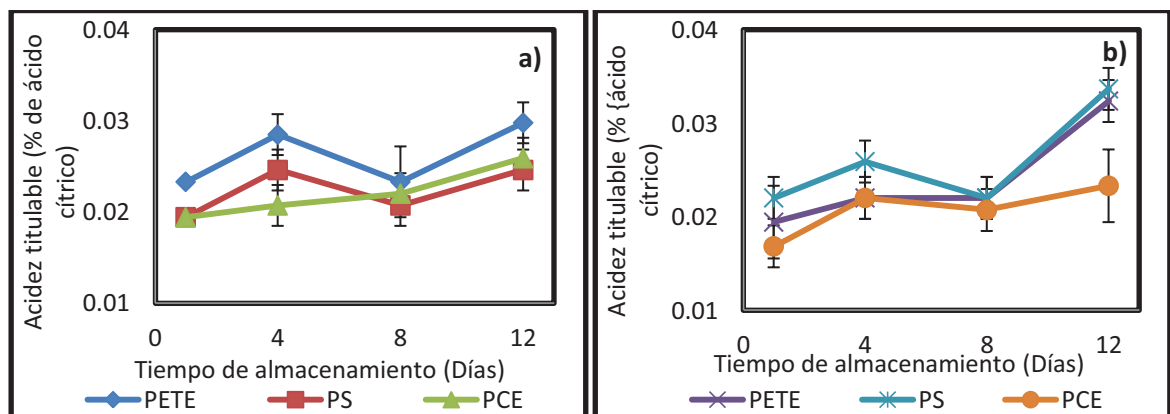


Figura 43. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en la acidez titulable de arilos de granada mínimamente procesada almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los arilos desinfectados con ozono tuvieron valores de 0.016, 0.019 y 0.022 % de ácido cítrico para las muestras envasadas en la película coextruida, PETE y PS, respectivamente (Figura 43b). Para este día los arilos tratados con ozono y colocados en la película coextruida tuvieron



la menor acidez (0.016% de ácido cítrico) y los arilos tratados con cloro y colocados en la película de PETE tuvieron la mayor acidez (0.023% de ácido cítrico).

En el día 12 de almacenamiento se observó un aumento en la acidez titulable en los arilos de granada desinfectados con cloro de 27, 28 y 33% respecto al día 1 de almacenamiento en las muestras envasadas en películas de PS, PETE y PCE respectivamente; en tanto que en los arilos desinfectados con ozono el aumento de acidez fue mayor al presentado en los arilos tratados con cloro; dicho aumento fue de 38, 53 y 67% para las muestras colocadas en envases de PCE, PS y PETE, respectivamente.

Los arilos tratados con ozono y envasados en las tarrinas de PETE tuvieron el mayor cambio en la acidez titulable al final del almacenamiento (de 0.019 a 0.032% de ácido cítrico) en tanto que los arilos tratados con cloro y envasados en PS tuvieron el menor cambio (de 0.019 a 0.025% de ácido cítrico) seguidas de las muestras tratadas con cloro y envasadas en película de PETE (de 0.023 a 0.03% de ácido cítrico)

Aunque se observó diferencia numérica, estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) provocada por los empaques, los desinfectantes ni por la interacción empaquedesinfectante durante todo el periodo de almacenamiento.

Un incremento de la acidez titulable en varios vegetales mínimamente procesados ha sido reportado por diversos autores concordando con los resultados aquí obtenidos y se le han dado diversas explicaciones a dicho aumento: Teixeira *et al.* (2007) estudiaron el efecto de diferentes materiales de empaque en los parámetros de calidad de carambola y observaron un aumento en la acidez titulable durante el período de almacenamiento, y atribuyeron dicho aumento al crecimiento microbiano y a la consecuente formación de ácido láctico y acético.

Mercado *et al.* (2011) y Palma *et al.* (2009) también reportaron un aumento en la acidez arilos de granada mínimamente procesada; ellos atribuyeron dicho aumento en la solubilización de CO_2 en el tejido y dicha solubilización generaba el aumento en la acidez titulable.

Vargas *et al.* (2010) reportaron un aumento de acidez en rebanadas de pitahaya almacenadas en polipropileno a 4°C y mencionaron que el incremento de la acidez titulable podría indicar una desviación en el metabolismo de las rebanadas, pasando a la vía fermentativa con la formación de acetaldehído, etanol, y ácido láctico debidas a las altas concentraciones de CO_2 y bajas de O_2 que se alcanzaron en la atmósfera del empaque.

Soliva-Furtuny y Martín-Belloso (2003) señalaron también que la disolución de CO_2 en la célula realza la acidez de ésta y que altas concentraciones de CO_2 pueden inhibir algunas enzimas del ciclo de Krebs incluyendo la succinato deshidrogenasa, la cual podría disparar la respiración anaerobia o generar la acumulación de ácido succínico.



Burgheimer *et al.* (1967) citado por Piagentini (1999) sugirieron también que la composición de la atmósfera de almacenamiento podría causar una alteración en el metabolismo de los vegetales, modificando probablemente la composición de los ácidos orgánicos presentes. Por ejemplo, se observó que en duraznos almacenados en atmósfera controlada a 1°C, se acumulaba ácido succínico, mientras los ácidos málicos y cítricos disminuían gradualmente durante el almacenamiento y Artés (2000) mencionó que una de las ventajas del almacenamiento en atmósfera modificada con bajas concentraciones de O₂ y altas de CO₂, es la de disminuir la velocidad de transformación de los ácidos orgánicos en las frutas. La atmósfera modificada genera una disminución en la actividad fisiológica al disminuir la respiración ocasionando una baja utilización de ácidos orgánicos en el ciclo de Krebs.

Por lo antes mencionado podemos decir que el aumento en la acidez titulable de los arilos de granada mínimamente procesada bajo las diferentes condiciones de envasado pudo haberse dado por el crecimiento microbiológico observado en las muestras aquí estudiadas y a las modificaciones de las concentraciones de CO₂ y O₂ en el espacio de cabeza de los empaques.

Los arilos de granada mínimamente procesados bajo los diferentes tratamientos de desinfección y empacados presentaron niveles de acidez notablemente menores a los reportados por Kulkarni y Mallikarjuna. (2004), Tehranifar *et al.* (2010) y Melgarejo *et al.* (2000) pero fueron similares a los reportados por Poyrazoglu *et al.* (2002) y Mercado *et al.* (2011).

Aunque la acidez titulable de las muestras aumentó durante el periodo de almacenamiento en general, se mantuvo en rangos de 0.016 a 0.032% de ácido cítrico y fueron los arilos tratados con cloro y envasado en películas de PS y PETE los que presentaron menor cambio en la acidez respecto al día 1 de almacenamiento y debido a los bajos valores de acidez los arilos de granada se podrían clasificar como muy dulces.

5.4.2 pH

El pH de los arilos de granada desinfectados con cloro y los desinfectados con ozono bajo los distintos empaques, se mantuvo casi constante durante todo el período de almacenamiento. Las muestras iniciaron con valores en el rango de 3.3 a 3.5 y terminaron con valores de entre 3.3 y 3.8 unidades de pH (Figura 44).

En el día 1 el pH de los arilos de granada desinfectados con cloro fue de 3.40, 3.43 y 3.46 para las muestras empacadas en la película coextruida (PCE), en la película de poliestireno (PS) y en la película de polietileno tereftalato (PETE) respectivamente (Figura 44a); mientras que los arilos tratados con ozono tuvieron en este día valores de 3.5 en las muestras empacadas en la



película coextruida y la película de PETE y fue de 3.36 para las muestras envasadas en PS (Figura 44b). Los arilos de granada desinfectados con ozono y envasados en película de PS presentaron el menor valor de pH en el día 1 de almacenamiento.

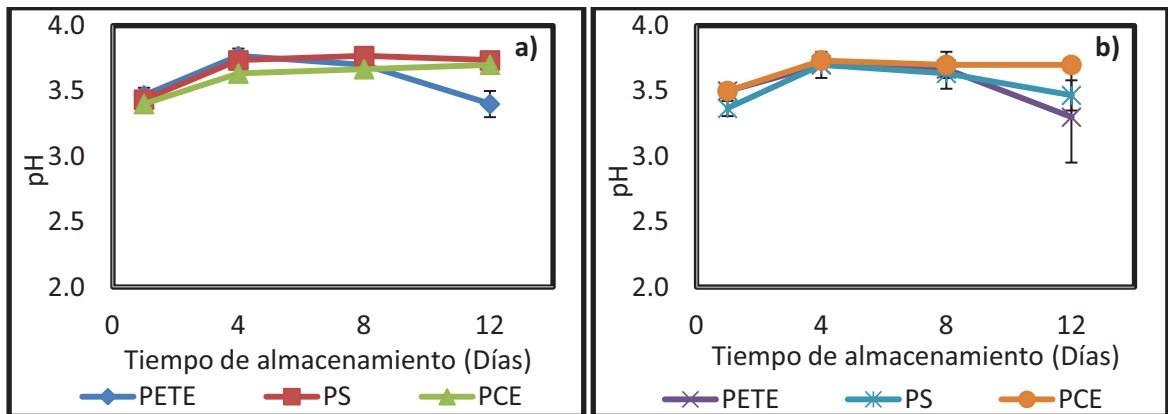


Figura 44. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el pH de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

El pH inicial en todas las muestras fue aumentando lentamente (alrededor del 8%) durante los primeros 4 días de almacenamiento alcanzando valores de entre 3.6 a 3.8 y se mantuvo casi constante hasta el día 12 en los arilos envasados en la película coextruida bajo los dos tratamientos de desinfección y en los envasados con PS y tratados con cloro, en tanto que en el resto de tratamientos se presentó una ligera disminución en este parámetro que fue de alrededor del 6% respecto al resto de tratamientos y llegó a valores mínimos de pH de 3.3; dicha disminución fue alrededor del 8 y 2% respecto al día 8 y 1 de almacenamiento respectivamente, por lo que se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los valores de pH de las muestras en el día 1 y 12 de almacenamiento.

Para el día 1 la diferencia fue generada por el efecto de la interacción empaquexdesinfectante y por las condiciones envasado. La diferencia observada se presentó entre las películas de PETE y las de PS, en tanto que las muestras colocadas en la película coextruida no presentaron diferencia significativa respecto al resto de muestras. El tipo de agente desinfectante no ejerció estadísticamente un efecto significativo ($P > 0.05$) en los valores de pH de los arilos; y en el día 12 la diferencia estadística se dio entre las muestras empacadas en PETE con las empacadas en PS y la PCE.

El aumento en el pH de las muestras respecto al tiempo de almacenamiento pudo deberse a los cambios en la concentración de CO_2 en el espacio de cabeza de los envases. Uno de los mecanismos a través del cual podría actuar el CO_2 , sería por acidificación de las células y por lo



tanto se generaría un aumento en la acidez. Sin embargo, contrariamente a lo esperado, el pH de los arilos de granada envasada en las películas coextruidas y PS fue mayor al de las muestras envasadas en PETE, donde la concentración de CO₂ fue menor.

Resultados similares fueron reportados por Rojas *et al.* (2008) quienes observaron un ligero incremento en el pH de rebanadas de sandía conservadas en atmósfera modificada de 5.12 a 5.66 al inicio del tratamiento, para después descender al séptimo día de almacenamiento hasta valores de 5.26 alcanzando valores similares a los del inicio al final del almacenamiento. Beaulieu y Lea (2003) registraron variaciones de pH de 3.0 a 3.7 en rebanadas de mango almacenadas en atmósfera modificada.

Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010) observaron un aumento en el pH de nopal mínimamente procesado conservado en atmósfera modificada y almacenado a 5°C de 4.3 a 4.7 unidades de pH; Salgado *et al.* (2005) reportaron un incremento de pH de 3.6 a 4.5 en híbridos de tomate, independientemente del material de empaque; Lucera *et al.* (2010) reportaron un aumento de pH en *Cucurbita pepo* mínimamente procesado conservado en diferentes sistemas de empaque y atribuyeron dicho cambio al aumento de CO₂ en el espacio de cabeza de los empaques; Piagentini (1999) reportó a su vez un aumento mayor en el pH de espinaca mínimamente procesada conservada en la atmósfera modificada con mayor contenido de CO₂ y Pantastico (1979) reportó que, para espárragos y brócoli almacenados a altas concentraciones de CO₂ y bajas de O₂, el pH aumentaba progresivamente con el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera (concordando con los resultados aquí obtenidos) y paralelamente observó una disminución en la acidez titulable.

A pesar de los cambios en el parámetro de pH, se puede decir que el envasado en atmósfera modificada contribuyó a mantener este parámetro ya que los cambios generados de pH al final del almacenamiento fueron menores al 10% respecto a su día 1 y el pH de las muestras siempre estuvo dentro de los rangos señalados Akbarpour *et al.* (2009) quienes reportaron el pH de granada fresca en rangos de entre 2.75-4.14 y Tehranifar *et al.* (2010) reportaron valores en el intervalo de 3.1 a 4.9 también en granada fresca.

5.4.3 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) expresados como °Brix representan el grado del dulzor de la fruta por la presencia de azúcares (Kader, 2003; Rojas, 2005).

Para este estudio los valores de sólidos solubles totales de los arilos de granada bajo los distintos tratamientos de desinfección y empaque se mantuvieron casi constantes durante todo



el periodo de almacenamiento con una ligera tendencia descendente y con valores de SST que oscilaron entre 13 y 16°Brix (Figura 45).

Los valores de SST encontrados en este estudio entraron en los rangos reportados por Fadavi *et al.* (2005) quienes observaron valores en rangos de 10 a 16.5°Brix y concuerdan también con los resultados obtenidos por Martínez *et al.* (2006) de entre 12 a 16°Brix en arilos de granada; pero fueron inferiores a los reportados por Gil *et al.* (1996) en arilos de granada bajo diferentes tratamientos de lavado, envasado y temperatura (17 a 24°Brix).

En general se observó que el contenido de sólidos solubles aumentó durante los 4 primeros días de almacenamiento tanto para las muestras tratadas con cloro como para las tratadas con ozono.

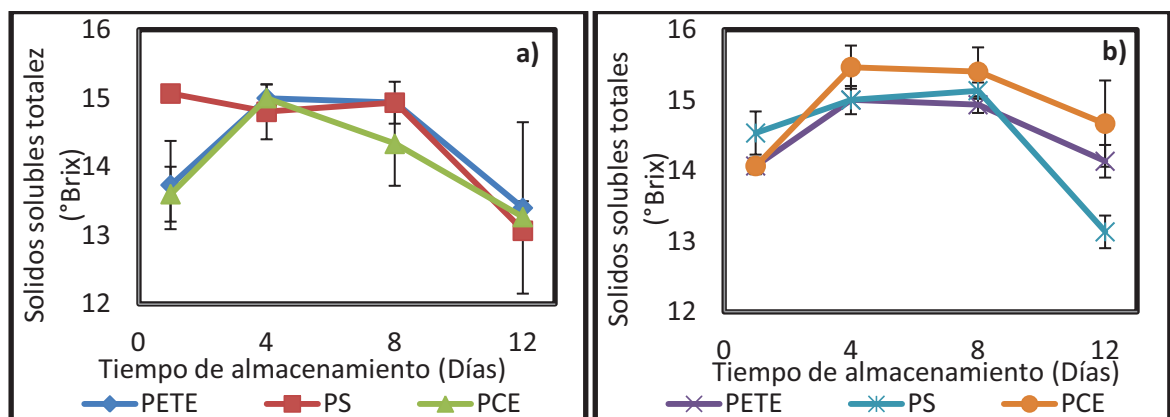


Figura 45. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en los sólidos solubles totales de arilos de granada minimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los arilos de granada tratados con cloro y envasados en los tres diferentes empaques presentaron en su día 1 de almacenamiento valores de sólidos solubles en el rango de 13 a 16°Brix, siendo los arilos empacados en película de poliestireno (PS) los que presentaron mayor contenido de SST (15.06°Brix), en tanto que el menor contenido se observó en los arilos envasados en película coextruida (PCE) (13.6°Brix) (Figura 45a). Las muestras antes mencionadas presentaron el mayor y el menor contenido de sólidos solubles totales en el día 1 aun siendo comparadas con las muestras tratadas con ozono (Figura 45b).

Las muestras tratadas con ozono y bajo las diferentes películas de envasado iniciaron con valores de SST de entre 14 y 15°Brix.

Durante los primeros 4 días de almacenamiento se presentó un 8% de aumento en el contenido de SST en todas las muestras exceptuando las tratadas con cloro y envasadas en vasos de poliestireno, las cuales presentaron un descenso menor al 2% y llegaron a valores de SST de



entre 14 a 16 °Brix; estos valores permanecieron casi constantes hasta el día 8 y a partir de este día se presentó un descenso en promedio del 9% respecto al día 8.

Los arilos tratados con cloro y envasados en vasos de poliestireno presentaron el menor contenido de SST (13.06°Brix) al final del almacenamiento; en tanto que los arilos tratados con ozono y envasados en PCE presentaron el mayor valor (14.6°Brix).

