



UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

Aplicación de atmósferas modificadas en manzana
'Red delicious' y 'Golden delicious' mínimamente
procesada para el control del pardeamiento enzimático

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:
Laura Ivette Salazar Andrade

Asesoras:
Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez
M. en C. Alma Adela Lira Vargas

Cuautitlán 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.



**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 Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **TESIS**

Aplicación de atmósferas modificadas en manzana 'Red delicious' y 'Golden delicious' mínimamente procesada para el control del pardeamiento enzimático

Que presenta la pasante: **Laura Ivette Salazar Andrade**
Con número de cuenta: **40606891-8** 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 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Clara Inés Álvarez Manrique	
VOCAL	Dra. Sara Esther Valdes Martínez	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	IBQ. Saturnino Maya Ramírez	
2do SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/mmgm

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.

Dedicatorias

Este proyecto es para ti Andy que desde que llegaste a este mundo has sido mi motor, mi alegría para esforzarme y luchar día con día para salir adelante, eres lo mejor de mi vida y recuerda que todos los sueños se cumplen y nunca dejes de soñar que yo estaré a tu lado para ayudarte a realizarlos. Te amo mi niña linda.

Agradecimientos

A mi mamá por estar conmigo y apoyarme en todo momento en la realización de este proyecto, eres la mejor y siempre te voy a agradecer infinitamente todo lo que haces por mí, gracias por enseñarme a luchar por lo que uno quiere y nunca rendirse ante las situaciones que se nos presentan en la vida.

A mi padre que aunque no estás conmigo en cuerpo, siempre estás en mis pensamientos y en mi corazón, te agradezco lo mucho que te esforzaste para darnos lo mejor a mí y a mis hermanos, este logro es para ti y sé que desde donde estas nos sigues cuidando.

A mis hermanos Nayelly, Armando y David por ser mis compañeros de juegos, por compartir alegrías y tristezas, por estar conmigo en todo momento apoyándome, los amo con todo mi corazón y estoy muy orgullosa de ustedes. También a mis hermosos sobrinos Paola, Emiliano y Juanito que son las estrellitas que ilumina mi vida.

A Jorge por ser mi esposo, amigo, compañero, consejero, cómplice, TE AMO vida mía, gracias por el apoyo que siempre me has brindado en la realización de este proyecto y en todos los momentos que hemos compartido juntos. Así como a tus papas y hermanos que nunca dejaron de creer en mí.

A todos los integrantes de mis familias Salazar Ortiz y Andrade Pérez así como mis abuelos, tíos y primos que siempre estuvieron al pendiente de la realización de esta meta, los quiero mucho a todos, gracias por ser unas maravillosas familias.

A mis asesoras la Dra. Andrea y Adela por creer en mí y apoyarme en todo lo que necesite para la elaboración de la tesis, así como sus consejos y paciencia durante esta etapa de mi vida. También a Selene que cuando necesite tú ayuda siempre me la brindaste.

A mis amigas Vianey, Themis y Carito que estuvieron conmigo en todo momento desde que iniciamos este nuevo ciclo y hasta su culminación apoyándome, compartiendo risas, llanto, subidas y bajadas pero siempre firmes en lo que queríamos hasta alcanzarlo.

A mi escuela FESC C-1 por darme las herramientas necesarias para la realización y terminación de este proyecto.



ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
Resumen	vii
Introducción	1
1. Antecedentes	4
1.1 Generalidades de la manzana	5
1.1.1 Origen	5
1.1.2 Taxonomía y Morfología	5
1.1.3 Variedades	7
1.1.4 Producción	8
1.1.5 Composición química y valor nutricional	9
1.1.6 Cambios fisiológicos y bioquímicos en la maduración	11
1.1.7 Métodos de conservación de manzana	11
1.2 Generalidades de productos mínimos procesados	13
1.2.1 Definición	13
1.2.2 Importancia económica	14
1.2.3 Proceso de elaboración de productos mínimamente procesados	15
1.2.4 Cambios bioquímicos en productos mínimamente procesados	25
1.2.5 Legislación de productos mínimamente procesados	27
1.2.6 Tecnologías de conservación en productos mínimamente procesados	29
1.3 Envasado en atmósfera modificada	30
1.3.1 Generación de las atmósferas modificadas	32
1.3.2 Gases utilizados en el envasado en atmósfera modificada	34
1.3.3 Tipos de envases	35
1.3.4 Materiales de envasado	36
1.3.5 Ventajas y desventajas del envasado en atmósfera modificada	41
2 Objetivos	42
3 Materiales y métodos	44
3.1 Cuadro metodológico	45
3.2 Material biológico	46
3.3 Tratamiento de las muestras	46
3.4 Proceso de elaboración	46
3.5 Determinación de los parámetros de calidad, nutricionales y fisiológicos de la manzana como producto fresco	49
3.6 Efecto del antioxidante en el control del pardeamiento enzimático en manzana mínimamente procesada	49
3.7 Evaluación del efecto de los diferentes materiales de envasado utilizados en la manzana mínimamente procesada	50
3.8 Técnicas analíticas	51



3.8.1	Parámetros de calidad	51
3.8.2	Parámetro fisiológico	53
3.8.3	Parámetro nutricional	53
3.8.4	Análisis microbiológicos	54
3.8.5	Actividad enzimática	55
3.8.6	Evaluación sensorial	56
3.9	Análisis estadístico	57
4	Resultados y discusión	58
4.1	Caracterización física y fisicoquímica de manzanas en fresco	59
4.2	Selección del antioxidante para el control del pardeamiento enzimático en Manzana mínimamente procesada	61
4.2.1	Actividad enzimática de las manzanas mínimamente procesadas	61
4.2.2	Parámetros de calidad	64
4.2.2.1	Firmeza	64
4.2.2.2	Acidez titulable	67
4.2.2.3	Color	69
4.2.3	Parámetro nutricional	74
4.2.4	Evaluación sensorial	76
4.3	Determinación de la vida de anaquel de manzana mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas	79
4.3.1	Composición atmosférica	79
4.3.2	Actividad enzimática	82
4.3.2.1	Actividad específica de la enzima polifenoloxidasa (PPO)	82
4.3.2.2	Actividad específica de la enzima peroxidasa (PDO)	83
4.3.3	Parámetros de calidad	84
4.3.3.1	Sólidos solubles totales (SST)	84
4.3.3.2	Firmeza	86
4.3.3.3	pH	88
4.3.3.4	Acidez	90
4.3.3.5	Color	91
4.3.4	Parámetro nutricional	99
4.3.5	Evaluación sensorial	100
4.3.6	Evaluación de inocuidad	102
	Conclusiones	104
	Recomendaciones	106
	Anexos	108
	Bibliografía	112



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Clasificación taxonómica de la manzana	5
2	Morfología del manzano	6
3	Características de las variedades de manzana	7
4	Composición por 100 gramos de porción comestible en diferentes variedades de manzana	10
5	Métodos de conservación para la manzana	12
6	Principales inhibidores del pardeamiento enzimático	23
7	Métodos de conservación para productos mínimamente procesados	29
8	Principales gases utilizados en el envasado de atmósfera modificada	34
9	Propiedades de los materiales de envasado	36
10	Principales materiales utilizados en el envasado de frutas mínimamente procesadas en atmósfera modificada	36
11	Características de películas utilizadas en el envasado de atmósfera modificada	38
12	Ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas	41
13	Tratamientos antipardeamiento utilizados en orejones de manzana	50
14	Escala hedónica de 5 puntos utilizada para evaluar a las dos variedades de manzana mínimamente procesada	56
15	Dimensiones de la manzana	59
16	Características fisicoquímicas de la manzana	60
17	% Actividad residual de la enzima Polifenoloxidasa (PPO)	62
18	% Actividad residual de la enzima Peroxidasa (PDO)	63
19	Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada sometida a diferentes antioxidantes almacenada a 4 °C por 12 días	72
20	Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada sometida a diferentes antioxidantes almacenada a 4 °C por 12 días	73
21	Evaluación sensorial de los orejones de manzana ‘Red Delicious’ almacenados a 4 °C	77
22	Evaluación sensorial de los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ almacenados a 4 °C	78
23	Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 12 días	96
24	Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 24 días	97



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Producción Nacional de manzana en 2009	9
2	Diagrama de proceso de elaboración de productos mínimamente procesados	16
3	Efecto de lavado y desinfección de vegetales en el recuento de mesófilos	20
4	Efecto de lavado y desinfección de vegetales en el recuento de enterobacterias	21
5	Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos	32
6	Envases más utilizados en el envasado en atmósfera modificada. (1) Bolsa tipo “almohada”; (2) bolsa tipo “sobre” o “saco”; y (3) barqueta	35
7	Cuadro metodológico	45
8	Lavado con agua y jabón. a) ‘Golden Delicious’. b) ‘Red Delicious	46
9	Diagrama de bloques para la elaboración de manzana mínimamente procesada	47
10	Desinfección de las manzanas. a) ‘Golden Delicious’. b) ‘Red Delicious	48
11	Cortado manual de las manzanas. a) ‘Golden Delicious’ b) ‘Red Delicious’	48
12	Inmersión de los orejones en el antioxidante. a) ‘Golden Delicious’. b) ‘Red Delicious’	48
13	Escurrimiento de los orejones de manzana. a) ‘Golden Delicious’. b) ‘Red Delicious’	49
14	Almacenamiento en refrigeración de las manzanas. a) ‘Golden Delicious’. b) ‘Red Delicious	49
15	Refractómetro manual	51
16	Penetrómetro manual	51
17	Potenciómetro digital	52
18	Titulación directa	52
19	Colorímetro Minolta	53
20	Analizador de gases por infrarrojo	53
21	Espectrofotómetro	54
22	Medios de cultivo. a) Agar Mac Conkey, b) Agar nutritivo y c) Agar papa dextrosa	55
23	Muestra de una prueba triangular	57
24	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la firmeza de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.	65
25	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la firmeza de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4	67



	°C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.	
26	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la acidez de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	68
27	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la acidez de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	69
28	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el índice de blancura de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	70
29	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el índice de blancura de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	71
30	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el contenido de vitamina “C” de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	74
31	Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el contenido de vitamina “C” de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar	75
32	Cambios en el porcentaje de CO ₂ y O ₂ en el interior de diferentes envases utilizados para la conservación de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) % Dióxido de carbono. B) % Oxígeno. Las barras representan \pm desviación estándar	80
33	Cambios en el porcentaje de CO ₂ y O ₂ en el interior de diferentes envases utilizados para la conservación de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) % Dióxido de carbono. B) % Oxígeno. Las barras representan \pm desviación estándar	81
34	Efecto de la conservación en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno en la actividad específica de la enzima PPO en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	83
35	Efecto de la conservación en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno en la actividad específica PDO en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	84



36	Cambios en sólidos solubles de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	86
37	Cambios en la firmeza de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	87
38	Cambios en el pH de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	88
39	Cambios en el % de acidez de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.	90
40	Cambios en la luminosidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	92
41	Cambios en la cromaticidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	93
42	Cambios en la tonalidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	94
43	Cambios de vitamina “C” en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar	100



RESUMEN





RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de atmósferas modificadas en manzana ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada sobre el control del pardeamiento enzimático y la vida útil del producto.