Al final del almacenamiento (Día 12) los arilos tratados con ozono y almacenados en tarrinas de polietileno tereftalato (PETE) presentaron el menor cambio en el contenido de SST respecto a su día 1 de almacenamiento, dicho cambio fue menor al 1% y los arilos almacenados en la película de PS presentaron los mayores cambios en el contenido de sólidos solubles totales con descensos de 13.2 y 9.6% para los arilos tratados con cloro y ozono, respectivamente.

De acuerdo al análisis estadístico no se presentó diferencia significativa ($P \geq 0.05$) debida al tipo de empaque, tipo de desinfectante ni por la interacción empaque desinfectante.

El ligero descenso en el contenido de SST puede ser atribuido a que la granada es una fruta no climatérica y al no tener almidón u otros carbohidratos que le provean energía utiliza sus azúcares y ácidos en la respiración, lo que conlleva a una disminución de sus sólidos solubles totales. La ligera disminución en el contenido de sólidos solubles totales apreciada en este estudio, concuerda con la disminución reportada en otras frutas; Khoshid *et al.* (2011) reportaron un descenso en los sólidos solubles totales de cerezas conservadas en atmósfera modificada y lo atribuyeron a la utilización de azúcares en la respiración de la fruta y a su vez Rojas (2005) reportó una disminución de sólidos solubles totales en rebanadas de sandía y lo atribuyó al mismo motivo. También el cambio en este parámetro puede ser relacionado con el avance de la senescencia del tejido como lo menciono García y Praderas. (2010) al estudiar fresas mínimamente procesadas envasadas y tratadas con calcio.

Estudios realizados en frutas cortadas muestran un efecto positivo del empleo de atmósferas modificadas en los azúcares. En este estudio el cambio en los sólidos solubles totales fue menor al 15% y por tanto se puede decir que el contenido de SST en sentido general a medida que avanzó el tiempo de vida de anaquel en los arilos de granada mínimamente procesada disminuyó ligeramente en todos los tratamientos, indicando de esta manera que el empleo de atmósferas modificadas en los arilos de granada tiene un efecto significativo en la conservación de los SST, debido a que retrasa los principales procesos de respiración donde son utilizados como sustratos.



5.4.4 Color

El efecto de los tratamientos de desinfección y de empackado sobre el color de los arilos de granada se presenta en la figura 46, 47 y 48.

5.4.4.1 Luminosidad.

En el día 1 de almacenamiento las muestras tratadas con cloro presentaron luminosidades de entre 19 a 23 (Figura 46a). La mayor luminosidad la tuvieron los arilos empackados en la PCE y la menor los colocados en película de PS (19.2). Para el día 4 se presentó un descenso del 8 y 5% en la luminosidad de las muestras empackadas en película de PETE y PCE respectivamente, pero en las de PS se presentó un aumento de alrededor del 26%; Mientras que en el día 8 la luminosidad fue de 17.7, 22.7 y 25 para los empaques de PETE, PS y PCE respectivamente y se terminó en el día 12 con luminosidades de entre 22 a 25.

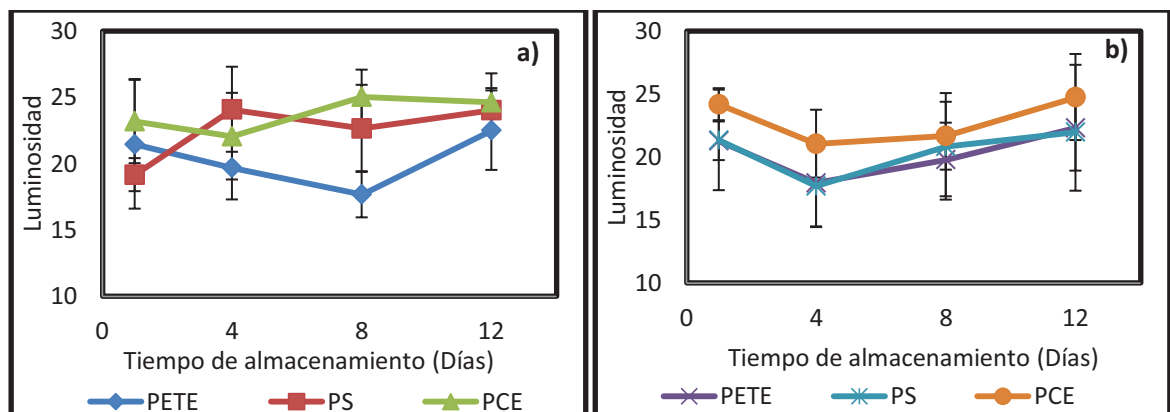


Figura 46. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en luminosidad de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Para las muestras tratadas con ozono, en el día 1 de almacenamiento su luminosidad fue muy similar a la de las muestras tratadas con cloro y se observó la misma tendencia donde la mayor luminosidad se dio en los empaques de PCE (24.2) y la menos en las películas de PS (21.3) (Figura 46b).

Estadísticamente no se presentó un efecto significativo ($P \geq 0.05$) del tipo de empaque, desinfectante ni de la interacción empaquexdesinfectantes sobre este atributo en el día 1 de almacenamiento.



En el día 4 se dio un descenso en la luminosidad de las muestras. Dicho descenso fue del 13, 16 y 17% en los empaques de película coextruida, PETE y PS respectivamente y en el día 8 y 12 se observó un aumento en la luminosidad de las muestras que terminó en el día 12 con un aumento en promedio del 3% respecto al día 1 de almacenamiento y de acuerdo al análisis estadístico se presentó un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre la luminosidad de las muestras en el día 4 y 8. En el día 4 el efecto lo marcó el tipo de desinfectante y en el 8 la interacción empaquexdesinfectante.

El atributo de color de luminosidad terminó con cambios menores al 10% al final del periodo de almacenamiento por lo que se puede decir que el tipo de desinfectante y material de empaque y la atmósfera generada a partir de este no afectó el valor de luminosidad en los arilos; sólo en la muestras tratadas con cloro y empacadas con películas de PS tuvieron cambios de alrededor del 25%.

Numerosos autores han estudiado el efecto de diversas películas de empaque sobre los parámetros de calidad de gran número de productos: Esturk *et al.* (2012) estudiaron el efecto de diversas atmósferas modificadas y material de empaque en cerezas variedad Napoleón y encontraron que no se afectó significativamente el valor de luminosidad de la fruta bajo las diferentes películas de empaque estudiadas y las atmósferas generadas a partir de estos.

Por otro lado Waghmare y Annapure (2013) reportaron un descenso en la luminosidad de papaya mínimamente procesada empacada en atmósfera modificada al igual que Nielsen y Leufvén (2008) al estudiar el efecto de diversas atmósferas modificadas en la calidad de fresas reportaron un descenso en la luminosidad de éstas y lo atribuyeron al pardeamiento de la fruta, contrastando con los resultados aquí obtenidos.

Las luminosidades encontradas en este estudio fueron similares a las reportadas por Turfan (2011) para arilos de granada. Y el aumento en la luminosidad de los arilos nos indica que fueron más blancos al final del periodo de almacenamiento, esto debido probablemente a la expulsión de fluidos del interior del tejido hacia la superficie como lo observó Villegas (2005).

5.4.4.2 Croma.

En la Figura 47 se puede observar el efecto de los materiales de empaque y tratamientos de desinfección sobre el croma de los arilos de granada, el cual oscilo en el rango de 17 a 24 durante el periodo de almacenamiento.

En el día 1 de almacenamiento los arilos tratados con cloro presentaron cromas de 17 a 19 (Figura 47 a) y fueron los arilos empacados en películas de PETE los que presentaron menor



croma (17.5) y los empacados en PCE los de mayor croma. Este atributo del color tuvo una tendencia ascendente durante el tiempo de almacenamiento; dicho aumento, fue del 12.9, 12.5 y 13.9% para los arilos empacados con películas de PETE, PS y PCE respectivamente.

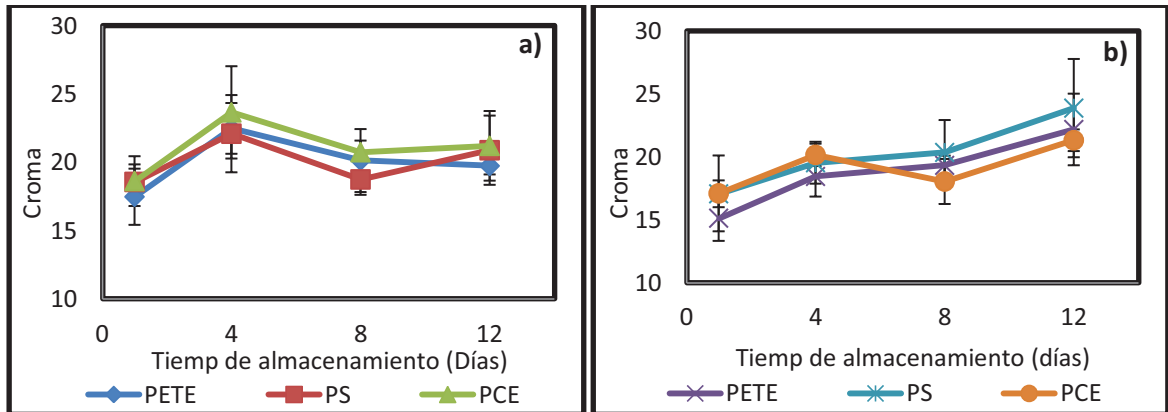


Figura 47. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el croma de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Las muestras tratadas con ozono presentaron valores iniciales de croma de entre 15 a 17 (Figura 47b), estos valores fueron en promedio 10% menores a los observados en las muestras tratadas con cloro, lo que podría indicar una mayor intensidad de color en los arilos desinfectados con cloro.

Se observó también una tendencia ascendente en los valores de croma respecto al tiempo de almacenamiento, pero en este caso el aumento en la saturación o intensidad de color respecto al día 1 de almacenamiento fue mayor al observado en los arilos tratados con cloro. El aumento fue alrededor del 47, 40 y 25% para los empaques de PETE, PS y PCE respectivamente.

A pesar de la diferencia numérica observada, no se presentó un efecto significativo ($P \geq 0.05$) del tipo de empaque, desinfectante ni de la interacción empaquexdesinfectante sobre el croma de los arilos durante todo el periodo de almacenamiento.

Los valores de croma encontrados en este estudio entran en el rango de 11.2 a 34.1 reportado por Zaouay *et al.* (2012) y por Varastech *et al.* (2012).

El aumento observado en el croma de los arilos de granada nos indicó una mayor saturación y cromaticidad del color de los arilos de granada al final del periodo de almacenamiento, concordando con el aumento encontrado por Teixeira *et al.* (2007) quienes estudiaron el uso de diversas atmósferas modificadas para la conservación de carambola.



Teixeira *et al.* (2007) también reportaron que el color de las rebanadas de carambola estudiadas fue más saturado y presentó mayor cromaticidad respecto al tiempo de almacenamiento cuando se empacaron en películas de mediana permeabilidad.

Por otro lado Caner *et al.* (2008) estudiaron el efecto del empaçado en atmósferas modificadas sobre la calidad de fresas y reportaron que no existió un efecto significativo del material de empaque sobre el croma del producto y señalaron además que las frutas colocadas en los materiales de empaque que tenían menor permeabilidad, presentaban mayor croma, concordando con lo observado en los arilos desinfectados con cloro, los cuales presentaron el mayor contenido de antocianinas.

Diversos autores han reportado el efecto benéfico de la atmósfera modificada de disminuir el pardeamiento y de preservar el color de frutas y hortalizas (Brecht *et al.*, 2003; Jacxsens *et al.*, 2001; Saltveit, 2003; Valero *et al.*, 2008).

El uso de atmósferas modificadas mantuvo el color a través de la retención de antocianinas y de la disminución del pardeamiento enzimático, todo esto generado por los cambios en la composición atmosférica dentro de los diferentes empaques.

5.4.4.3 °Hue (Tono).

Los resultados en cuanto al efecto de las diferentes películas de empaque y el tipo de desinfectante sobre el tono de los arilos de granada se pueden observar en la Figura 48.

Los arilos de granada desinfectados con cloro iniciaron con tonos en el rango de 4° a 8°Hue, ubicándose las muestras en el área de los rojos en el círculo cromático (Figura 48a).

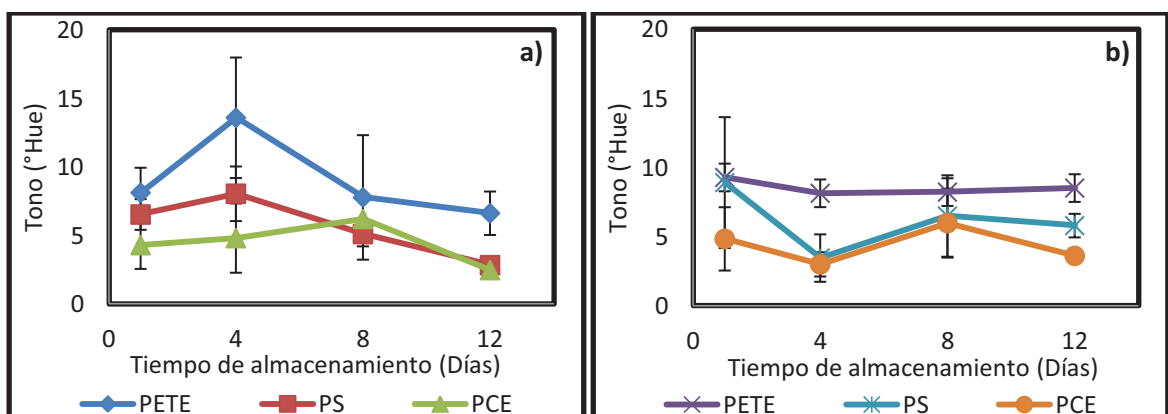


Figura 48. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el tono (°Hue) de arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.



Los arilos empacados en películas de PETE tuvieron el mayor °Hue y las de PCE el menor; esta tendencia se mantuvo durante todo el periodo de almacenamiento.

En el día 4 se presentó un aumento del tono y se alcanzaron valores máximos de 14°Hue (arilos empacados en PETE), en tanto que en los días posteriores, se observó una disminución en este atributo del color, terminando en el día 12 con tonos en el rango de 2° a 7°Hue.

La disminución del °Hue respecto al día 1 de almacenamiento fue del 18% para los arilos empacados en PETE, 57% para los de PS y 42% para la PCE.

En las muestras desinfectadas con ozono y colocadas en las tres películas evaluadas se obtuvieron valores iniciales de tono en el rango de 4 a 9°Hue (Figura 48 b), y fueron las muestras empacadas en películas de PETE las que tuvieron mayor °Hue (9.3°Hue) y las de la PCE los de menor (4.8°Hue), concordando con lo observado en los arilos desinfectados con cloro.

Durante el periodo de almacenamiento se encontró que el tono de los arilos disminuyó respecto al tiempo de almacenamiento, terminando en el día 12 con tonos en el rango de 3° a 9°Hue. En este caso los arilos empacados en películas de PETE tuvieron mayor °Hue (8.5°Hue) y las empacadas en la PCE el menor (3.6°Hue).

Los arilos desinfectados con ozono presentaron un menor cambio en su tono comparados con las muestras desinfectadas con cloro, y en este caso, la disminución del tono de las muestras fue del 8, 25 y 35% en los empaques de PETE, PCE y PS respectivamente.

De acuerdo al análisis estadístico no se presentó un efecto significativo ($P \geq 0.05$) del material de empaque, tipo de desinfectante ni de la interacción empaque x desinfectante sobre el tono de las muestras en ninguno de los 12 días de almacenamiento.

El tono de los arilos observados en este estudio fueron similares a los reportados por Varastech *et al.* (2012) para granada recubierta con quitosán (6.8° a 18.5°Hue) pero inferiores a los a los que encontraron Martínez-Romero *et al.* (2013) en arilos de granada mínimamente procesados, empacados y tratados con Aloe vera (33.44°Hue) y a los reportados por Faten *et al.* (2012) en diversas variedades de granada (17.1° a 68.8°Hue).

La disminución en el °Hue de los arilos de granada sugiere que las muestras cambiaron ligeramente de un color rojo (7°hue) a una tonalidad roja más intensa (5°Hue) y este cambio fue menor en los arilos empacados en películas de PETE respecto al día 1 de almacenamiento; mientras que los empacados en PCE presentaron los menores °Hue. Este comportamiento podría deberse al efecto positivo de la atmósfera modificada en retrasar los cambios en el color.



Se observó también que las muestras tuvieron menor °Hue al presentar mayor contenido de antocianinas, las cuales juegan un papel muy importante como pigmentos responsables del color rojo de los arilos (Faten *et al.*, 2012).

La disminución en el °Hue de los arilos de granada aquí estudiados concuerda con el descenso en el tono de rebanadas de carambola bajo diferentes atmósferas modificadas reportado por Teixeira *et al.* (2007), las cuales pasaron de un verde a un amarillo intenso.