En el presente estudio se trabajó con manzanas provenientes de Chihuahua, los frutos se lavaron con agua y jabón, se desinfectaron con una solución comercial de plata (marca microdyn), enjuagaron, cortaron manualmente y se sumergieron en diferentes tratamientos de antioxidantes, se escurrieron y se envasaron en bandejas de politereftalato de etilenglicol (PET) a 4 °C durante 12 días. Para controlar el pardeamiento se evaluaron los siguientes tratamientos con antioxidantes para la manzana ‘Red Delicious’: 2% ácido ascórbico (A.A.), 2% ácido cítrico (A.C.) y 1% A.A. + 1% A.C. y para la variedad ‘Golden Delicious’: 1.5% A.A., 1% A.A + 0.5% A.C. y 1% A.C. + 0.5% A.A. adicionando 1% de cloruro de calcio (CaCl_2).

Se evaluó el efecto de atmósfera modificada utilizando diversos materiales de envases con diferentes permeabilidad al oxígeno: bolsa de polietileno (PE), bandeja de politereftalato de etilenglicol (PET) y bolsa de policloruro de vinilideno (PVDC): 8500, 130 y 10 $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$ respectivamente. Los parámetros de calidad (pH, sólidos solubles totales, acidez), nutricionales (vitamina “C”), enzimáticos (Polifenoloxidasa y Peroxidasa) y sensoriales fueron evaluados durante el almacenamiento en refrigeración de los productos.

De acuerdo a los resultados el mejor tratamiento antioxidante para la manzana ‘Red Delicious’ fue la combinación de 1% A.A. + 1% A.C. y para la variedad ‘Golden Delicious’ fue 1.5% A.A. + 1% CaCl_2 , ya que fueron las concentraciones que ayudaron a mantener los mayores valores en firmeza y luminosidad, la menor actividad residual de las enzimas polifenoloxidasa y peroxidasa y en la evaluación sensorial los productos fueron evaluados como aceptables al final de la conservación (12 días) a una temperatura de 4°C.



El efecto de los tres envases permitió una vida útil de 12 días para la manzana ‘Red Delicious’ en bandeja de PET y bolsa PE; mientras que para la manzana ‘Golden Delicious’ 24 días en bandeja PET y bolsa PE y 28 días para bolsa PVDC; además de que los parámetros estudiados no se vieron afectados por el tipo de envase, por lo que con una prueba triangular no se pudo detectar la diferencia del cambio de envase.



INTRODUCCIÓN





INTRODUCCIÓN

La manzana es un fruto de estructura firme, carnosa, con características físicas muy variables, el color de la piel va desde el verde hasta el rojo muy oscuro, casi negrozco y el tamaño oscila entre un poco mayor que el de una cereza y casi tan grande como el de una toronja o pomelo mediano, ocupa el primer lugar en volumen respecto a las exportaciones e importaciones mundiales (Ramírez y Cepeda, 1993; SIAP-SAGARPA, 2012).

Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta, el 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante, es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio y debido a estas propiedades la hace un producto potencial en la elaboración de productos mínimamente procesados (Eroskiconsumer, 2011).

La tendencia actual por un estilo de vida saludable ha llevado a un aumento de la demanda por alimentos frescos, libre de aditivos, con alto valor nutricional, incluyendo propiedades antioxidantes. Considerando los nuevos hábitos alimenticios, cambios en los estilos de vida y la necesidad de reducir el tiempo para preparar los alimentos, han ocasionado un incremento en la demanda de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y listas para su consumo (Villenas *et al.*, 2010).

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, son productos frescos que se procesan con el objetivo de proveer al consumidor de un alimento listo para consumir y con características similares a los productos frescos, que tienen ciertas operaciones que incluyen: lavado del producto entero, deshojado, pelado, deshuesado, cortado, lavado-desinfectado, envasado, almacenado y comercializado (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010; Lobo y González, 2003).

La vida útil de los alimentos mínimamente procesados afronta dos problemas básicos: primero, el tejido vegetal es un tejido vivo en el que interactúan muchas reacciones (deshidratación, oxidación, elevada velocidad de respiración, actividad enzimática) algunas de las cuales, si no son controladas, pueden conducir a la rápida senescencia o al deterioro en la calidad; y segundo, la posibilidad de desarrollo microbiano es mayor debido a la



mayor superficie expuesta, la presencia de jugos celulares, etc. por lo que la proliferación microbiológica (tanto alterante como patógena) debe ser minimizada y retardada. El oscurecimiento es uno de los problemas más importantes que se produce en las frutas y hortalizas frescas cortadas, debido a su impacto visual que perjudica la aceptación sensorial, la calidad comercial y por reducir el valor nutricional de frutas y hortalizas, se presenta en la superficie de corte y heridas, es causado por la acción de la enzima polifenoloxidasas (PPO) (Rodríguez *et al.*, 2006; Villegas-Ochoa *et al.*, 2005).

La extensión de vida útil y la seguridad de los productos listos para consumir pueden mejorarse significativamente mediante una estrategia coordinada de acciones a lo largo de toda la línea de producción. El procesamiento rápido, el lavado efectivo y la continuidad de la refrigeración afecta principalmente la extensión de la contaminación en algunos productos, además la temperatura es el factor probablemente más importante que afecta el crecimiento de los microorganismos, se ha estudiado el empleo de otras tecnologías como por ejemplo la aplicación de atmósferas modificadas (Rodríguez *et al.*, 2006).

Las tecnologías de envasado en atmósfera modificada permiten un cierto control sobre las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas responsables del deterioro de las frutas mínimamente procesadas durante su almacenamiento y comercialización (García *et al.*, 2011).

De modo que el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto en la conservación de manzana ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada procedente del estado de Chihuahua en atmósferas modificadas pasivas (3 envases de diferentes permeabilidades al O₂: bolsa de polietileno (8500 cm³/m²•día•atm), bandeja de politereftalato de etilenglicol (130 cm³/m²•día•atm) y bolsa de policloruro de vinilideno (10 cm³/m²•día•atm.) sobre los parámetros de calidad, enzimáticos, microbiológicos y sensoriales, previamente con la identificación de una concentración óptima de algún antioxidante que evite el pardeamiento enzimático y simule las características de un producto fresco.



ANTECEDENTES





1. Antecedentes

1.1 Generalidades de la manzana

1.1.1 Origen

La manzana es la fruta más famosa y una de las más antiguas. Es posible que fuera uno de los primeros frutos en consumir el hombre en forma silvestre y uno de los primeros en cultivarlo. Las manzanas llegaron a Europa desde el Oriente medio y fue en este continente donde evolucionaron gracias, a la cultura grecorromana. También se cree que el fruto es originario de Europa Oriental y de Asia Central (Cerespain, 2012).

El origen de los manzanos es silvestre pero el hombre pronto lo cultivó, perfeccionándolo y llevándolo consigo en sus migraciones por Europa, Asia y África. Fueron los españoles los que llevaron el fruto de la manzana a América y lo difundieron por todo el continente. Allí nacieron nuevas variedades de manzanos gracias a los injertos, que hoy son las que más se consumen. Las conocemos con los siguientes nombres: `Golden Delicious`, `Red Delicious`, `Granny Smith` (Cerespain, 2012).

1.1.2 Taxonomía y Morfología

La clasificación taxonómica y la morfología del manzano se muestran en las Tablas 1 y 2:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la manzana.

Reino	<i>Vegetal</i>
División	<i>Traqueofitas</i>
Subdivisión	<i>Pteropsidas</i>
Clase	<i>Angiospermas</i>
Subclase	<i>Dicotiledóneas</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Género	<i>Pyrus</i>
Especie	<i>Malus</i>

Fuente: Ramírez y Cepeda (1993).



Tabla 2. Morfología del manzano.

Partes del árbol	Características
<p style="text-align: center;">Porte</p> 	<p>Alcanza como máximo 10 m de altura y tiene una copa globosa. Tronco derecho que normalmente alcanza de 2 a 2.5 m de altura, con corteza cubierta de lenticelas, lisa, adherida, de color ceniciento verdoso sobre los ramos y escamosa y gris parda sobre las partes viejas del árbol.</p>
<p style="text-align: center;">Sistema radicular</p> 	<p>Tiene raíces superficiales, que se extienden mucho.</p>
<p style="text-align: center;">Hojas</p> 	<p>Ovales, cortamente acuminadas, aserradas, con dientes obtusos, blandas, con el haz verde claro y tomentoso, de doble longitud que el pecíolo, con 4 - 8 nervios alternados y bien desarrollados.</p>
<p style="text-align: center;">Flores</p> 	<p>Grandes, casi sentadas o cortamente pedunculadas, que se abren unos días antes que las hojas. Son hermafroditas, de color rosa pálido, a veces blanco y en número de 3 - 6 unidas en corimbo</p>
<p style="text-align: center;">Fruto</p> 	<p>Pomo globoso, con pedúnculo corto y numerosas semillas de color pardo brillante, pueden ser achatadas, redondeadas, de diferentes color, forma y sabor dependiendo de la variedad.</p>

Fuente: Infoagro (2011).



1.1.3 Variedades

Las dos variedades de manzana más importante cultivadas en México bajo riego son la Red Delicious (43.6%) y Golden Delicious (41.7%), mientras que bajo temporal son la Criolla (41.2%) y Golden Delicious (23.1%); también es importante la superficie cosechada de manzana sin clasificar que representó el 16.4% (Callejas, 2007).

En la Tabla 3 se muestra las características de las principales variedades de este fruto.

Tabla 3. Características de las variedades de manzana.

Variedad	Características
<p>‘Golden Delicious’</p> 	<p>Es un fruto grande redondo de piel amarillo dorado, su pulpa es blanca amarillenta, firme, jugosa y muy perfumada.</p>
<p>‘Red Delicious’</p> 	<p>Fruto alargado de buen tamaño de color rojo más o menos intenso, que en ocasiones presenta rayas y tiene un punteado amarillo, su pulpa es azucarada, jugosa, ligeramente acidulada y muy aromática.</p>
<p>‘Granny Smith’</p> 	<p>Manzana redonda de piel color verde oscuro y presenta algunos puntitos blancos; su pulpa es blanca, muy crujiente y jugosa, con sabor ligeramente ácido.</p>
<p>‘Stark Gala’</p> 	<p>Fruto de coloración brillante rojiza – naranja sobre un amarillo característico, muy dulce con textura crujiente.</p>
<p>‘Royal Gala’</p> 	<p>Manzana redonda con rayas de coloración rojo carmín sobre un fondo naranja uniforme; su carne es blanca, crujiente, consistente, jugosa y muy aromática.</p>

Fuente: Callejas (2007); INFOAGRO (2011).