5.5 Parámetros químicos en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.

5.5.1 Antocianinas totales

Las antocianinas son los compuestos responsables del atractivo color rojo en los arilos de granada y juega un papel muy importante contribuyendo significativamente a la capacidad antioxidante de ésta frutas y por lo tanto ejercen efectos protectores a la salud humana (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009; Vardin y Fenerciglu, 2003).

El efecto de los diferentes empaques y desinfectantes sobre la concentración de antocianinas en los arilos de granada mínimamente procesada almacenada a 4°C se muestran en la Figuras 49.

La concentración inicial de antocianinas en los arilos de granada expresado como equivalentes de Cianidin 3-glucosido por litro de jugo (mg Cy3g/L) se encontró en el rango de 62 a 79 mg Cy3g/L , lo cual estuvo de acuerdo con los rangos reportados por diversos autores que estudiaron diferentes variedades de granada.

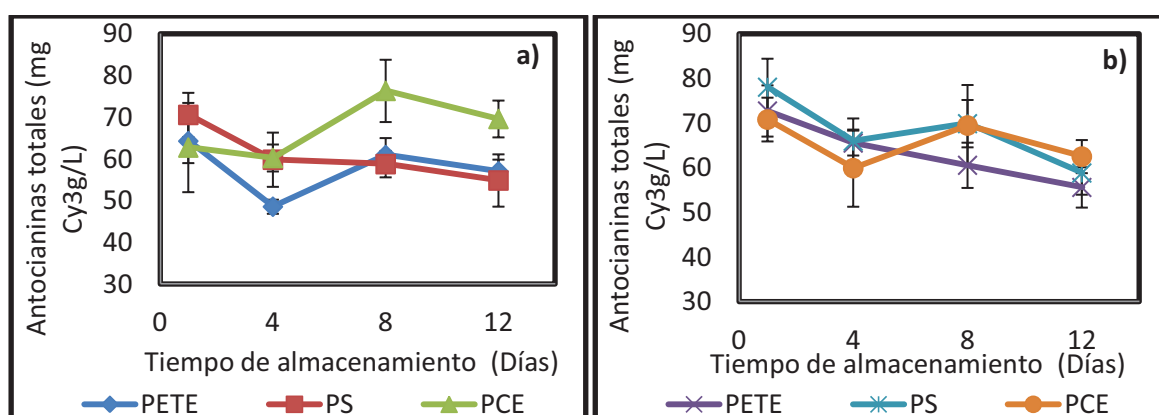


Figura 49. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en las antocianinas totales de arilos de granada mínimamente procesada almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.



Medeni (2004) reportó que en el jugo de granada el contenido de antocianinas varía entre 10-700 mg Cy3g/L; Alighourchi *et al.* (2007) encontraron rangos de 25 a 250 mg Cy3g/L para variedades de granada iraníes y Pérez- Vicente *et al.* (2004) en variedades de granada Primosole observaron concentraciones de antocianinas de 33.8 mg Cy3g/L. Sin embargo, las concentraciones de antocianinas encontradas en este estudio estuvieron también por debajo de los rangos reportados por D' Aquino *et al.* (2010), Gil *et al.* (2000), Pala *et al.* (2011), López-Rubira *et al.* (2005) y Sepulveda *et al.* (2010). Estas diferencias se atribuyen a las variaciones entre cultivares, madurez, área de producción, condiciones ambientales y las condiciones de cosecha y poscosecha (Gil *et al.*, 1995; Borochoy- Neori *et al.*, 2009; Miguel *et al.*, 2004 y Poyrazoglu *et al.*, 2002).

En el día 1 de almacenamiento, los arilos de granada desinfectados con cloro (Figura 49a) presentaron un contenido de antocianinas totales de 62 a 71 mg Cy3g/L y fueron los arilos envasados en la película coextruida (PCE) los que presentaron el menor contenido (62.73 mg Cy3g/l), mientras que las muestras envasadas en películas de poliestireno (PS) tuvieron la mayor cantidad de antocianinas (70.55 mg Cy3g/L).

Respecto a las muestras desinfectadas con ozono (Figura 49b) iniciaron con valores de antocianinas en el rango de 70 a 79 mg Cy3g/L y al igual que las muestras tratadas con cloro el menor contenido de antocianinas se observó en los arilos empacados en la película coextruida (70.8 mg C3g/l) y el mayor en los colocados en película de PS (72.72 mg Cy3g/L).

El contenido de antocianinas mantuvo una tendencia descendente durante el período de almacenamiento terminando en el día 12 con valores de antocianinas totales en el rango de 54 a 70 mg Cy3g/L.

Las antocianinas de todas las muestras disminuyeron durante el periodo de almacenamiento, excepto para los arilos desinfectados con cloro y empacados en la PCE los cuales presentaron un aumento del 11% respecto al primer día de almacenamiento. La disminución en las antocianinas totales fue del 24, 25 y 12% para los arilos desinfectados con ozono y envasados en películas de PS, PETE y PCE respectivamente, en tanto que el descenso en los arilos tratados con cloro fue del 11 y 22% para los envasados en películas de PETE y PS, respectivamente.

El contenido de antocianinas no presentó efecto significativo ($P \geq 0.05$) del tipo de empaque y del desinfectante durante los 12 días de almacenamiento, pero sí se presentó efecto significativo ($P \leq 0.05$) de la interacción envasexdesinfectante en este parámetro en los días 4, 8 y 12 de almacenamiento.



Bibliográficamente no se ha reportado un efecto significativo del cloro en la disminución del contenido de antocianinas en diversos productos, no así con el ozono, ya que diversos investigadores han reportado la disminución en el contenido de antocianinas en frutas ozonificadas: Torres *et al.* (2011) reportaron un descenso de antocianinas en jugo de fresa y lo atribuyó a la posible oxidación de los pigmentos generada por la interacción directa de las antocianinas con el ozono; Tiwari *et al.* (2008) observaron a su vez una disminución en las antocianinas del jugo de uva tratado con ozono y mencionó que se ha reportado que la ozonización de pigmentos naturales genera la pérdida de color como resultado de la oxidación a través del rompimiento de los dobles enlaces conjugados de las antocianinas y la apertura de su anillo aromático, siendo la etapa de apertura del anillo un paso crucial en la degradación de antocianinas. De acuerdo con Xue *et al.* (2008) el ozono juega un papel importante no sólo en la degradación de antocianinas sino también en la formación de otras especies altamente reactivas como son xOH^{2x} , xO_2^- y xO_3^- los cuales contribuyen y facilitan la degradación de estos pigmentos.

La disminución en el contenido de las antocianinas observada en este estudio concuerda con los descensos reportados diversos investigadores: Khorshidi *et al.* (2011) observaron una disminución en el contenido de antocianinas de cerezas empacadas en atmósfera modificada y señalaron que se tuvo mayor contenido de antocianinas en los envases más permeables evaluados y menor cantidad de antocianinas en los de menor permeabilidad y Remón *et al.* (2004) al estudiar el efecto de la composición gaseosa en cereza empacada, encontró que la concentración final de CO_2 en los empaques influyó en el contenido de antocianinas y que las muestras empacadas en los films menos permeables tuvieron menor contenido de antocianinas que las empacadas en los films más permeables contrastando con los resultados aquí obtenidos.

Zhang *et al.* (2003) reportaron que el contenido de antocianinas en fresas disminuyó continuamente durante su almacenamiento y que el empacado en atmósfera modificada retardó este descenso y de igual manera Holcroft *et al.* (1998) citado por Khorshidi *et al.* (2011) indicaron que el aumento en los niveles de CO_2 afecta la síntesis de antocianinas o disminuye su estabilidad

Somboonkaew y Terry (2010) también reportaron una disminución en el contenido de antocianinas en litchi y atribuyeron dicha degradación a la ruptura celular y pérdida de humedad y mencionaron que la disrupción celular permitió la liberación de la enzima polifenol oxidasa localizada en las vacuolas, lo que generó la producción de compuestos cafés y además la actividad de estas enzimas combinado con las enzimas antocianinas generaron la degradación



de los pigmentos. También se ha reportado que altos niveles de CO₂ inhiben la producción de etileno, lo que podría reducir la actividad de PAL y eventualmente la concentración de antocianinas (Gil *et al* 1997, Holcroft y Kader 1999).

Odriozola-Serrano *et al.* (2010) reportaron a su vez reducción en el contenido de antocianinas en fresas bajo atmósferas con alto contenido de CO₂ e indicaron que dos enzimas importantes para la biosíntesis de las antocianinas eran afectadas por las atmósferas ricas en CO₂.

Se ha reportado que la estabilidad de las antocianinas es también influenciada por el pH, y por lo tanto, atmósferas con altas concentraciones de CO₂ podrían afectar mediante la disolución de CO₂, el metabolismo de los ácidos orgánicos, aumentando de esta forma el pH del tejido y dañando el equilibrio que existe entre las antocianinas coloridas y las incoloras ocasionando por el cambio de pH la formación de las incoloras (Brouillard, 1982 citado por Odriozola-Serrano *et al.*, 2010).

Además de las posibles causas de degradación de las antocianinas antes mencionadas, se debe recordar lo mencionado ya anteriormente: que las antocianinas son compuestos lábiles que pueden ser sometidos a numerosas reacciones de degradación durante su almacenamiento y proceso. Dentro de los factores que impactan negativamente en dichos pigmentos se encuentran las enzimas, luz, temperatura de almacenamiento y de proceso, pH, ácido ascórbico, azúcar, metales, etc. (Alighourchi *et al.*, 2007; Turfan *et al.*, 2011; Tiwari *et al.*, 2008). Basados en los resultados presentados se puede decir que el contenido de antocianinas en los arilos de granada mínimamente procesada almacenados a 4°C por 12 días en atmósfera modificada pasiva disminuyó con respecto al tiempo de almacenamiento debido al efecto generado por las condiciones de proceso y almacenamiento. Se observó también que los arilos envasados en las películas menos permeables (película coextruida) tuvieron el mayor contenido de antocianinas al final del almacenamiento contrario a lo que se esperaba, sin embargo en las muestras almacenadas en estas películas se presentaron desde el día 8 de almacenamiento olores de fermentación por la gran cantidad de CO₂ acumulado y por lo tanto la vida útil de estos arilos fue de 6 a 7 días.

Por tanto el uso de una PCE ayudó a mantener un mayor contenido de antocianinas; sin embargo, se recomendaría el envasado en películas de PS y el uso de ozono como desinfectante ya que presentaron un contenido de antocianinas solo 11% menor al observado en los empaques de PCE y permitiría alargar la vida útil del producto.



5.5.2 Fenoles totales

La granada es una fruta conocida por contener una gran cantidad de compuestos fenólicos. Estos compuestos se encuentran en todas las frutas y vegetales y juegan un rol importante en el color, sabor, textura, así como en la capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana. Como uno de los más importante componentes antioxidantes de las plantas, los fenoles han sido investigados ampliamente en muchas frutas. Se cree que su actividad antioxidante es debida a su propiedad redox, lo cual juega un importante rol en la absorción y neutralización de radicales libres ejerciendo un efecto preventivo de diversas enfermedades (Djeridane *et al.*, 2006; Laranjinha *et al.*, 1995; Zheng y Wang, 2001).

Debido a todo esto, el contenido de compuestos fenólicos y su conservación luego de llevar a cabo un determinado proceso es de gran importancia para preservar el valor nutricional, la capacidad antioxidante y el valor nutracéuticos del producto (Gil *et al.*, 2000; Tehranifar *et al.*, 2010; Turfan *et al.*, 2011).

El contenido de compuestos fenólicos totales expresados como equivalentes de ácido gálico por cada 100g de fruta (mg AGE/100g) presentes en los arilos de granada mínimamente procesada y el efecto de las condiciones de empaqueo y de desinfección en este parámetro se muestra en la Figura 50.

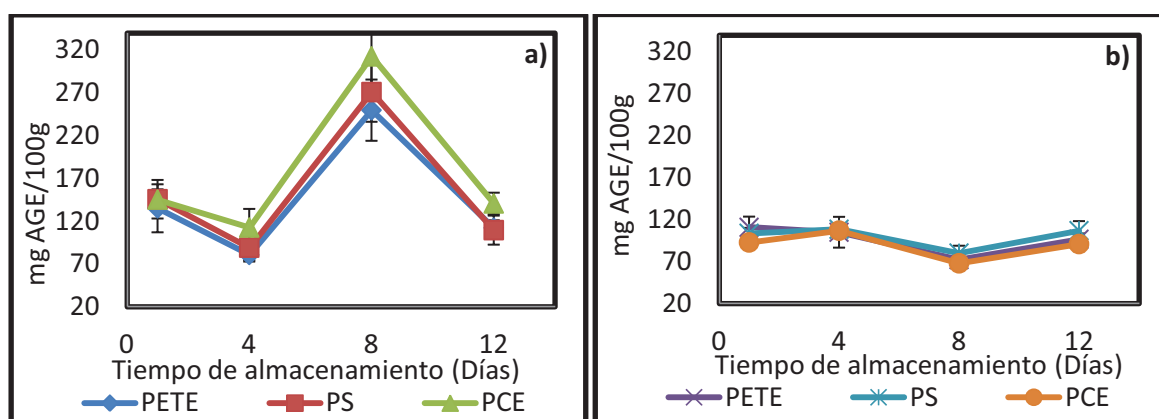


Figura 50. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el contenido de fenoles totales de arilos de granada mínimamente procesada almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

La composición de fenoles totales se encontró en los arilos empacados y desinfectados con cloro en el rango de 134 a 146 mg AGE/100g en su día 1 de almacenamiento (Figura 50a), siendo los arilos empacados en una película de Polietileno tereftalato (PETE) los que



presentaron el menor contenido de fenoles totales, y las muestras empacadas en películas de poliestireno (PS) las que tuvieron mayores valores; mientras que, las muestras tratadas con ozono iniciaron con contenidos de fenoles totales en rangos 92 a 111 mg AGE/100g (Figura 50b), en este caso las muestras empacadas en la película coextruida presentaron el menor contenido de fenoles (92.9 mg AGE/100g) y las empacadas en películas de PETE tuvieron el mayor contenido (110.9 mg AGE/100g).

Las muestras tratadas con ozono tuvieron en promedio 28% menor contenido de compuestos fenólicos comparado con las muestras tratadas con cloro en el día 1 de conservación.

Durante los primeros 4 días de almacenamiento en todas las muestras se presentó un descenso en el contenido de fenoles totales de alrededor del 21%, exceptuando las muestras tratadas con ozono y envasadas en películas de PS y película coextruida, las cuales tuvieron un aumento de alrededor del 9% y en los días posteriores, las muestras desinfectadas con ozono y envasadas en las diferentes películas continuaron con una tendencia descendente en el contenido de fenoles y terminaron en el día 12 con valores en el rango de 90 a 108 mg AGE/100g, estos valores fueron en promedio 4% menores a los observados en el día 1.

Las muestras tratadas con cloro presentaron un aumento en el contenido de fenoles totales alcanzando valores máximos en el día 8 de 312 mg AGE/100g; el contenido de fenoles totales en estas muestras aumentó un 96% respecto al día 1 de almacenamiento y fue en promedio 74% mayor al contenido de fenoles de las muestras tratadas con ozono.

Al final del almacenamiento (día 12) se tuvo un descenso en el contenido de fenoles, dicho contenido se ubicó en rangos de 112 a 141 mg AGE/100g en las muestras tratadas con cloro bajo las diferentes condiciones de empaqueo; el descenso fue de 57% respecto al día 8 de almacenamiento y en promedio de 15% respecto al día 1 y concordó con lo observado por Ayala-Zavala *et al.* (2007) quienes reportaron un aumento en el contenido de fenoles en fresas empacadas bajo las diferentes condiciones de oxígeno durante los primeros días de almacenamiento con un posterior descenso en los niveles de fenoles al final de su almacenamiento.

El contenido de fenoles totales presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los días 8 y 12, atribuido al efecto de los desinfectantes en las muestras, y en el día 12 además, se tuvo un efecto significativo de la interacción empaqueo x desinfectante sobre este parámetro sin que los diferentes empaques generaran un efecto significativo por sí solos.

En la literatura se ha reportado una gran variación en el contenido de fenoles en diferentes variedades de granada como lo señalaron diversos autores citados por Tehranifar *et al.* (2010): entre 124.5 a 207 mg AGE/100g observado por Ozgen *et al.* (2008); 206.3 mg AGE/100g y



343.6 mg AGE/100g por Cam *et al.* (2009); 14.4 mg AGE/100g y 1008.6 mg AGE/100g por Tezcan *et al.* (2009) y de 23.7 a 930.4 mg AGE/100g por Mousavinejad *et al.* (2009).

Los resultados obtenidos en esta investigación estuvieron durante todo el almacenamiento dentro de los rangos reportados por los autores antes mencionados.