1.1.4 Producción

- Mundial

La producción mundial de manzanas, según cifras de la FAO, alcanzó a 71.2 millones de toneladas en el año 2009, con un crecimiento de 21% entre los años 2000 y 2009, permaneciendo bastante estancada en la primera parte de la década e incrementándose en forma creciente en los últimos años (Mercados agropecuarios, 2011).

China encabeza la producción mundial de manzanas con 44.4% de ella, seguida por Estados Unidos (6.3%), Turquía (3.9%), Polonia (3.7%), Irán (3.4%) e Italia (3.2%). Sólo alrededor de 10.8% de la producción mundial de manzanas se consiente en los mercados internacionales, ya que los mayores productores, en particular China, India e Irán, concentran su producción para abastecer la demanda interna de sus países. Dos tercios de las exportaciones mundiales de manzanas son controlados por seis países exportadores: China, Chile, Italia, Estados Unidos, Polonia y Francia (Mercados agropecuarios, 2011).

- Nacional

México aporta menos del uno por ciento de la producción global de manzana. A nivel nacional, en los últimos nueve años la producción de manzanas creció 170 por ciento, al pasar de 330 mil a 570 mil ton por año, en tanto los rendimientos aumentaron de 6.1 a 9.7 ton por hectárea. El valor estimado de la producción nacional supera los tres mil 500 millones de pesos (Acento-veintiuno, 2011).

La manzana es una de las cinco frutas de mayor consumo en el país. Los principales estados productores son Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Puebla y Querétaro (Acento-veintiuno, 2011).

Para el 2009 Chihuahua registró una producción de 382,955 ton con un porcentaje de 66.34%, más de la mitad de la producción del país, seguido de Durango con un 10.81% y Coahuila con un 9.71% de la producción equivalente a 62,427 y 56,050 ton respectivamente (Figura 1) (SIAP-SAGARPA, 2009).

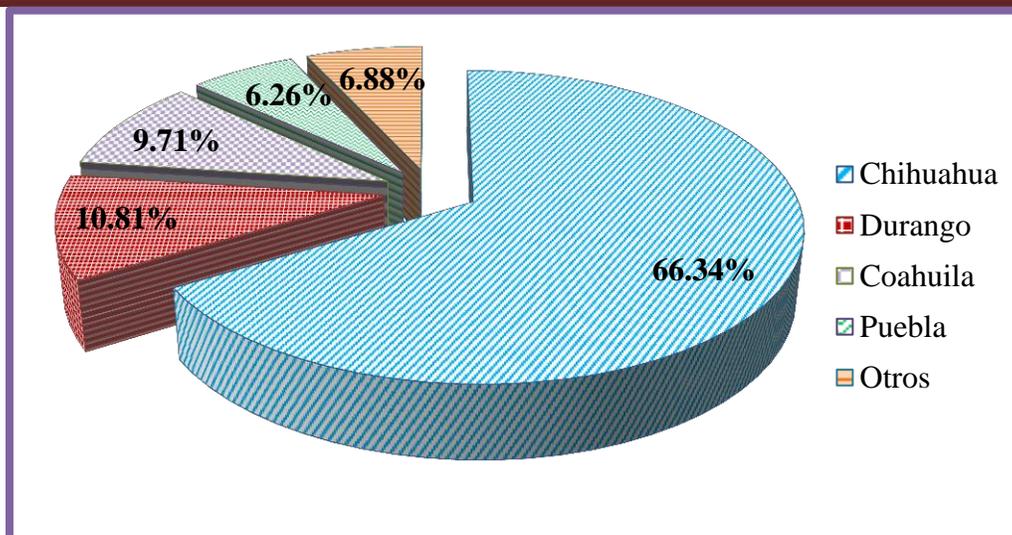


Figura 1. Producción nacional de manzana en 2009.
Fuente: SIAP-SAGARPA (2009).

- Consumo

La manzana como fruta fresca ha mostrado un crecimiento sostenido positivo en el consumo e importación de México, considerando que la población en el 2010 fue de 112 millones de habitantes, se obtuvo que el consumo de manzana fue de 7.2 Kg/persona (FM Consultoría, 2011).

Por lo que la producción de manzanas en México no ha sido suficiente para satisfacer la demanda nacional y las áreas de cultivo masivo se han concentrado en los estados del Norte. México importó manzanas por 196 millones de dólares en el 2009, de las cuales 97.5% se cultivaron en Estados Unidos, mientras que 1.5% provinieron de Chile (FM Consultoría, 2011).

1.1.5 Composición química y valor nutricional

Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta, el 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrientes más abundantes después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal



y entre su contenido mineral sobresale el potasio. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. Las extraordinarias propiedades dietéticas que se le atribuyen a esta fruta se deben en gran medida a los elementos fitoquímicos que contiene, entre ellos, flavonoides y quercitina, con propiedades antioxidantes (Eroskiconsumer, 2011).

Las manzanas son ricas en pectina, una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados que ayudan a eliminar toxinas y a reducir el colesterol. También cuentan con ácido málico, que es capaz de neutralizar los derivados ácidos, y dada su riqueza en fibra, resultan un remedio natural muy bueno para combatir el estreñimiento y la diarrea, mejorando el tránsito intestinal y ayudando en la digestión. Reducen además el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares Gracias a su contenido en quercitina, e incluso son ideales para diabéticos, ya que ayudan a controlar la diabetes al reducir los niveles de azúcar en la sangre (Naturasan, 2012).

Los principales valores nutricionales de algunas variedades de manzana se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición por 100 gramos de porción comestible en diferentes variedades de manzana.