La diferencia en el contenido de fenoles presentada por las muestras tratadas con cloro y ozono, puede atribuirse a la gran actividad oxidante que presenta el ozono, la cual pudo generar la pérdida de algunos compuestos fenólicos como lo señalaron Miller *et al.* (2013) y el descenso en el contenido de fenoles totales en las muestras tratadas con ozono puede asociarse a lo mencionado por Hoigne Bader (1993) citado por Alothman *et al.* (2010) quienes mencionaron que la auto descomposición del ozono es acompañada por la producción de numerosos radicales libres como son hidroperoxil (H_2O^x), hidroxil (xOH) y superóxidos ($^xO_2^-$). Por lo tanto los productos de la descomposición del ozono pudieron ser buscados por los compuestos fenólicos para estabilizarlos, contribuyendo de esta forma a la reducción del contenido de fenoles en los arilos de granada. En tanto que el aumento en el contenido de fenoles en las muestras tratadas con cloro pudo ser atribuido a las altas concentraciones de CO_2 que podrían inducir estrés abiótico, lo cual generaría un aumento de los compuestos fenólicos en los arilos ó, se puede atribuir al aumento en la actividad de la fenil alanina amonionasa (PAL), la cual es una de las enzimas clave en la síntesis de compuestos fenólicos como respuesta a los daños en el tejido celular generado durante las operaciones del mínimo proceso ya que las plantas responden a las heridas generando compuestos fenólicos encargados de repararlas y también sirven como defensa contra la invasión microbiana (Toivone y De Ell, 2002; Odriozola-Serrano, 2007).

El aumento en el contenido de compuestos fenólicos atribuido a la actividad de PAL ha sido reportado por diversos autores. Alothman *et al.* (2009) reportó un aumento en el contenido de fenoles totales en granada irradiada con luz UV-C y lo atribuyeron al aumento en la actividad de PAL; González-Aguilar *et al.* (2007) encontraron que la actividad de PAL en mango "Haden" fue fuertemente correlacionada con el aumento en el contenido de fenoles de la fruta y Reyes *et al.* (2007) reportaron un aumento en la actividad de PAL en algunas hortalizas mínimamente procesadas (zanahoria, lechuga, papa, col verde, apio, etc.) como respuesta al estrés generado durante el mínimo proceso.

Otras posibles causas del descenso de compuestos fenólicos pudo ser la presencia de oxígeno en los arilos empacados en atmósferas modificadas como lo mencionaron Ahn *et al.* (2005), ya que los fenoles se localizan en las vacuolas de las células y son protegidos por barreras físicas de las enzimas PPO y PDO, pero al generarse daño celular durante el mínimo proceso, las



enzimas interactúan con los sustratos y se lleva a cabo la degradación de los compuestos fenólicos como consecuencia de la oxidación (Awad y de Jager, 2003).

También puede atribuirse a los cambios en la concentración de CO₂; Amanatidou *et al.* (2000) mencionaron que condiciones altas de CO₂ son efectivas en la reducción del contenido de fenoles totales en zanahorias mínimamente procesadas empacadas y González-Aguilar *et al.* (2009) mencionaron que en una atmósfera modificada con un alto contenido de CO₂ con o sin oxígeno se detiene la síntesis de fenoles y se mantiene casi constante su concentración durante el almacenamiento refrigerado, incluso, desciende al final del periodo de conservación (como ocurrió en este estudio). Sin embargo la reacción del tejido vegetal al almacenamiento y empacado en atmósfera modificada dependerá de la naturaleza del tejido celular y de la composición gaseosa usada o generada durante el tratamiento (Ayala-Zavala *et al.*, 2007).

Basados en los resultados obtenidos, se puede concluir que la desinfección con cloro y los distintas películas de empacado contribuyeron a la conservación del contenido de fenoles totales en los arilos y fue el envasado en la película coextruida la que presentaron mayor cantidad de fenoles al final del periodo de almacenamiento. Pero fueron las muestras tratadas con ozono las que mantuvieron su contenido de fenoles sin cambios significativos durante todo el periodo de almacenamiento.

5.6 Parámetros microbiológicos en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con cloro y ozono.

Con el fin de determinar el efecto de las diferentes atmósferas modificadas generadas a partir de 3 películas de empaque sobre la carga microbiana, se realizó un recuento en placa de microorganismos coliformes, mesófilos, mohos y levaduras totales y los resultados obtenidos se pueden apreciar en las figuras 51, 52 y 53.

5.6.1 Recuento total de coliformes

En la Figura 51 se muestra el efecto de las diferentes atmósferas modificadas evaluadas y de los agentes desinfectantes de cloro y ozono en el conteo de células viables de bacterias coliformes en función del tiempo de almacenamiento.

En las muestras tratadas con cloro y bajo los diferentes empaques (Figura 51a), se inició con una carga microbiana de 10 UFC coliformes/g (1Log UFC/g) y esta cuenta se mantuvo sin cambios durante los primeros 8 días de almacenamiento; solo hasta el día 12 se observó un



marcado crecimiento de estos microorganismos en las muestras empaçadas en películas de PETE y PS, los cuales alcanzaron 26×10^3 y 85×10^3 UFC/g (4 y 5 Log UFC/g); en tanto que, en el empaque de PCE, el cual presenta la menor permeabilidad no tuvo un aumento en la carga microbiana y se mantuvo con 10 UFC/g.

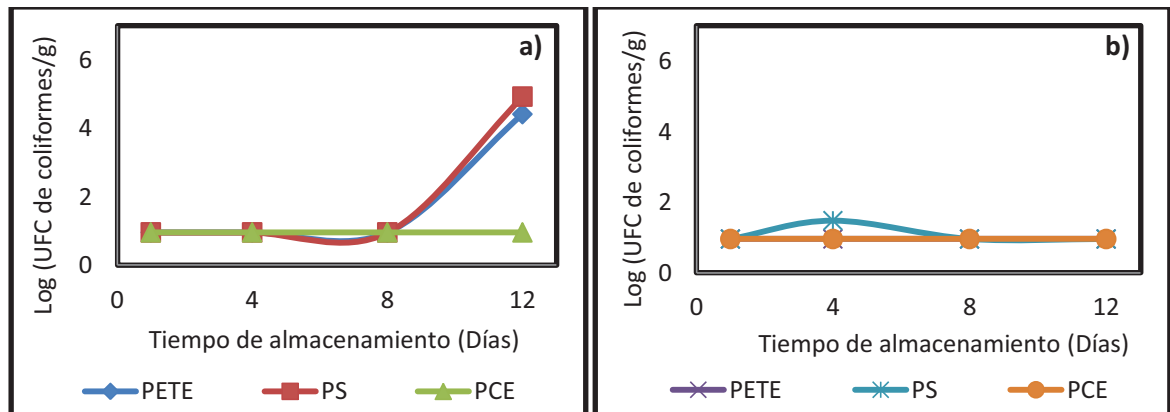


Figura 51. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el recuento total de coliformes presentes arillos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar

Las muestras desinfectadas con ozono (Figura 51b) iniciaron al igual que las muestras tratadas con cloro con 1Log UFC de coliformes/g sin que se observara un aumento significativo de estos microorganismos durante todo el periodo de almacenamiento, terminando en el día 12 con cuentas iguales a las observadas en el día 1 (1Log UFC/g).

De acuerdo a las normas de la Unión Europea, los valores iniciales de bacterias coliformes encontradas en este estudio, estuvieron por debajo de los límites de tolerancia permitidos para productos mínimamente procesados en el día de su producción que son 2 Log UFC/g.

En base a los resultados presentados se puede decir que las muestras tratadas con ozono y las desinfectadas con cloro y empaçadas en PCE presentaron mayor efectividad al mantener la carga microbiana de coliformes sin cambio y los bajos conteos de coliformes pueden relacionarse con el efecto conjunto de la atmósfera modificada y el agente desinfectante sobre los microorganismos, fundamentado en el daño que se ejerce en la estructura microbiana o en la modificación de los factores extrínsecos para su crecimiento (Soliva-Fortuny *et al.*, 2004; Alexandre *et al.*, 2012).



5.6.2 Recuento total de Mesófilos

La Figura 52 muestra el conteo de células viables de mesófilos en función del tiempo de almacenamiento para las muestras empacadas con las diferentes películas probadas en este trabajo y bajo tratamiento de desinfección con cloro y ozono.

El conteo inicial de microorganismos mesófilos en los arilos desinfectados con cloro (Figura 52a) fue de 10 UFC/g y esta carga microbiana se mantuvo durante los primeros 8 días de almacenamiento en las muestras empacadas en películas de PETE y en la PCE, en tanto que en los empaques de PS se tuvo un marcado crecimiento desde el día 4 de almacenamiento con conteos de 45×10^1 UFC/g (2.6 Log UFC/g).

Las muestras alcanzaron en el día 12 de almacenamiento conteos de 5.2, 3.9 y 3.8 Log UFC/g en los arilos empacados en películas de PS, PETE y PCE, respectivamente.

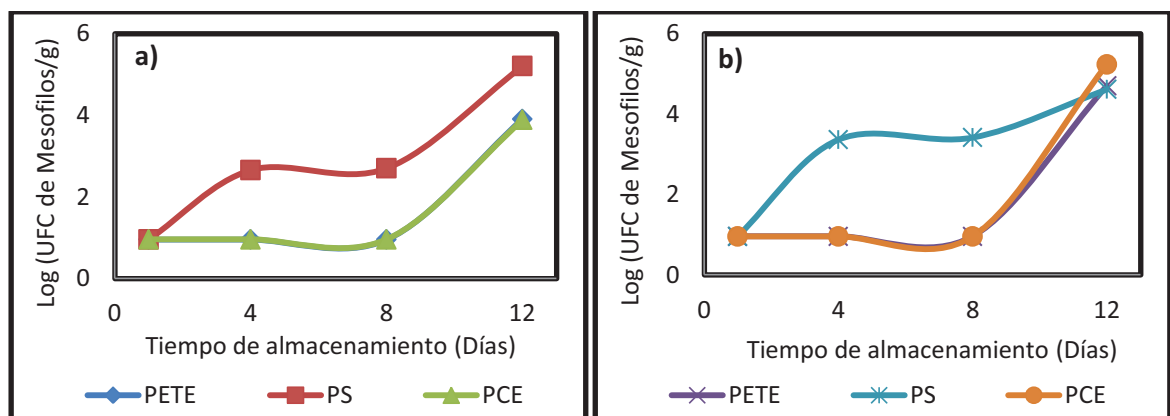


Figura 52. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el recuento total de mesófilos presentes arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar

Los arilos de granada desinfectadas con ozono bajo las diferentes condiciones de empaque (Figura 52b) mostraron un conteo y una tendencia muy similar a la observada en las muestras desinfectadas con cloro.

Los arilos tratados con ozono presentaron conteos iniciales de 10 UFC/g que se mantuvo constante durante los 8 primeros días de almacenamiento en las muestras colocadas en películas de PETE y PCE, pero en los empaques de PS se dio un aumento en el conteo de mesófilos en el día 4 de almacenamiento, los cuales llegaron a 23×10^2 UFC/g (3.3 Log UFC/g) y fueron en promedio 26% mayor al número de microorganismos observado en las muestras desinfectadas con cloro. En el día 12 se presentó un marcado aumento de microorganismos



mesófilos y las muestras desinfectadas con ozono terminaron con 5.2, 4.7 y 4.6 Log UFC mesófilos/g en los empaques de PCE, PETE y PS respectivamente.

De acuerdo a las normas de la Unión Europea, los valores iniciales de bacterias mesófilas encontradas en este estudio, estuvieron por debajo del límite de tolerancia permitido para productos mínimamente procesados en el día de su producción (4.7 log UFC/g) y el bajo conteo de microorganismos mesófilos observado durante los primeros 8 días de almacenamiento puede ser asociado con el efecto del agente desinfectante sobre los microorganismos, al efecto del empaqueo en atmósfera modificada y sus cambios en la concentración de CO₂ y a la temperatura de almacenamiento que no fue la óptima para el crecimiento de estos microorganismo, ya que como lo señalaron Waghmare y Annapure (2013), la combinación de un tratamiento químico más el uso de atmósferas modificadas resultó útil para inhibir el crecimiento de microorganismos mesófilos.

A pesar del marcado crecimiento de microorganismos mesófilos no se rebasaron los límites sugeridos por la legislación Europea (BOE, 2001) de 7 Log UFC/g durante todo el periodo de almacenamiento y fueron los arilos empacados en películas de PCE y PETE los que presentaron un menor conteo de mesófilos luego de los 12 días de almacenamiento.

5.6.3 Recuento total de mohos y levaduras

Los datos presentados en la Figura 53 indican el crecimiento de levaduras en las muestras de arilos de granada mínimamente procesada bajo diferentes condiciones de empaqueo y con el tratamiento de desinfección de cloro y ozono respecto a los días de almacenamiento.

Como se puede observar el contenido inicial de levaduras en los arilos de granada mínimamente procesada bajo los 2 tratamientos de desinfección fue de 2 a 3 Log UFC/g y estuvo en el rango de levaduras reportado para una gran cantidad de frutas y vegetales mínimamente procesados (Nguyen y Calin, 1994).

En las muestras desinfectadas con cloro (Figura 53 a), los arilos de granada empacados en películas de PETE presentaron el menor conteo de levaduras en el día 1 de almacenamiento con 12×10^7 UFC/g (2 Log UFC/g) y el mayor se dio en los empaques de PCE los cuales tuvieron conteos de 91×10^1 UFC/g (3 Log UFC/g).

Durante el periodo de conservación se observó un marcado crecimiento de estos microorganismos y se tuvieron los conteos más altos en los arilos empacados en PCE y menores en los empaques de PETE, esto durante los primeros 8 días de almacenamiento, y se terminó en el día 12 con conteos máximos de 30×10^4 UFC/g (5.4 Log UFC/g) en las muestras



empacadas en películas de PS; mientras que en el resto de tratamientos el conteo final fue de 89×10^3 (4.9 Log UFC/g).

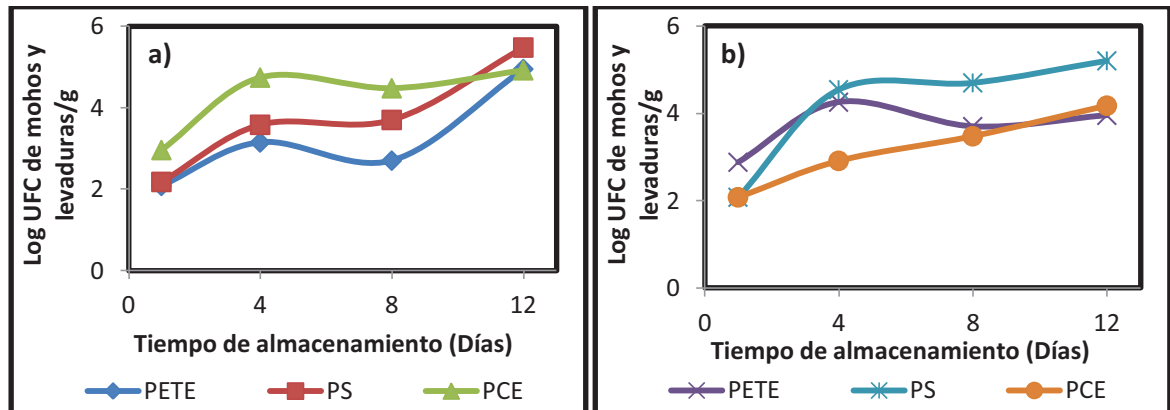


Figura 53. Efecto de diferentes empaques de: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro (a) y ozono (b) en el recuento total de mesófilos presentes arilos de granada mínimamente procesa almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar

Para las muestras desinfectadas con ozono, el conteo inicial de levaduras fue de 76×10^1 UFC/g (2.9 Log UFC/g) en las muestras empacadas en PETE y de 12×10^1 UFC/g (2 Log UFC/g) para PS y PCE, (Figura 53b) observándose también un marcado crecimiento respecto al tiempo de almacenamiento que llegó a alcanzar en el día 12 cuentas de 5.2, 4.1 y 3.9 Log UFC/g en los empaques de PS, PCE y PETE respectivamente.

Se puede observar que las muestras colocadas en películas de PETE presentaron el menor crecimiento de levaduras al final del periodo de almacenamiento y de acuerdo con Babic *et al.* (1992) y Jacksen *et al.* (2003) Un alto número de levaduras (mayor a 5 Log UFC/g) puede ocasionar malos olores en los productos mínimamente procesados mediante la producción de CO_2 , etanol, ácidos orgánicos y ésteres volátiles, de hecho, algunos autores determinan el final de la vida útil microbiológica cuando las 5 Log UFC/g se sobrepasan, ya que puede ocurrir efectos negativos sobre las propiedades sensoriales. Y de acuerdo a los resultados presentados, se puede observar que solamente las muestras empacadas en películas de PS sobrepasan el límite de 5 Log UFC/g en el día 12 de almacenamiento, marcando el final de su vida útil microbiológica.