Compuesto	‘Red Delicious’	‘Golden Delicious’	‘Granny Smith’
Hidratos de carbono (g)	11.7	10.5	10.5
Fibra (g)	1.7	2.3	1.5
Potasio (g)	99	100	110
Magnesio (g)	5	5.6	4
Provitamina A (µg)	4	4	1.5
Vitamina C (mg)	3	12.4	4
Vitamina E (mg)	0.5	0.4	0.5

Fuente: Eroskiconsumer (2011).



1.1.6 Cambios fisiológicos y bioquímicos en la maduración

La manzana, se origina por el desarrollo de un ovario; la primera fase del desarrollo del fruto se caracteriza por una rápida multiplicación celular, dando como resultado un aumento considerable del número de células. La segunda fase es la expansión o engrosamiento celular; durante la misma, las células van acumulando sustancias de reserva, lo que produce un considerable aumento del tamaño de cada célula y del fruto, en la tercera fase, los cambios que se producen son químicos, que se conoce como maduración (Delhom, 1987).

Las principales modificaciones que caracterizan el fenómeno de maduración, son las siguientes (Latatta, 1999):

- ◆ Disminución de la firmeza de la carne a causa de la progresiva hidrólisis de las pectinas.
- ◆ Hidrólisis del almidón y su transformación en azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa).
- ◆ Disminución y desaparición de la clorofila, el verde de la corteza se vuelve amarillo y rojo por los pigmentos antocianos y carotenos.
- ◆ Disminución de la acidez y de la astringencia.
- ◆ Desarrollo de sustancias volátiles que determinan el perfume y el aroma.
- ◆ Respiración activa del fruto (separado del árbol), con emisión de dióxido de carbono y de etileno (gas que acelera el proceso).

1.1.7 Métodos de conservación de manzana

Las técnicas de almacenamiento que se utilizan después de la cosecha y una vez que las frutas han sido empacadas para su comercialización en fresco, tiene el propósito de conservar la calidad de las misma, teniendo en cuenta las condiciones ambientales adecuadas que permitan reducir la velocidad de los procesos vitales de estos productos, y disponer de ellos por periodos más prolongados que los normales, además ofrecer productos frescos a mercados distantes y reducir pérdidas durante su comercialización (Cáceres *et al.*, 2012).



En la Tabla 5 se describen los principales métodos de conservación de la manzana:

Tabla 5. Métodos de conservación para la manzana.

Método	Principio	Efecto
<p>Recubrimiento comestible (RC)</p> 	<p>Los RC están compuestos de ceras naturales, polisacáridos y proteínas, formando un envase ideal desde el punto de vista medioambiental, puesto que son biodegradables y pueden ser consumidos con el producto.</p>	<p>Reducir la marchitez, el arrugamiento y mejorar la apariencia de la fruta. Las ceras se aplican con el doble propósito de evitar las pérdidas de agua y reducir el marchitamiento y mejora el aspecto que ofrece al consumidor</p>
<p>Tratamientos con calcio y anti-escaldado</p> 	<p>Estos tratamientos se usan exclusivamente en manzanas antes del almacenamiento, mediante la pulverización o inmersión de la fruta en soluciones de calcio.</p>	<p>El calcio tiene la capacidad de disminuir la permeabilidad de las membranas celulares, reducir la absorción de agua y aumentar la dureza de la pulpa, así como inducir a un menor daño post-cosecha de la fruta.</p>
<p>Irradiación</p> 	<p>Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes (radiación capaz de transformar moléculas y átomos en iones, quitando electrones) durante cierto lapso de tiempo.</p>	<p>Permite la desinfestación de plagas y la extensión de la vida útil del producto, limitando el desarrollo de los agentes de deterioro microbiano y frenado determinados aspectos del metabolismo, como la maduración.</p>
<p>Atmósferas modificadas</p> 	<p>Consiste en empacar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado.</p>	<p>Disminuye el grado de respiración, reduce el crecimiento microbiano y retrasa el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto.</p>



Tabla 5. Métodos de conservación para la manzana (continuación).

Método	Principio	Efecto
Enfriamiento 	Es una operación de acondicionamiento que se aplica para la eliminación rápida del calor de campo hasta alcanzar la temperatura recomendada para su almacenamiento o transporte	Se garantiza que el desarrollo de microorganismos sea menor, así como la tasa de respiración, los cuales son responsables por la pérdida de calidad y la rápida maduración de la fruta.

Fuente: FAO (2012); Wills *et al.* (1988); Thompson (2007); Teruel *et al.* (2003); Ospina y Cartagena (2008); Castellano *et al.* (2006).

1.2 Generalidades de productos mínimamente procesados

1.2.1 Definición

Frutas frescas acondicionadas (seleccionadas, lavadas, peladas, enteras o troceadas, envasadas) conservadas en refrigeración, cuyo mínimo procesamiento permite mantener sus características organolépticas y valor nutritivo (González, 2011).

Para poder asegurar la estabilidad, calidad nutricional y organoléptica de este tipo de productos debe conocerse la fisiología del fruto, tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del producto original que puedan verse afectados por la manipulación y el almacenamiento. Controlar todos los factores que pueden influir directa o indirectamente sobre la calidad de productos vegetales frescos cortados es de suma importancia para la aceptación y el éxito final de estos productos, también denominados productos de la IV Gama (Belloso y Rojas, 2005).

Las características que definen a un producto fresco cortado de buena calidad, son una apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución. Si alguno de estos requisitos no se cumple o se encuentra por debajo de los valores mínimos aceptables para cada parámetro, el producto pierde automáticamente su valor comercial. Factores como el cultivar, el estado de madurez al momento de la recolección, la manipulación post-cosecha, el acondicionamiento de la materia prima, así como las



condiciones de almacenamiento del producto terminado, son algunos de los que intervienen directamente en la calidad final de los productos frescos cortados. Las distintas operaciones llevadas a cabo en el procesado condicionan de forma significativa la calidad de los vegetales frescos cortados. Cada etapa del proceso de elaboración juega un papel significativo en los mecanismos de alteración del producto. Inicialmente hay que tener en cuenta que existe una evidente diferencia entre un producto vegetal entero y uno cortado, principalmente en términos fisiológicos y de requerimientos en el momento de su manipulación (Huxsoll y Bolin, 1989).

El procesado mínimo de las hortalizas y frutos frescos, es especial de productos precortados, tiene dos objetivos principales. Primero, la producción de productos frescos, de uso inmediato, fáciles de consumir pero sin pérdidas de su valor nutricional. Segundo, el producto debe tener una vida útil suficiente para poder realizar su distribución, según las zonas de comercialización. La vida útil de los alimentos vegetales procesados en fresco en términos microbiológicos, sensoriales y nutricionales suelen oscilar entre 4-7 días, pero a veces es incluso más prolongada, llegando hasta 21 días, dependiendo del producto y del mercado (Lobo y González, 2003).

1.2.2 Importancia económica

Uno de los factores importantes que ha influido en la demanda de productos frescos listos para consumir, es la incorporación de la mujer al mercado laboral, lo que ha provocado un aumento de las comidas fuera del hogar y la búsqueda de ahorrar tiempo y esfuerzo. El principal factor que promueve el desarrollo y el crecimiento de este tipo de mercados, es la necesidad continua del consumidor de adquirir productos que ofrezcan la conveniencia de platillos listos para consumir (González- Aguilar *et al.*, 2004).

Los países que han logrado estos avances han sido los desarrollados, y en específico en estos donde se han visto los mayores desarrollos tecnológicos y la mayor expansión comercial. A pesar que los países de Latinoamérica son de los principales productores de frutos y vegetales frescos, es muy poca la presencia de estos productos en su forma de frutos y vegetales cortados. Estados Unidos y Europa son las regiones que han presentado un mayor desarrollo en el mercado de frutos y vegetales frescos cortados. Uno de los



primeros países en desarrollar la industria de frutos cortados fue Francia, donde actualmente la industria esta muy bien establecida (González-Aguilar *et al.*, 2004).

En México la industria de frutos y vegetales cortados no ha tenido un crecimiento considerable. En el 2003, del 75% del consumo de frutos y vegetales se consumió como productos frescos y tan solo el 0.6% es consumido como fresco y cortado. Sin embargo, esto representa una tendencia a consumir dichos productos, ya que el consumidor esta cada vez más consciente de la importancia del aporte nutritivo de estos. La búsqueda de alimentos frescos y nutritivos que satisfagan las necesidades de los consumidores, son algunas de las causas que impulsan a la industria de los frutos y vegetales cortados a un crecimiento continuo ((INEGI, 2003a, INEGI, 2003b; González-Aguilar *et al.*, 2004).

1.2.3 Proceso de elaboración de productos mínimamente procesados

El procesado mínimo comprende distintas operaciones unitarias: selección, clasificación, acondicionamiento, lavado del producto entero, pelado, deshuesado, cortado, lavado y desinfectado, se empaquetan en bolsas o bandejas, con o sin atmósfera modificada para ser almacenados y transportados bajo refrigeración, cabe aclarar que todas las operaciones de proceso deberán llevarse a cabo a una temperatura de 4 °C aproximadamente (Figura 2) (Lobo y González, 2003).

Durante el proceso de elaboración tendrán que tenerse en cuenta una serie de factores claves que van a incidir de manera directa en la calidad del alimento vegetal y que son las siguientes (Lobo y González, 2003):

- ◆ Material fresco de calidad (variedad/cultivar adecuados, prácticas correctas de cultivo, recolección y almacenamiento adecuados).
- ◆ Higiene estricta y Buenas Prácticas de Elaboración, Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (ARCPC).
- ◆ Temperaturas bajas de proceso.
- ◆ Limpieza cuidadosa y/o lavados antes y después del pelado.
- ◆ Lavado con agua de elevada calidad (sensorial, microbiológica, pH).



- ◆ Empleo de aditivos en el lavado para la desinfección o prevención del pardeamiento.
- ◆ Secado del alimento vegetal después del lavado mediante centrifugado cuidadoso.
- ◆ Pelado y cortado cuidadoso.
- ◆ Empleos de los envases y envasadoras correctos.
- ◆ Temperatura y humedad adecuadas para la distribución y almacenamiento de los productos.



Figura 2. Proceso de elaboración de productos mínimamente procesados.

Fuente: González (2011).



- Selección

La obtención de productos vegetales mínimamente procesados comienza por una buena selección de la materia prima. El fruto debe recolectarse cuidadosamente, en óptimas condiciones higiénicas y con el adecuado grado de madurez, éste último es uno de los factores más importantes a tener en cuenta tanto en el momento de la recolección como del procesado, ya que tiene una gran influencia sobre la calidad del producto final. Es aconsejable realizar la recolección antes de que se alcance la plena madurez organoléptica, ya que así la textura es más firme y se minimizan los daños mecánicos durante la manipulación. No debe olvidarse que una recolección demasiado anticipada al punto óptimo de cosecha, pone en juego características tan importantes en estos productos como sabor, olor y color (Belloso y Rojas, 2005).