El aumento constante del conteo de levaduras pudo deberse a la presencia de levaduras psicrófilas que no fueron afectadas por la permeabilidad del film de empaque como lo mencionó Restuccia *et al.* (2006) al estudiar el crecimiento microbiológico en rebajadas de naranja empacada en diversos films de diferentes permeabilidades ó puede ser asociado al desarrollo



de levaduras con organismo facultativo las cuales se desarrollan aun con bajas concentraciones de oxígeno.

El crecimiento en mohos y levaduras alcanzado en los arilos estudiados fue inferior al reportado por López-Rubira *et al.* (2005) quienes encontraron que para el día 6-8 en arilos de granada tratados con luz UV-C y empacados ya presentaban un conteo de mohos y levaduras superior a las 5 Log UFC/g; por lo tanto se puede decir que los arilos de granada aquí estudiados alcanza una vida útil de alrededor de 10 días.

Diversos autores han estudiado el efecto de la atmósfera modificada sobre la calidad microbiológica de los arilos de granada mínimamente procesada y han reportado que el almacenamiento de arilos de granada bajo atmósfera modificada ha mostrado reducir el conteo de bacterias ácido lácticas, mesófilas y psicrófilas así como hongos y levaduras (Sepúlveda *et al.* 2000; López-Rubira *et al.* 2005).

El efecto benéfico del dióxido de carbono en una atmósfera modificada se debe a su efecto fungistático y bacteriostático contra muchos microorganismos que pueden crecer a temperaturas de refrigeración; siendo las bacterias Gram negativas aerobias particularmente los microorganismos más sensibles al CO₂. Sin embargo, se debe recordar que el efecto inhibitorio del CO₂ y de una atmósfera modificada no es universal y que dicho efecto dependerá de la microflora presente y de las características del producto (Oluwafemi *et al.*, 2013).

5.7 Composición gaseosa en el espacio de cabeza en arilos de granada mínimamente procesada conservada en atmósfera modificada pasiva

El envasado ofrece a los productos mínimamente procesados diversas ventajas entre las que destacan la protección contra el deterioro sensorial y nutricional, sin obviar el deterioro microbiano. El mecanismo por el cual el envase conserva la calidad de las frutas mínimamente procesadas, se debe a que crea una barrera a los gases, al producir una atmósfera modificada alrededor del producto, esta atmósfera reduce la disponibilidad de O₂ e incrementa la concentración de CO₂, disminuye la tasa de respiración y la pérdida de agua, aumentando de esta forma la vida de anaquel (Ayala-Zavala *et al.*, 2008).

El cambio en las características de calidad fisicoquímica y nutricional de los arilos de granada mínimamente procesada fueron examinados luego del empacado en films de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y coextruido durante 12 días de almacenamiento. En la Figura 54 se muestra la composición gaseosa alcanzada dentro de los contenedores de los arilos de granada mínimamente procesada y como se puede observar (con excepción de los



empaques de PETE, donde la atmósfera dentro de estos fue muy similar al aire ambiental), la atmósfera dentro de los empaques PS y de la película coextruida cambio durante el periodo de almacenamiento, estableciéndose una atmósfera modificada dentro de los empaques con un descenso de O_2 (Figura 54a y 54c) y un progresivo aumento de CO_2 (Figura 54b y 54d). Las variaciones observadas en la composición gaseosa dentro de los empaques se debió a que los arilos de granada mínimamente procesada mantuvieron su respiración durante su almacenamiento, lo cual dio como resultado el consumo de oxígeno y la formación de CO_2 y se suma a esto, las características del material de empaque a través de la cual se da el intercambio gaseoso, ya que de acuerdo a su permeabilidad se facilita o no la entrada y/o salida de gases (Villaescusa, 2000).

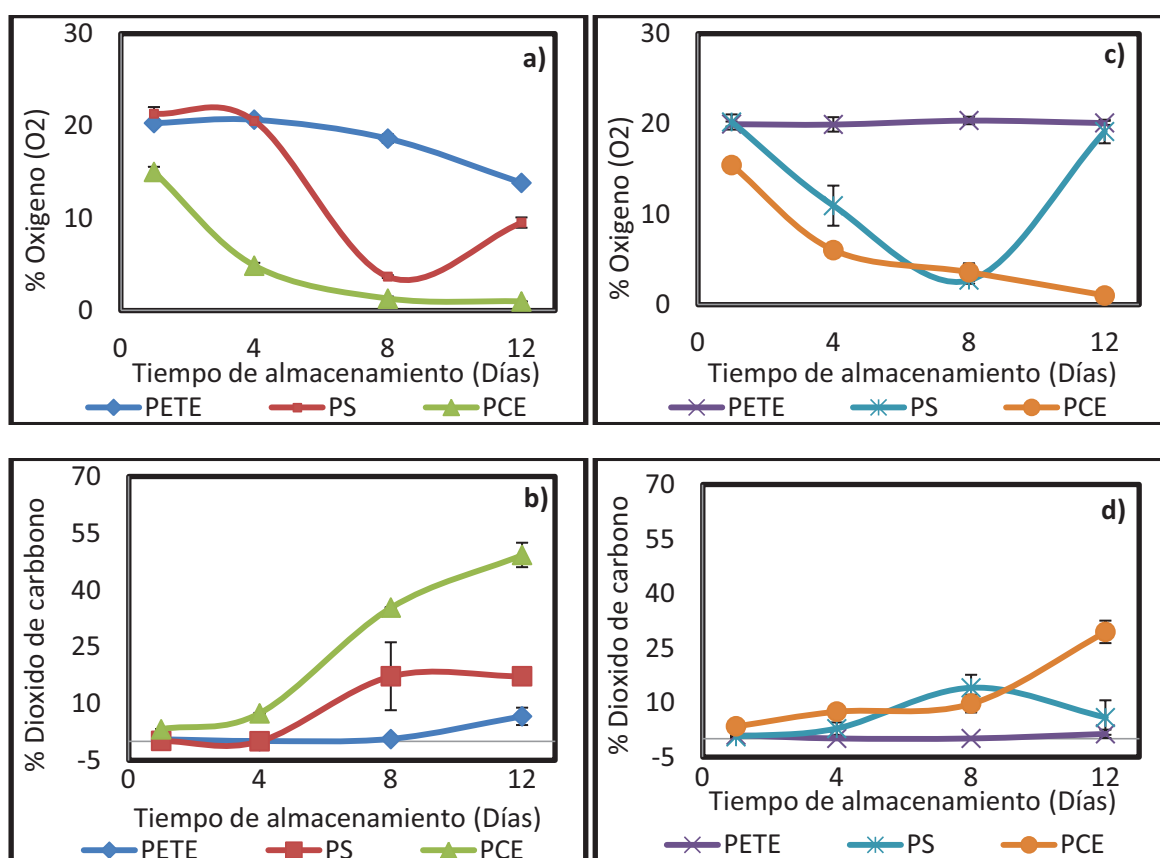


Figura 54. Efecto de las condiciones de empacados en: películas plásticas de polietileno tereftalato (PETE), poliestireno (PS) y una película coextruida (PCE) y del tratamiento de desinfección con cloro a) y b) y la desinfección con ozono c) y d) en la composición gaseosa de arilos de granada mínimamente procesada bajo atmósfera modificada almacenados a 4°C por 12 días. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

En la Figura 54a y 54b se muestran los cambios en la composición de O_2 y CO_2 en los diferentes empaques cuando los arilos se desinfectaron con cloro, se puede observar que la



composición de oxígeno disminuyó rápidamente durante los primeros 8 días de almacenamiento en los empaques de película coextruida (PCE) y de poliestireno (PS). En el día 1 de almacenamiento la concentración de oxígeno en el espacio de cabeza fue de 21.3, 20.3 y 15% de O₂ para los empaques de PS, polietileno tereftalato (PETE) y de PCE respectivamente, sin que se presentara un efecto significativo ($P \geq 0.05$) en la concentración de oxígeno para este día de almacenamiento.

Para el día 4 los empaques presentaron una disminución en su concentración de O₂ de alrededor del 4 y 68% en las películas de PS y coextruida respectivamente; mientras que en los empaques de PETE la concentración de O₂ se mantuvo constante. Los empaques de película coextruida presentaron el menor contenido de O₂ con un 4.8% de este gas, en tanto que los de PS tuvieron concentraciones de 20.5% y los de PETE de 20.6% de O₂. Por lo que se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el empaque de PCE respecto al de PETE y PS los cuales no presentaron diferencia ($P \geq 0.05$) entre sí en su concentración de O₂.

En los días posteriores de almacenamiento se continuó con una tendencia descendente en la concentración de oxígeno y, en el día 8 nuevamente se presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el empaque de película coextruida respecto al resto de empaques. En el día 12 se terminó con valores mínimos de O₂ de 0.98% para los envases de PCE y máximos de 13.8% para los empaques de PETE; en tanto que los de PS llegaron a concentraciones de 9.5%, por lo que el análisis estadístico señaló un efecto significativo atribuido al tipo de empaque y al tipo de desinfectante para este día de almacenamiento. Se tuvo una disminución en la concentración de oxígeno de 32, 55 y 94% respecto al día 1 de almacenamiento para los envases de PETE, PS y de PCE respectivamente.

Por otro lado los niveles de CO₂ dentro de los contenedores de arilos de granada mínimamente procesada desinfectados con cloro aumentaron significativamente durante el almacenamiento en las películas de PS y PCE (Figura 54b); mientras que en las películas de PETE la concentración permaneció sin cambios significativos durante los primeros 8 días de almacenamiento.

En el día 1 de almacenamiento, las concentraciones de CO₂ en el espacio de cabeza de los diferentes envases se encontró en el rango de 0.5 a 3.2%, observándose los valores más altos en los arilos de granada envasados en la PCE y los menores en los envasados en la película de PETE; esta tendencia se mantuvo durante todo el periodo de almacenamiento con un constante incremento en la concentración de CO₂. Al final del periodo de almacenamiento se registraron concentraciones de CO₂ de 6.66, 17.25 y 49.26% para los empaques de PETE, PS y de película coextruida respectivamente.



Respecto a las muestras desinfectadas con ozono, se tuvo que la concentración de oxígeno dentro de los envases de PS y de película coextruida disminuyó durante el almacenamiento, mientras que en las tarrinas de PETE dicha concentración permaneció constante durante todo el periodo de almacenamiento (Figura 54c).

En el día 1 se observó un contenido de oxígeno similar al encontrado en los empaques que contenían arilos desinfectados con cloro, encontrándose concentraciones de O_2 de 20.2, 19.9 y 15.4% en los empaques de PS, PETE y PCE respectivamente.

Desde el día 1 de almacenamiento los empaques de película coextruida mostraron los valores de O_2 más bajos y los de PETE los valores más altos; conservándose esta tendencia durante los 12 días de almacenamiento.

En el día 4 de almacenamiento los empaques presentaron concentraciones de oxígeno de 20.4% en los empaques de PETE, 11% para los de PS y 6% para la película coextruida. Estas concentraciones de O_2 fueron alrededor del 46 y 61% menores a los valores obtenidos en el día 1 de almacenamiento en los empaques de PS y en la película coextruida.

En los días subsecuentes se continuó con la tendencia descendente de la concentración de O_2 y al final del periodo de almacenamiento se llegó a valores de 20% de O_2 en las películas de PETE, 19% en las de PS y 1% en la película coextruida.

Como se puede observar la concentración de oxígeno en las tarrinas de PETE y vasos de PS fue mayor cuando los arilos se desinfectaron con ozono comparados con aquellos que se trataron con cloro, mientras que en la película coextruida la concentración de O_2 fue de alrededor del 1% para ambos casos.

En cuanto a la concentración de dióxido de carbono en el espacio de cabeza de los diferentes empaques cuyas muestras fueron desinfectadas con ozono, se pudo observar un aumento progresivo en los envases de PS y de la película coextruida, los cuales iniciaron con rangos de 0.5 a 3.4% de CO_2 y terminaron en el día 12 con concentraciones que fueron de 5 a 30% de CO_2 (Figura 54d); en tanto que en los envases de PETE se mantuvo constante durante todo el periodo de almacenamiento con concentraciones que fueron de 0.1 a 1.4% de CO_2 .

Las concentración de CO_2 en los empaques que contenían los arilos tratados con ozono fue menor que la concentración alcanzada en los empaques que contenían arilos desinfectados con cloro.

Numerosos autores como Conte *et al.* (2009), Saxena *et al.* (2008), Sandhya *et al.* (2007), Rojas (2005), Montero-Calderón y Cerdas-Araya (2011), Oluwafemi *et al.* (2012), Mangaraj *et al.* (2009), etc. han estudiado el efecto de las atmósferas modificadas en diversos productos



mínimamente procesados y han reportado una disminución en la concentración de O₂ y un aumento en la de CO₂ concordando con los resultados aquí presentados.

El cambio en la composición gaseosa en los espacios de cabeza de los empaques se atribuye a la actividad respiratoria del producto, pero además el desarrollo de la composición gaseosa es dependiente marcadamente de la permeabilidad de los films de empaque, área de transferencia y temperatura de almacenamiento (Baur *et al.*, 2004).

Los rápidos cambios en la composición de oxígeno y de CO₂ en el espacio de cabeza pueden ser explicados por los altos rangos de respiración de 1.15, 1.5 y 30.8 ml /Kg h reportados por López- Rubira *et al.* (2005), Ersan *et al.* (2010) y García *et al.* (2000) para arilos de granada mínimamente procesados. Además, los altos niveles de O₂ y bajos de CO₂ dentro de los envases de arilos de granada mínimamente procesada conservada en películas de PETE indican que la permeabilidad a los gases de esta película fue muy alta o que hubo una gran área de transferencia y por lo tanto, estos empaques presentaron una composición gaseosa cercana a los valores del aire (21% de O₂). En cambio la rápida disminución de los niveles de oxígeno y la acumulación de CO₂ dentro de los envases de los tratamientos con películas coextruida y de PS indican una menor área de transferencia o que la permeabilidad al oxígeno y al CO₂ de estos materiales es baja y que es mucho menor en la película coextruida la cuál presentó el menor contenido de O₂ y la mayor concentración de CO₂ al final del almacenamiento.

Bibliográficamente se han recomendado diversas composiciones atmosféricas para la conservación de arilos de granada y productos mínimamente procesados. Rojas-Grau *et al.* (2009) recomendó para mínimamente procesados concentraciones de CO₂ del 5 al 10% y de 1 a 5% de O₂; Artés *et al.* (1998) recomendó una atmósferas modificadas de 5% de O₂ + 0-5% de CO₂ para arilos de granada variedad Mollar mínimamente procesados almacenados a 5°C, en tanto que Kader (1995) recomendó una composición de 3 a 5% de O₂ + 5-10% de CO₂; Gil *et al.* (1996) seleccionó una atmósfera con 13.5% de O₂ y 7.5% de CO₂, mientras que Palma *et al.* (2009) propuso 6.5% de O₂ y 11.4% de CO₂ para conservar arilos de granada variedad Primosole.

Tomando en cuenta las recomendaciones y los resultados aquí presentados, se puede observar que en los envases con películas coextruidas y de poliestireno rebasaron las concentraciones de CO₂ recomendadas desde el día 8 de almacenamiento. Para estos empaques, la rápida disminución de oxígeno y los altos niveles de dióxido de carbono alcanzados, permitieron establecer un metabolismo anaerobio en los arilos de granada. Los altos niveles de CO₂ inhiben las enzimas responsables del metabolismo respiratorio donde la producción de CO₂ es



acompañada del consumo de O₂. Cuando un metabolismo anaeróbico es establecido, la producción de CO₂ ocurre a expensas del sustrato del vegetal, usando una vía fermentativa. Este metabolismo permite no solamente la acumulación de CO₂, sino también la aparición de productos como el etanol y ácido láctico que afectaran las características del producto empacado generando cambios sensoriales indeseables, como por ejemplo los cambios presentados en la acidez y otros tantos que conduciendo a la pérdida de comerciabilidad y fin de la vida útil del producto.

En cuanto a los envases elaborados con películas de PETE se tuvo que las concentraciones de CO₂ recomendadas no fueron rebasadas luego de 12 días de almacenamiento, pero las concentraciones de oxígeno encontradas sí estuvieron por encima de los recomendados, sin que se generara modificaciones significativas respecto al aire ambiental. Sin embargo, en estos envases se alcanzó una vida útil de 10 días debido a que a los 12 días se presentaban olores de fermentación.

La vida útil de entre 8 a 10 días marcada en este estudio fue superior a los 7 días establecidos por Gil *et al* (1996) e igual a los 10 días de vida útil macados por Palma *et al.* (2009) y por García *et al.* (2000).

5.8 Evaluación sensorial de arilos de granada bajo diferentes atmósferas modificadas y desinfectadas con cloro y ozono.

La calidad de un alimento está determinada por diferentes aspectos: cantidad y calidad de los nutrientes que lo contienen y la calidad y seguridad sanitaria. Sin embargo lo que determinará la aceptación o rechazo del mismo está relacionado con la percepción subjetiva del consumidor, es decir aspectos ligados a la preferencia del color, sabor, textura, consistencia, presentación, etc. del producto. Por esto es importante que al introducir un alimento al mercado o cambiar algún aspecto del mismo realizar pruebas sensoriales al grupo al cual va dirigido el alimento (Lira, 2007).

La prueba triangular aplicada a panelistas permitió conocer si existía alguna diferencia perceptible en los arilos de granada mínimamente procesada generada por los diferentes materiales de envasado, sin tener que especificar la naturaleza de la posible diferencia. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 21.

Los panelistas que realizaron la prueba sensorial en la mayoría de sus juicios no fueron capaces de diferenciar cuál de las muestras era diferente en la comparación de las tres películas de envase (Tarrina PETE, Vaso PS y Vaso PCE).



Tabla 21. Asertividad de la prueba triangular efectuada entre los diferentes empaque para arilos de granada mínimamente procesada evaluada por 7 panelistas

Días	Tarrina (PETE) vs Vaso (PS)		Tarrina (PETE) vs Vaso (PCE)		Vaso (PS) vs Vaso (PCE)	
	Aciertos	Errores	Aciertos	Errores	Aciertos	Errores
1	4	8	6	6	6	6
4	8*	4	8*	4	8x*	4
8	4	8	5	7	5	7

*Representa que hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

En general sólo en el día 4 de almacenamiento los panelistas identificaron diferencia entre los envases ($P \leq 0.05$), atribuida probablemente al aumento en la concentración de CO_2 dentro del empaque, generando un efecto de los envases en el perfil de sabor y olor de las muestras (ligero olor a compuestos de fermentación) principalmente observado en los envases de PS y PCE.

Arias (2012) realizó una prueba discriminativa triangular con el fin de determinar si existía diferencia en la calidad de manzana lista para consumir al ser colocada y almacenada en diferentes películas plásticas (PE, PETE y PVDC) y encontró que al evaluar los envases en la mayoría de los juicios los panelistas no fueron capaces de identificar cuál de las muestras era diferente. Solo las manzanas empacadas en PE comparadas con las empacadas en PVDC los panelistas encontraron diferencia significativa en la mayoría de los días de almacenamiento, lo que indico un efecto del empaque en el sabor y aroma de las muestras.

Por otro lado se les pidió a los panelistas que indicaran en cada set evaluado qué muestra preferían. Los resultados obtenidos de esta prueba se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Porcentaje de preferencia en la comparación de los tratamientos de envase.

Días	Preferencia (%)		Preferencia (%)		Preferencia (%)	
	Tarrina PETE	Vaso PS	Tarrina PETE	Vaso PCE	Vaso PS	Vaso PCE
1	50.0	50.0	25.0	75.0	75.0	25.0
4	50.0	50.0	41.6	58.3	58.3	41.6
8	83.3	16.6	41.6	58.3	41.6	58.3

De acuerdo a los resultados presentados, no se observó una marcada preferencia de parte de los penalistas por alguno de los materiales de empaque.



Al comparar los arilos empacados en películas PETE con los de PS durante los primeros 4 días de almacenamiento se tuvo un 50% de preferencia para cada empaque, solo en el día 8 se observó una marcada preferencia por los arilos empacados en PETE; dicha preferencia fue 66.6% mayor respecto a los arilos empacados en vasos de PS. Esto se pudo deber a que las películas de PETE preservaron la calidad de los arilos al mantener un adecuado intercambio gaseoso sin la formación de olores de fermentación, mientras que el envase de PS generó cambios indeseables en las características del producto por la acumulación de CO₂, generando una pérdida de su calidad y por lo tanto el rechazo por parte de los jueces.

Posteriormente al comparar los empaques de PETE con los PCE, durante todo el periodo de almacenamiento los panelistas prefirieron las muestras que fueron empacadas en PCE y en la comparación de los empaques de PS y PCE, durante los primeros 4 días de almacenamiento los panelistas señalaron preferencia por los empaques de PS y en el día 8 los jueces prefirieron los empaques de PCE.

De acuerdo al análisis estadístico solo se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la aceptación de las muestras de arilos, cuando se compararon las muestras empacadas en tarrinas de PETE con las muestras colocadas en vasos de PS por lo tanto, se puede decir que los arilos empacados en películas de PETE presentaron mejores características sensoriales y fueron preferidas por los jueces.

Un gran número de investigadores han evaluado el efecto de diversas películas de empaque y atmósferas modificadas sobre la calidad de productos frescos y mínimamente procesados: Kartal *et al.* (2012) evaluaron el efecto del uso de diferentes films micro perforados en la estabilidad de fresas frescas y señalaron que la aceptación del producto fue afectada por los diferentes tratamientos de empaçado.



Conclusiones y Recomendaciones



Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que:

- El uso de diferentes tratamientos de desinfección (cloro, ozono, solución de plata coloidal, luz ultravioleta (UV-C) mostraron efectividad al alargar la fase lag del desarrollo microbiano en comparación con los arilos control sin embargo, fueron los arilos tratados con cloro a 70 ppm y ozono por 3 min los que presentaron mayor efectividad en la reducción de la carga microbiana y el menor efecto en los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles) a lo largo del almacenamiento.
- La desinfección con ozono representó una buena opción como método de desinfección alternativo al cloro ya que se obtuvo un producto de buena calidad sensorial, nutricional y una aceptable calidad microbiológica de acuerdo a la normatividad de productos mínimamente procesados.
- En la comparación de los tres empaques (polietileno tereftalato, poliestireno y película coextruida) utilizados para la conservación de granada mínimamente procesada se observó que hubo una modificación de la composición atmosférica a su alrededor. Las diferentes concentraciones de CO₂ y O₂ ejercieron un efecto significativo en la calidad (contenido de fenoles totales, antocianinas totales, carga microbiana, diferencia y aceptación sensorial) de los arilos de granada mínimamente procesada.
- Las pruebas sensoriales (triangular y de preferencia) en los arilos de granada mínimamente procesada almacenados en diferentes envases permitieron establecer que el envase influyó en la conservación del producto a través de la composición gaseosa generada, mostrándose una marcada preferencia por los arilos empacados en películas de PETE.
- Los empaques de poliestireno y película coextruida, generaron altas concentraciones de CO₂ lo que provocó desórdenes fisiológicos con la consecuente formación de olores de fermentación y fomentó la pérdida de calidad del producto (disminución de tono y aceptación sensorial) alcanzando una vida útil de 6-8 días a 4°C, por lo que fueron deficientes en la conservación de granada mínimamente procesada.



- El envase de polietileno tereftalato, logró una modificación apropiada de la atmósfera y fue efectiva para mantener la calidad y aceptación de los arilos de granada mínimamente procesada controlando los cambios de acidez, en azúcares y valor nutritivo (contenido de fenoles), obteniéndose un producto estable desde el punto de vista microbiológico con una vida útil de al menos 10 días.



Recomendaciones

El trabajo de investigación aquí planteado y desarrollado es solo el inicio de una investigación que tiene como fin generar conocimiento en cuanto a los beneficios del consumo de granada como alimento funcional y en cuanto a su conservación como producto mínimamente procesado que permita revalorar las variedades nacionales, fomentar su consumo y el aumento de su producción en el país. Por tanto, con base en los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda para los trabajos futuros:

- Evaluar el efecto de los agentes desinfectantes y atmósferas modificadas utilizadas en este estudio sobre los cambios en la capacidad antioxidante (responsable de las propiedades funcionales de la granada), así como cambios en la vitamina C.
- Evaluar el efecto de otros empaques con diferentes permeabilidades al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua (películas de polipropileno, cloruro de polivinilo, polietileno, de alta y baja densidad, films micro perforados y películas coextruidas), sobre la calidad de granada mínimamente procesada.
- Evaluar el efecto de otros agentes desinfectantes y tecnologías de desinfección alternativas al cloro (ácidos orgánicos, ultrasonido, peróxido de Hidrogeno, agua electrolizada) así como diferentes tiempos de desinfección y la combinación de estos agentes y tecnologías en la disminución de la carga microbiana, sobre los parámetros nutricionales y de calidad en los arilos de granada.
- Evaluar las diferentes variedades de granada producidas en México (Apaseo y Apaseo tardía) para establecer las diferentes susceptibilidades a los tratamientos del mínimo proceso, para de esta manera mejorar su manejo poscosecha.
- Realizar un estudio microbiológico específico en los arilos de granada mínimamente procesada mediante la determinación de patógenos como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp* para asegurar la inocuidad de este producto, así como para determinar la efectividad de los desinfectantes en la eliminación de estos microorganismos.



- Evaluación de atmósferas controladas (8% de O₂+ 10% de CO₂; 12% de O₂+ 2% CO₂; 13.5% O₂+ 7.5% CO₂) en la conservación de granada mínimamente procesada.
- Cuantificar el contenido de etanol y acetaldehído como producto de la respiración anaerobia.



Bibliografía



- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M., Smid, E.J., 2000. High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots. *J. Food Sci.*, 65: 61-66.
- Ahmed, J., Shivhare, U. S., y Raghavan, G. S. V. (2004). Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree. *European Food Research and Technology*, 218: 525–528.
- Ahn, H-J., Kim, Jj-h., Kim, j-k., Kim, D-H., Yook, H-S., Byun M-W. (2005). Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa L.*). *Food Chemistry*, 89: 589–597.
- AINIA (2010). Centro de investigación y desarrollo tecnológico del sector agroalimentario. Estudio de tendencias prospección del mercado. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.ainiadisal.es/publico/docs/Prospecci%C3%B3n%20y%20tendencias%20IV%20gama.pdf>.
- Akbarpour, V., Hemmati, K., y Sharifani, M. (2009). Physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit in maturation stage. *American-Eurasian Journal Agricultural and. Environmental Science*, 6: 411–416.
- Alexandre M. C., Brandão R. S. y Silva L. M. (2012). Emerging Technologies to Improve the Safety and Quality of Fruits and Vegetables. Consultado en Noviembre 2012. Disponible en <http://www.springer.com>
- Alexandre, S. P., Brandão, S. (2011). Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. *Food Engineering*, 105: 277–282.
- Alexopoulos A., Plessas, S., Cechiu, S., Lazar, V., Mantzourani, I., Voidarou C., Stavropoulou, E. y Bezirtzoglou E. (2012). Evaluation of ozone efficacy on the reduction of microbial population of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa*) and green bell pepper (*Capsicum annum*). *Food Control*, 30: 491-496.
- Alighourchi H., Barzegar M. y Abbasi S. (2008). Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (*Punica granatum L.*) varieties and their variation after cold storage and pasteurization. *Eur Food Res Technol*, 227: 881–887.
- Alighourchi H., Barzegar M. y Abbasi S. (2007). Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (*Punica granatum L.*) varieties and their variation after cold storage and pasteurization. *Eur Food Res Technol*, 227:881–887.



- Allende, A. F., Tomás-Barberán, A. y Gil M.I. (2006) Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 513–519
- Allende, A. y Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Res. Intl.* 36: 739-746.
- Al-Maiman, S.A.y Ahmad, D., (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit maturation. *Food Chem*, 76: 437–441.
- Alothman M., Kaur B., Fazilah A., Bhat R., Karim A. A. (2010). Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 666–671
- Alothman, B., K. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut cut tropical fruits. *Food Science and Emerging Technologies*, 10: 512–516.
- Amanatidou, A., Smid, E. J., y Gorris, L. G. M. (2000). Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated microorganisms. *Journal of Applied Microbiology*, 86, 429–438.
- AMPEX. Asociación macroregional de productores para la exportación (2006). Perfil de mercado de la granada fresca. Consultado en Noviembre 2012. Disponible en: www.ampex.com.pe/download_file.php?f=perfil-granada.pdf
- AOAC: Association of Official Analytical Chemists, 1984. *Official Methods of Analysis*, 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists. USA.
- Arias B., M. J. (2012). Evaluación sensorial de productos vegetales para el control de calidad en empresas comercializadoras y productoras. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. FES Cuautitlán UNAM. México.
- Artés H., Aguayo E., Gómez P. (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la "cuarta gama". *Hortícola Internacional*, 69: 52-57
- Artés-Calero y Artés-Hernández, F. (2003). Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos procesados en fresco. En: M.G. Lobo y M. González (Eds.). *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*.(Eds.) Gobierno de Canarias. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. España. 57-78.
- Artés, F. (2000). Productos vegetales procesados en fresco, en: M. Lamúa (Ed.). *Aplicación del frío a los alimentos*. Cap. 5: 127-141. Mundi Prensa, España.
- Artés-Calero, F. y Artés- Hernández, F. (2000). Innovación industrial en el procesado mínimo de frutas y hortalizas. *Revista sobre agroalimentación e industrias afines*. Barcelona. 40: 35-41



- Artés, F., Marin, J.G., Martínez, J.A., (1998). Permeability rates of films for modified atmosphere packaging of respiring foods. In: Nicolai, B.M., De Baerdemaeker, J. (Eds.), Food Quality Modelling. Food Quality. European Commission, Leuven, pp. 153–157.
- Ayala-Zavala, J.F., Del-Toro-Sánchez, L., Alvarez-Parrilla, E., González- Aguilar, G.A. (2008) High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: advantage or disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering systems? J. Food Sci., 73: R41–R47.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y., y González-Aguilar, G.A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. Food Technol. Biotech, 45: 166-173.
- Babic, I., Hilbert, G., Nguyen-the, C., Guiraud, J.(1992). The yeast flora of stored ready-to-use carrots and their role in spoilage. Int. J. Food Sci. Technol, 27: 473–484.
- Badui (1990). Química de alimentos. Alhambra mexicana. México.
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. y Baker, R.A. (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 35: 509-524.
- Barka, E.A., Kalantari, S., Makhlouf, J., y Arul, J. (2000). Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. J. Agric. Food Chem. 48: 667–671.
- Bataller-Venta, M., Cruz-Broche, S., García-Pérez, M. (2010). El ozono: una alternativa sustentable para el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41: 155-164.
- Baur, S., Klaibera, R., Peter H. W., Carlea, R. (2004). Sensory and microbiological quality of shredded, packaged iceberg lettuce as affected by pre-washing procedures with chlorinated and ozonated water. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5: 45–55.
- Bautista, M. F. y Corrales G. J. (2004). Efecto de dos atmosferas modificadas sobre la fisiología del nopal verdura (*Opuntia Spp.* Variedad Atlixco) mediante procesado. Industria alimentaria. 26: 10-19.
- Beaulieu, J. C. y Lea, J. M. (2003). Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAO. Postharvest Biology and Technology, 30: 15-28.



- Beltran, D., Selma, MV., Marín, A., Gil. MI. (2005) Ozonated water extends the shelf life of fresh cut lettuce. *J Agric Food Chem*, 53: 54–63.
- Bermúdez-Aguirre D. y Barbosa-Cánovas G. (2013). Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine. *Food Control*, 29: 82-90.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. y Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review. *J. Sci. Food Agr.*, 80: 637–645.
- BOE. Boletín Oficial del Estado. (2001). Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas, Madrid, Spain, Real Decreto 3484/2000, pp. 1435–1441.
- Borochoy-Neori, H., Judeinstein, S., Tripler, E., Harari, M., Greenberg, A., Shomer, I., Holland, D. (2009). Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit. *J. Food Compos Anal*, 22:189–195.
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity. Food Technology International Series, (2nd ed.). San Diego, CA: Academic Press.
- Brecht, J.K., Chau, K.V., Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Silva, F.M., Nunes, M.C.N., Bender, R.J. (2003). Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 87–101.
- Brouillard, R., (1982). Chemical structure of anthocyanins. In: Markakis, P. Anthocyanins as Food Colors. Food Science and Technology. Academic Press, London, pp. 1–40.
- Burgheimer,, F., McGill, J.N., Nlson, A.I., Steinberg, M.P. (1967). Chemical changes in spinach stored in air and controlled atmosphere. *Food Technol*, 21:1273-1275.
- Cabrita, L., Fossen, T., y Andersen, O. M. (2000). Colour and stability of the six common anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions. *Food Chemistry*, 68: 101–107.
- Callegari, S. y Tirado, H. (2006). Factibilidad económica de los productos agroindustriales de *cuarta gama* en los mercados de las regiones IV, V y metropolitana. Proyecto Seminario Superior en Finanzas Para optar al título de Ingeniero Comercial. Universidad católica del norte. Chile.
- Cam, M., Hisil, Y. y Durmaz, D. (2009). Characterization of pomegranate juices from ten cultivars grown in Turkey. *Int. J. Food Prot.*, 12: 388–395.



- Caner, C., Seckin M. y Demir, M. (2008). Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *Eur Food Res Technol*, 227:1575–1583.
- Carbone, B. y Calin, S. (2012). La granada cultivada en España el zumo y su extracto propiedades beneficiosas para la salud. Universidad Miguel Hernández. España.
- Carlin, F., Nguyen-the, C., Cudennec, P., y Reich, M. (1989). Microbiological spoilage of ready-to-use grated carrots. *Sciences Des Aliments*, 9: 371–386.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M. de L., Paez-Hernandez, M. E., Rodriguez J. A., Galan-Vidal C.A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113: 859–871.
- Castañón G. (2008). Pontencial antiplaca de jugo de granada (*Punica granatum L.*) Tesis de licenciatura de Químico farmacéutico biólogo. Facultad de química. UNAM. México.
- CODEX ALIMENTARIUS. (2007) Frutas y Hortalizas Frescas. FAO y OMS. Italia.
- Conte, C., Scrocco, I. Brescia, M.A. Del Nobile (2009). Packaging strategies to prolong the shelf life of minimally processed lampascioni (*Muscari comosum*). *Journal of Food Engineering*, 90: 199–206.
- Contreras, N. S. (2010). Efecto de la aplicación de vitamina E sobre la vida útil de manzana fresca cortada. Ingeniería en Alimentos. Tesis de licenciatura FES Cuautitlán. UNAM. México.
- Corbo M.R., Speranza. Campaniello, D'Amato y Sinigaglia M. (2010). Fresh-cut fruits preservation: current status and emerging technologies. En: Mendez-Vilas, A (Ed). *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 1143-1154. Formatex. Italia.
- Crisosto, C. H. L, Mitcham, J. E. y Kader, A. A. (2007). Pomegranate. Recommendations to maintaining postharvest quality. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/fruits>
- Cruz, C. H. (2006). Envases para Atmósfera Modificada. *Mundo alimentario*, 18:16-18
- Cullen, P. J., Valdramidis, B. K., Tiwari, B. K., Patil, S., Bourke, P., y O'Donnell, C. P. (2010). Ozone processing for food preservation: an overview on fruit juice treatments. *Ozone: Science y Technology*, 32: 166-179.
- D'Aquino, S., Palma, A., Schirra, M., Continella, A., Tribulato, E., y La Malfa, S. (2010). Influence of film wrapping and fludioxonil application on quality of pomegranate fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 55: 121–128.



- Debevere, J., (1996). Criteria en praktische methoden voor de bepaling van de houdbaarheidsdatum in de etikettering. In: Etikettering houdbaarheid en bewaring (voedingsmiddelen en recht 2). Die Keure, Brugge, Belgium, pp. 37–64.
- Del Nobile, M.A. (2009). Packaging strategies to prolong the shelf life of minimally processed lampascioni (*Muscari comosum*). Journal of Food Engineering, 90: 199–206.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Vidal, N., Lesgards, J.F., Stocker, P., (2006). Screening of some Algerian medicinal plants for the phenolics compounds and their antioxidant activity. Eur. Food Res. Technol, 224: 801–809.
- Domínguez y Parzanese. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. Revista Alimentos Argentinos. Edición 52. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. República Argentina.
- ECOEMBES. (2009). Embalajes Españoles. Hábitos de consumo y generación de residuos de envases. Consultado en noviembre 2012. <http://envases/embalajes/España.es>.
- Eiro, M. J., y Heinonen, M. (2002). Anthocyanin color behavior and stability during storage: Effect of intermolecular copigmentation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50:7461–7466.
- Erkan, M., Wang, C. Y. and Krizek, D.T. (2001). UV-C radiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. Environm. Exper.Botany, 45: 1–9.
- Ersan, S., Gunes, G., Zor, A.O., (2010). Respiration rate of pomegranate arils as affected by O₂ and CO₂, and design of modified atmosphere packaging. Acta Hort. 876: 189–196.
- Erturk E. y Picha D. H. (2005). Microbiological quality of fresh-cut sweet potatoes. Internatl. J. Food Science Technol, 40: 1-9
- Esturk O., Ayhan Z., Ustunel U. A. (2012). Modified Atmosphere Packaging of “Napoleon” Cherry: Effect of Packaging Material and Storage Time on Physical, Chemical, and Sensory Quality. Food Bioprocess Technol, 5: 1295–1304
- Fadavi, A., Barzegar, M., Azizi, M.H., Bayat, M., (2005). Physicochemical composition of 10 pomegranate cultivars (*Punica granatum L.*) grown in Iran. Food Sci. Technol. Int, 11: 113–119.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2006). GRANADA (*Punica granatum L.*). Consultado en Diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.fao.org>.



- Faten, Z., Mena P., Garcia-Viguera, M. (2012). Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars industrial Crops and Products. 40: 81– 89.
- FDA. Food and Drug Administration. (2007). Approximate pH of foods and food products. Consultado en Enero 2013. Disponible en: www.cfsan.fda.gov.
- Fennema, R. O. (2002). Química de los alimentos. 2ª edición. Acribia. España.
- Feryal V., Kazem A., Mohsen B., Zabihollah Z. (2012). Changes in anthocyanins in arils of chitosan-coated pomegranate (*Punica granatum L. cv. Rabbab-e-Neyriz*) fruit during cold storage. Food Chemistry, 130: 267–272.
- Fillion, L. y Kilcast, D. (2002). Consumer perception of crispiness and crunchiness in fruits and vegetables. Food Quality and Preference, 13: 23-29.
- Filiz, T., Mine, G. O: Tug D., Beraat, O. F., Bedia E.(2009).Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. Food Chemistry. 115: 873–877
- Font. (1979). Plantas medicinales. El Dioscórides renovado. Labor, S.A. 5ª ed. España.
- Forget, F.C. y Gaillard, F.A., (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis Cv. William*) Polyphenol oxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. J. Agric. Food Chem, 45: 2472–2476.
- Forosperu (2012). Comida mexicana. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.forosperu.net/showthread.php?t=352732>.
- Fortiz-Hernández J., Rodríguez-Félix A. (2010). Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 11: 180-190.
- Francis, G. A., Thomas, C., y O’Beirne, D. (1999). The microbiological safety of minimally processed vegetables. International Journal of. Food Science y Technology, 34: 1-22.
- FRUTAR. Frutos Argentinos (2011). Granada. Consultado en: Diciembre 2012. Disponible en: http://adeformosa.org.ar/archivos/archivos_seminarios_conferencias_frutar_2011/granadas_argentinas.pdf.
- Frutihortícola (2012). Variedades de granada. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.tikagroup.com/stage/descargas/05>



- García M., A.D. y Praderas C., G. M. (2010). Influencia del Cloruro de Calcio y de un Tipo de Empaque sobre las Propiedades Físicoquímicas y la Textura de la Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) Durante el Almacenamiento. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 63(1): 5417-5427.
- García-Viguera, C. y Pérez-Vicente, A. (2004). La granada. Alimento rico en polifenoles antioxidantes y bajo en calorías. *Alim., nutri. Salud*, 11(4): 113-120.
- García E., Salazar, D. M., Melgarejo, P. and Coret, A. (2000). Determination of respiration index and of the modified atmosphere inside the packaging of minimally processed products. *Série A. Séminaires Méditerranéens*. 42: 247-251.
- Gil, I, Allende A., Beltrán D., Selma M.V. (2011). Nuevas Tendencias de Procesado y Conservación de Alimentos Vegetales de IV Gama. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/5778/1/CEBAS_AGROCSIC.pdf
- Gil, M. I. (2006). Calidad y Seguridad de Alimentos de IV gama (2012). Consultado en Octubre 2012. Disponible en: <http://calidad.fundacionidea.com/iiiicongreso/ponencias/x1330.pdf>
- Gil M. I, (2005). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. *Food Chemistry*, 48: 4581–4589.
- Gil, M. I., Barberán, F.A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D.M., Kader, A.A, (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 4581–4589.
- Gil, M.I., Holcroft, D.M., Kader, A.A., (1997). Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1662–1667.
- Gil, M.I., Martínez, J.A., Artés, F., (1996). Minimally processed pomegranate seeds. *Lebensm. -Wiss. U-Technol*. 29: 708– 713.
- Gil, M.I., Artés, F., Tomás-Barberán, F.A., (1996). Minimal processing and modified atmosphere packaging effects on pigmentation of pomegranate seeds. *J. Food Sci*. 61: 161–164.
- Gil, M.I., García-Viguera, C., Artés, F., Tomás-Barberán, F.A. (1995). Changes in pomegranate juice pigmentation during ripening. *J. Sci. Food Agric*. 68: 77–81.
- Giusti, M., y Wrolstad, R. E. (2005). *Handbook of Food Analytical Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy*. New York. John Wiley y Sons.



- Gómez-López VM, Rajkovic A, Ragaert P, Smigic N, Devlieghere F. (2009). Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 20: 17–26.
- Goncalves, B., Silva, A. P., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E., y Meyer, A. S. (2007). Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium L.*). *Food Chemistry*. 103: 976–984.
- González O., M.G., Guzmán M., I. (2011). Efecto de películas comestibles formuladas base de alginato y gretina en la vida útil del mango cortado listo para consumir. Tesis de licenciatura. Ingeniería en alimentos. FES Cuautitlán. UNAM. México.
- González-Aguilar, G.A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Tellez, M.A., Villegas-Ochoa, M.A., Monroy-García, I.N., Ayala-Zavala, J.F., (2009). Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *J. Sci. Food Agric.*, 89: 15–23.
- González-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A, Martínez-Téllez, Garden A. A. y J. F. Ayala –Zavala (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *J. Food Sci.*, 72: 197-202.
- Gopal, A., Coventry, B, Wan, J., Roginski H., Ajlouni S. (2010). Alternative disinfection techniques to extend the shelf life of minimally processed iceberg lettuce. *Food Microbiology*, 27: 210–219.
- Gorris, L y Peppelenbos, H. (1999). *Handbook of food Preservation*. New York-Basel. USA.
- Guevara J. C. (2010). *Empacado de alimentos*. Trillas. Primera edición. México.
- Gutiérrez- Avella, D. M, Ortiz-García, C. A., Mendoza-Cisneros A. 2008. Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimento animal. *Symposium de metrología*. (2008). Santiago de Querétaro. Querétaro. México. 1108: 1-5.
- Güzel-Seydim Z, Bever PI, Greene AK. (2004) Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. *Food Microbiol*, 2: 475–9.
- Heaton, J.W. y Marangoni, A.G. (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends Food Sci. Technol.* 7: 8–15.
- Hernández AF, Robles PA, Gómez PA, Callejas TA, Artés F. (2010) Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Tech.*, 55:114-20.



- Hamidreza A., Barzegar M., Abbasi S. (2007). Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties and their variation after cold storage and pasteurization. *Eur Food Res Technol.* 227: 881–887.
- Hoigné, J., y Bader, H. (1983). Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water. I: Non-dissociating organic compounds. *Water Research*, 17: 173–183.
- Holcroft, D. M., y Kader, A. A. (1999a). Carbon dioxide-induced changes in colour and anthocyanin synthesis of stored strawberry fruit. *HortScience.* 34: 1244–1248.
- Holcroft, D.M., Kader, A.A., (1999b). Controlled atmospheres-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology.* 17:19–32.
- Holcroft, D.M., M.I. Gil, and A.A. Kader. (1998). Effect of carbon dioxide on anthocyanins, phenylalanine ammonia lyase and glucosyltransferase in the arils of stored pomegranates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 136-140.
- Hollósy F. (2002) Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron.*,33(2):179–97.
- Hormazabal Torres, P. A. (1999). Efecto de la IV gama en la mezcla de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo escarole y palta (*Persea Americana Mill*) cus edranol, hass y negra de la cruz. Tesis de licenciatura de Alimentos. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota. Chile.
- Horticom. (2011). IV gama. Consultado en Diciembre 2012 disponible en: www.horticom.com
- IFPA (2003). Flexible packaging material basics. En J. R. Gorny (Ed.). Alexandria, VA: International Fresh-cut Produce Association. USA.
- INFOAGRO. (2012). La granada. Consultado en Agosto 2012. Disponible en http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/granado.htm.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (2001). Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology*, 71: 197–210.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Ragaert, P., Vanneste, E., Debevere, J. (2003). Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *Int. J. Food Microbiol.* 83: 263–280.



- James J. B. y Ngarmsak T. (2010). Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. RAP PUBLICATION FAO. Oficina regional para Asia y el Pacífico. Bangkok.
- Kabir, H. (1994). Fresh-cut vegetables. En: A. L. Brods, y V. A. Herndon, Modified atmosphere food packaging Naperville, Illinois: Institute of Packaging Professionals.
- Kader, A.A. (1995). Regulation of fruits physiology by controlled and modified atmosphere. *Acta Hort.* 398: 59–70
- Kader, A. A. (2003). Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. In O. Lamikanra (Ed.), *Fresh-cut fruits and vegetables. Science, Technology and arket.* Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kader, A.A. (2006). Postharvest biology and technology of pomegranates. En: Seeram, N.P., Schulman, R.N., y Heber. D. *Pomegranates. Ancient roots to modern medicine.* Boca Raton: CRC Press-Taylor y Francis. USA. 211-218.
- Kader, A.A., Chordas, A. y Eliatem, S. M. (1984). Responses of pomegranates to ethylene treatment and storage temperature. *California Agriculture.* 38(7-8): 14-15.
- Kader A.A. y Mitcham J.E. (1998). Standaritation of quality. In *fresh-cut products: maintaining quality and safety UC Davis Postharvest hort. Series No 10.*
- Kartal, S. (2012). Seckin A. M., Caner C. Use of microperforated films and oxygen scavengers to maintain storage stability of fresh strawberries. *Postharvest Biology and Technology,* 71: 32–40.
- Keyser, M., Muller I.A., Cilliers, F.P., Nel, W., Gouws, P.A. (2008) Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innov Food Sci Emerg Tech.,* 9: 348–54.
- Khorshidi, S., Gholamhossein, D., Tehranifar, A. y Fallahi, E. (2011). Effect of Modified Atmosphere Packaging on Chemical Composition, Antioxidant Activity, Anthocyanin, and Total Phenolic Content of Cherry Fruits. *Hort. Environ. Biotechnol.,* 52(5): 471-481.
- Kim, J. G., Yousef, A. E., y Chism, G. W. (1999). Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *Journal of Food Safety,* 19: 17-33.
- Kulkarni A. P.y Mallikarjuna S. A. (2004). Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. *Food Chemistry,* 93: 319–324.
- Lamikanra, O. (2002). *Fresh-cut Fruit and Vegetables science, technology, and marked.* CR PRESS. New York USA.



- Laranjinha, J., Vieira, O., Madeira, V., Almeida, L., (1995). Two related phenolic antioxidants with opposite effects on vitamin E content in low density lipoproteins oxidized by ferrylmyoglobin: consumption versus regeneration. *Arch. Biochem. Biophys.* 323: 373–381.
- Lee, J.Y., H.J. Park, C.Y. Lee, W.Y. Choi. (2002). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Technol*, 36: 323–329.
- Legnani O. P. y Leoni E. (2004). Effect of processing and storage conditions on the microbial quality of minimally processed vegetables. *Internatl. J. Food science Technol.* 39: 1061-1068.
- León, A. (2009). Propuesta tecnológica para la conservación del champiñón (*Agaricus bisporus*) refrigerado mínimamente procesado. Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
- Lira D. M. R. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Agrosalud. Lima Perú.
- López, L. M., (2011). Contribución al estudio químico de *Punica granatum L.* (Granada). Tesis de licenciatura de Químico farmacéutico biólogo. Facultad de química. UNAM. México.
- López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A., Artés, F., (2005). Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology* 37, 174–185.
- Lucera, A., Costa, C., Mastromatteo, M., Conte, A., Del Nobile M. A. (2010). Influence of different packaging systems on fresh-cut zucchini (*Cucurbita pepo*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 361–368.
- Mangaraj, S., Goswami, T. K. y Mahajan, P. V. (2009). Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 1: 133–158.
- Marchetti, R., Casadei, M. A. y Guerzoni, M. E. (1992). Microbial population dynamics in ready-to-use vegetable salads. *Italian Journal of Food Science*, 2: 97–108.
- Martínez, J. J., Melgarejo, P., Hernandez, F., Salazar, D. M. y Martinez, R. (2006). Seed characterization of five new pomegranate (*Punica granatum L.*) varieties. *Scientia Horticulturae*, 110: 241–246.



- Martínez-Romero D., Castillo, S., Guillén, D., Díaz-Mula, H., Zapata, P., Valero, D., Serrano, M. (2013). Aloe vera gel coating maintains quality and safety of ready-to-eat pomegranate arils. *Postharvest Biology and Technology*, 86: 107–112.
- Matak K. E. (2004). Effect of UV irradiation on the reduction of the bacterial pathogens and chemical indicators of milk. Thesis. Polytechnic Institute and State University. Blacksburg: Virginia. USA
- Mateos, M., K, D., Cantwell, M., Kader, A.A., (1993). Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂-enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.*, 3: 225–233.
- Matile, P., Hörtensteiner, S., Thomas, H. (1999). Chlorophyll degradation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50: 67–95.
- McGuire R., (1992). Reporting of objective color measurements. *Hot Science*, 27(12). 1254-1255.
- Medeni M. (2004). Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: colour degradation and kinetics. *Journal of Food Engineering*, 72: 218–224.
- Melgarejo, M. P. (1993). Selección y tipificación varietal del granado (*Punica granatum* L.). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Melgarejo, M. P. (2010). El granado, su problemática, producción, economía, industrialización, alimentación y salud, y usos. Folleto: *I Jornadas nacionales sobre el granado*. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España.
- Melgarejo, M. P., Salazar, D. M. y Artés, F. (2000). Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. *European Food Research and Technology*, 211: 185-190.
- Melgarejo, M.P., Sánchez, A.C., Vázquez-Araújo, L., Hernández, F., José-Martínez, J., Legua, P., Carbonell-Barrachina, A.A., (2011). Volatile composition of pomegranates from 9 Spanish cultivars using headspace solid phase microextraction. *J. Food Sci.* 76: 114–120.
- Mendoza S. (2005). Estudio de plata coloidal como desinfectante de agua por normas oficiales mexicanas y por microscopía electrónica en *Escherichia coli* y *Streptococcus suis* Tesis de licenciatura de Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.



- Mercado M. J., Mondragón J. C., Rocha Peralta, L., Álvarez Mayorga, B. (2011). Efecto de condición de fruto y temperatura de almacenamiento en la calidad de granada roja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2: 449-459.
- Michelis A. (2006). *Elaboración y conservación de frutas y hortalizas. Procedimientos para el hogar y para pequeños emprendimientos comerciales*. Editorial hemisferio sur. Argentina.
- Miguel, G., Fontes, C., Antunes, D., Neves, A. y Martins, D. (2004). Anthocyanin concentration of 'Assaria' pomegranate fruits during different cold storage conditions. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5: 338-342.
- Miller A. F., Silva, L. M. C. y Brandao, R. S. T. (2013). A Review on Ozone-Based Treatments for Fruit and Vegetables Preservation. *Food Eng Rev*, 5:77–106
- Mondragón, J. C. y Juárez, C. S. (2008). *La granada roja, guía para su producción en Guanajuato*. Folleto técnico. Núm. 2. Campo Experimental Bajío. INIFAP. Celaya, Guanajuato, México.
- Montero-Calderón, M. y Cerdas-Araya, M. M. (2011). Fruits and vegetables for the fresh-cut processing industry. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds.), *Advance in fresh-cut fruits and vegetables processing* (pp. 185–195). Boca Raton: CRC Press.
- Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K. y Khodaparast, M. H. H. (2009). Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. *Food Chemistry*, 115: 1274–1278.
- Naito, S., y Takahara, H. (2006). Ozone contribution in food industry in Japan. *Ozone: Science and Engineering*, 28: 425-429.
- Nguyen-the, C., y Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(4): 371-401.
- Nielsen, T., Leufvén, A. (2008). The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. *Food Chemistry*, 107:1053–1063.
- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Norma oficial mexicana. Consultada en Noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14html>
- NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Norma oficial Mexicana. Consultada en Noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14html>



- NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Consultada en Noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14html>
- O'Beirne, D. y Francis, G. A. (2003). Reducing the pathogen risk in MAP-prepared produce. In R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques* (pp. 231e286). Cambridge, UK, Boca Raton, FL: Woodhead Publishing Limited/CRC Press LLC.
- Odriozola-Serrano I., Soliva-Fortuny R. y Martín-Belloso O. (2007). Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT*, 41: 217–226.
- Odriozola-Serrano I., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. (2010). Changes in bioactive composition of fresh-cut strawberries stored under super atmospheric oxygen, low-oxygen or passive atmospheres. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 37–43.
- Olusola, L. (2008). Prevención de la Pérdida de Textura en Productos Frescos Cortados. *Mundo alimentario*, 8-13.
- Oluwafemi, J. C., Opara, U.L., Witthuhn, C.R., (2012). Modified Atmosphere Packaging of Pomegranate Fruit and Arils: A Review. *Food Bioprocess Technol*, 5: 15–30.
- Oluwafemi J.C., Pramod V., Fahad A. y Umezuruike L. (2013). Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—A Review. *Food Bioprocess Technol*, 6: 303–329.
- Oms-Oliu, G., Aguilo-Aguayó, I., Martín-Belloso, O., y Soliva-Fortuny, R. (2012). Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, 56: 216-222.
- Ozgen, M., Durgac, C., Serce, S., y Kaya, C. (2008). Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in the Mediterranean region of Turkey. *Food Chemistry*, 111: 703–706.
- Pala C. U. y Ays, egü" I Kirca Toklucu. (2011) Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 790–795.
- Palma, A., Schirra, M., D'Aquino, S., La Malfa, S. and Continella, G. (2009). Chemical properties changes in pomegranate seeds packaged in polypropylene trays. *Acta Hortic.*, 818: 323-330.



- Pantastico, E.B. (1979). Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Compañía Editorial Continental, S.A., México.
- Pardo, L., Giraud. M., Menéndez, Escalada, R, Lanús. (2009) Instalaciones para Fresh Cut. Mundo alimentario, 1: 12-17.
- Pedrero. D.L. y Pangborn. R.M. (1994). Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Acribia. México.
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellan, P., Garcia-Viguera, C. (2004). Influence of packaging material on pomegranate juice color and bioactive compounds, during storage. J. Sci. Food Agric., 84: 639–644.
- Piagentini A. M. (1999). Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados. Tesis de maestría en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Nacional del Litoral. España
- Poyrazoglu, E., Gokmen, V., Artik, N., (2002). Organic acids and phenolic compounds in pomegranates (*Punica granatum* L.) grown in Turkey. J. Food Comp. Anal, 15: 567–575.
- QUO (2011). Los beneficios de la granada roja. Consultado en noviembre 2012. Disponible en: <http://quo.mx/2011/12/26/pragmatas/los-beneficios-de-la-granada-roja>.
- Ragaert P., Verbeke, Devlieghere F., Dvere J.(2004). Consumer perception and choise of minimally processed fruits. Food Quality and preference. 15: 259-270.
- Remón, S., A. Ferrer, Lopez-Buesa, P. y Oria. R. (2004). Atmosphere composition effects on Burlat cherry colour during cold storage. J. Sci. Food Agr., 84:140-146.
- Restuccia C., Randazzo C., Caggia C. (2006). Influence of packaging on spoilage yeast population in minimallyprocessed orange slices. International Journal of Food Microbiology, 109: 146–150.
- Reyes, C., Perera, G. A., Pérez H., S. (2007). Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos cortados. En: González A., G. A., Álvarez P., E., De la Rosa, L., Olivas, G.I., Ayala Z., J.F (Eds). Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. Trillas. México.
- Rico, A.B., Martín-Diana, J.M., Barab y C. Barry-Ryana. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. Food Science and Technology, 18: 373-386.



- Rocha V. (2011). Liberación de B-carotenos nano encapsulados en melón cantaloupe fresco cortado en refrigeración. Tesis de licenciatura. Ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
- Rocha A. M.R. y Morais A. (2003). Shelflife of minimally processed apple (cv Jonaored) determined by color changes. *Food Control*, 14(1): 13-20.
- Rojas A., M. R. (2005). Sandía (*Citrullus vulgaris*) mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. Tesis de maestría. Maestría en ciencias en ingeniería bioquímica. Instituto tecnológico de Mérida .México.
- Rojas A., M. R., Vargas, V.L., Tamayo C., J. A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9: 153-161.
- Rojas-Grau, M.A. (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresco cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. España.
- Rojas-Grau, M.A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables. A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 875- 889.
- Salgado, P. J. M., Méndez, M., Hernández, M., Bruzón, O., Volumen, S. y Cañet, P.F. (2005). Empaque en la conservación poscosecha en híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). *TEMAS de Ciencia y Tecnología*, 9: 25: 17-28.
- Saltveit, M.E., (2003). Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? *Postharvest Biology and Technology*, 27: 3–13.
- Sánchez, F. (2009). Granado: Perspectivas y Oportunidades de un Negocio Emergente: Alternativas agroindustriales del granado. Fundación Chile.
- Sánchez-Monge E. (1974). Fitogenética (mejora de plantas). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias-Ministerio de Agricultura. Madrid. 456.
- Sandhya. (2007). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *Food Science and Technology*, 43: 381–392.
- Sapers GM. (2001) Efficacy of washing and sanitizing methods for disinfection of fresh fruit and vegetable products. *Food Tech Biotechnol*, 39(4):305–11.
- Saxena, A., Bawa, A.S., Raju, P.S. (2008). Use of modified atmosphere packaging to extend shelf-life of minimally processed jackfruit (*Artocarpusheterophyllus L.*) bulbs. *J. Food Eng.*, 87: 455–466.



- SEDER. Secretaría de desarrollo rural colima (2010). Granada Roja: Perfil Comercial. Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://seder.col.gob.mx/seder20011/Comercializacion/perfiles/GranadaRoja.pdf>.
- Selma MV, Ibáñez AM, Allende A, Cantwell M, Suslow T. (2008). Effect of gaseous ozone and hot water on microbial and sensory quality of cantaloupe and potential transference of *Escherichia coli* O157:H7 during cutting. *Food Microbiol*, 25(1):162–8.
- Sepulveda, E., Saenz, C., Pena, A., Robert, P., Bartolome, B., y Gomez-Cordoves, C. (2010). Influence of the genotype on the anthocyanin composition, antioxidant capacity and colour of Chilean pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70: 50–57.
- Sepúlveda, E., Galletti, L., Sáenz, C. y Tapia, M. (2000). Minimal processing of pomegranate cv Wonderful. *Options Méditerranéennes. Série A. Séminaires Méditerranéens*, 42: 237-242.
- Seragro (2009). Granada Chile. Consultado en octubre 2012. Disponible en: <http://seragro.cl/?a=888>.
- Shewfelt, R, L. (1987). Quality of minimally processed fruits and vegetables. *J. of Food Quality*, 10: 143-156.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2011). Servicio de información estadística agroalimentaria y pesquera. Consultado en Noviembre 2012. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- SNIIM Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. (2012). Granada roja primera. Consultado en: Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>.
- Soliva-Fortuny R. y Martín-Belloso O. (2003). New advances in extending the shelf life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science y Technology* 14: 341–353.
- Soliva-Fortuny R., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. (2004). Microbiological and biochemical stability off resh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 215–224.
- Spanos, G.A., Wrolstad, R.E., (1990). Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson Seedless grape juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38: 1565–1571.
- Szczesniak, A. S. (1998). The meaning of textural characteristics of crispiness. *Journal of Textural Studies*, 19, 51-59.



- Tehranifar, A., Zarei, M., Nematy, Z., Esfandiyari, B., y Vazifeshenas, M. R. (2010). Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 126: 180–185.
- Teixeira G., Durigan, J., Alves, R. B., O'Hare, T. J. (2007). Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. *Fwang Tung*). *Postharvest Biology and Technology*, 44: 80–85.
- Teullado-Llavador, González-Pastor y Morant-Roig (2005). Un estudio de la situación actual de las frutas de IV gama abarcando los aspectos de mayor repercusión en cuanto a la calidad organoléptica y nutricional. *Revista Horticultura Tecnología de Poscosecha*, 188: 41-53.
- Tezcan, F., Gultekin-Ozguven, M., Diken, T., Ozcelik B., Erim, F. B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115: 873–877.
- Thompson, A. K. (1998). Modified atmosphere packaging. En: A. K. Thompson (Ed.), *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. Wallingford, UK: CAB International. USA.
- Tikagroup. (2012). Variedades de granada. Consultado en Octubre 2012. Disponible en: <http://www.tikagroup.com>.
- Tiwari, B.K., O'Donnell C.P., Patras, A.N., Brunton, P.J., Cullen, P.J. (2008). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, 113: 1119–1126.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J. (2009). Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. *Food Chem Toxicol*, 47(11): 2824–2829.
- Toivonen, T., M.A., Brummell, A.D. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 1–14.
- Toivonen, P. M. A. y De Ell, J. R. (2002). *Physiology of fresh-cut fruits and vegetables*. En: O. Lamikanra (Ed.), *Fresh-cut fruits and vegetables* (pp. 91–123). New York: CRC Press.
- Torales, A. C., Chaves, A. R., Rodriguez, S. C. (2010). Cambios en la calidad de rúcula mínimamente procesada. Efecto de distintos envases. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(2): 196-203.



- Torres, B., Tiwari, B.K., Patras, A., Wijngaard, N., Brunton, P.J., Cullen, O'Donnell. (2011). Effect of ozone processing on the colour, rheological properties and phenolic content of apple juice. *Food Chemistry*, 124: 721–726.
- Trejo B, R. (2009). Evaluación del efecto germinicida de productos a base de plata coloidal en la desinfección del agua para consumo humano. Tesis de licenciatura de Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México.
- Turfan O, M. T. (2011). Anthocyanin and colour changes during processing of pomegranate (*Punica granatum L., cv. Hicaznar*) juice from sacs and whole fruit. *Food Chemistry*, 129: 1644–1651.
- Uysal, P y Kirca T. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 790–795
- Valero, A., Begum, M., Hocking, A.D., Marín, S., Ramos, A.J., Sanchis, V., (2008). Mycelial growth and ochratoxin A production by *Aspergillus section Nigri* on simulated grape medium in modified atmospheres. *Journal of Applied Microbiology*, 105: 372–379.
- Varastech, F., Kazem A., Barzegar, M., Zabihollah Z. (2012) Changes in anthocyanins in arils of chitosan-coated pomegranate (*Punica granatum L. cv. Rabbab-e-Neyriz*) fruit during cold. *Food Chemistry*, 130: 267–272.
- Vardin, H. y Fenercioglu, H. (2003). Study on the development of pomegranate juice processing technology: clarification of pomegranate juice. *Nahrung*, 47, 300–303.
- Vargas y V., L., Tamayo C. J., Centurión Y., A., Tamayo C.,E.,Saucedo V.,C., Sauri D., E. (2010). Vida útil de pitahaya (*hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11: 154-161
- Veljovic-Jovanovic, S., Noctor, G., Foyer, C.H. (2002). Are leaf hydrogen peroxide concentrations commonly overestimated? The potential influence of artefactual interference by tissue phenolics and ascorbate. *Plant Physiol. Biochem.*, 40, 501–507.
- Vicente, A., Repice, B., Martínez, G., Chaves, A., Civello, M. y Sozzi, G., (2004). Maintenance of fresh boysenberry fruit quality with UV-C light and heat treatments combined with low storage temperature. *J. Hortic. Sci. Biotech*, 79: 246–251.
- Villaescusa, R., Tudela, JA., Artés, F. (2000). Influence of Temperature and Modified Atmosphere Packaging on Quality of Minimally Processed Pomegranate Seeds. II Conference, Murcia.



- Villegas C. A. (2005). Cambios en la calidad de frutos de Litchi mínimamente procesado. Tesis de licenciatura de ingeniería agroindustrial. Universidad del estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuaria. México.
- Voon, N. G., Rusul, A., Osman, S.Y., Quek. (2006). Physicochemical, microbial and sensory changes of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) during storage at 4 and 28 °C. *Postharvest Biology and Technology*, 42: 168–175.
- Vu, T. S., Smout, C., Sila, D. N., LyNguyen, B., Van Loey, A. M. L., y Hendrickx, M. E. G. (2004). Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 37-44.
- Waghmare R.B., Annapure U.S. (2013) Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 85: 147–153.
- Wei K, Zhou H, Zhou T, Gong J. (2007) Comparison of aqueous ozone and chlorine as sanitizers in the food processing industry: impact on fresh agricultural produce quality. *Ozone: Sci Eng.*, 29(2):113–20.
- Welti J.C. y Bermúdez A. D. (2012) .Nuevas tendencias en el procesamiento de alimentos. Consultado en Septiembre 2012. Disponible en: <http://cuartagama.com>
- Wiley R. C. (1997). Frutas y hortalizas Mínimamente Procesadas y Refrigeradas. Acribia España.
- Xue, J., Chen, L., y Wang, H. (2008). Degradation mechanism of Alizarin Red in hybrid gas–liquid phase dielectric barrier discharge plasmas: Experimental and theoretical examination. *Chemical Engineering Journal*, 138: 120–127.
- Yaun BR. (2002). Efficiency of ultraviolet treatments for the inhibition of pathogens on the surface of fresh fruits and vegetables, Thesis. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University. USA
- Zagory, D. y Hurst, W.C., (1996). Food Safety Guidelines for the Fresh-cut Produce Industry. International Fresh-Cut Produce Association, Alexandria, VA.
- Zaouay, M. P., Garcia-Viguera, C., Marsa, M. (2012). Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars. *Industrial Crops and Products*, 40: 81– 89.
- Zenoff, V.F., Sineriz, F., Farías M.E. (2006). Diverse responses to UV-B radiation and repair mechanisms of bacteria isolated from high-altitude aquatic environments. *Appl Environ Microbiol*, 72(12): 7857–63.



- Zhang, M., Xiao, G., Peng, J., y Salokhe, V. (2003). Effects of modified atmosphere package on preservation of strawberries. *Intl. Agrophys*, 17:143-148.
- Zheng, W., Wang, S.Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 5165–5170.