- Pre-enfriamiento

Después de la cosecha, las frutas siguen respirando y por consiguiente madurando lo que hace necesario un método de conservación que permita distribuir el producto a su destino final sin que este pierda su frescura y calidad. El pre-enfriamiento, es la operación de remoción rápida del calor de los productos hortofrutícolas inmediato a la cosecha. El objetivo principal del pre-enfriamiento es retirar el calor de campo tan rápido como sea posible, con esto se logra retrasar la inevitable pérdida de calidad del producto y alargar la vida del mismo. Esto se debe a que un enfriamiento apropiado de los productos (Unifrío, 2012):

- ◆ Inhibe el crecimiento de microorganismos.
- ◆ Restringe la actividad enzimática y respiratoria y la pérdida de agua.
- ◆ Reduce la producción de etileno.

La mayoría de los equipos de pre-enfriado son diseñados especiales para cada producto para garantizar la temperatura y humedad relativa requerida, el sistema de las cámaras frigoríficas consiste en hacer entrar el aire a través de orificios de las cajas de empaque del producto por una diferencia de presión generada por un extractor de aire, este método de



pre-enfriamiento ofrece como principal ventaja una menor inversión y simplicidad de operación, en el caso de la manzana el pre-enfriamiento se lleva a cabo aproximadamente a 1°C para acondicionar el producto (Unifrío, 2012).

- **Acondicionamiento**

El acondicionamiento es una fase de preparación de la materia prima que consiste en la separación de las partes no comestibles. Puede suponer una pérdida del 20-70% del producto, por tanto es una fase determinante en el costo y calidad del producto final. Los productos se acondicionan generalmente a mano, en esta operación se incluyen el lavado y desinfección de los frutos enteros ya que permite la separación de restos provenientes del entorno de cultivo (hojas, tierra, suciedad, etc.), la eliminación de plagas o restos de pesticidas, o cualquier otro material extraño, incluyendo microorganismos propios del ambiente, disminuyendo así la carga microbiana inicial de los productos. Dicho proceso de higienización se lleva a cabo normalmente por inmersión del producto vegetal entero en soluciones acuosas cloradas (entre 50 y 150 ppm de hipoclorito sódico) (Dong *et al.*, 2000).

- **Pelado y troceado**

El pelado y cortado son etapas claves en la preparación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Durante esas operaciones las membranas celulares son cortadas, y los sustratos apropiados entran en contacto con enzimas oxidantes. En la presencia de oxígeno, el pardeamiento ocurre debido a la oxidación enzimática de fenoles a ortoquinonas con una rápida polimerización a pigmentos café o negros, tales como melaninas (Chang *et al.*, 1997).

La eliminación de la capa más externa de una fruta se denomina pelado; el pelado puede hacerse: manual, con vapor o agua caliente, con lejía o álcalis (NaOH, KOH), mediante pelado caustico seco con calentamiento por infrarrojos, con llama, por medios mecánicos, con vapor a presión elevada, por congelación y con ácidos (Wiley, 1997).

Durante las operaciones de transformación de los productos vegetales se liberan hacia el exterior sustancias ricas en nutrientes, propiciando condiciones idóneas para el crecimiento



microbiano; por lo que la maquinaria empleada para el pelado y troceado del producto debe ser de acero inoxidable y dotada de un sistema que permita la limpieza en profundidad de aquellas zonas donde el acceso sea difícil, ya que la dificultad de acceso permite la acumulación de restos del alimento procesado (Artés y Artés-Hernandez, 2003).

El corte es una operación muy delicada ya que supone la diseminación del contenido celular y el consiguiente peligro de contaminación y pérdida de cualidades que ello supone; en los productos acelera la respiración, provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal. Los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces a la difusión de los gases y toleran concentraciones más elevadas de O₂ y niveles inferiores de CO₂ que los productos intactos. Las cortadoras generalmente operan con cuatro tipos de fuerzas (Wiley, 1997):

- 1) Compresión
- 2) Impacto
- 3) Rozamiento
- 4) Corte

Como las frutas cortadas y peladas presentan una gran superficie y están sin piel, tienen una gran tendencia a la desecación, y puede llegar a perder mucho peso. Las posibles soluciones son el envasado en un plástico con permeabilidad al vapor de agua adecuada para cada producto a una temperatura determinada. La película debe tener las características adecuadas para permitir los intercambios gaseosos necesarios, bien entre el interior y el exterior del envase (Lobo y González, 2003).

- **Lavado y desinfección**

En el procesado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, la operación de lavado se hace generalmente en una cámara aislada con restricción de entradas, de forma que el contacto humano con los productos esté limitado. En este momento el producto se convierte en listo para consumir y también para ser conservado. El producto se lava mediante cloración de hasta 200 ppm, quedándose libre de la mayoría de los microorganismos. La adición de cloro al agua de lavado previene la contaminación microbiana. El cloro es el único producto que se permite en el lavado (Wiley, 1997).



La desinfección de frutas mínimamente procesadas es un paso clave para garantizar la seguridad microbiológica de este tipo de productos, que son consumidos en fresco y que no sufren ningún otro proceso que reduzca la población microbiana. La reducción de la carga microbiana con agua adicionada con hipoclorito sódico, presenta ciertas ventajas como (González, 2011):

- ◆ El hipoclorito es más eficaz a pH bajo, adición de ácido cítrico para reducir el pH hasta valores comprendidos entre 6.5 y 7.5.
- ◆ La eficacia del cloro en la desinfección de vegetales es limitada, ya que tan sólo se consigue reducir la carga microbiana entre 1 y 2 unidades logarítmicas.
- ◆ Los posibles restos de cloro son eliminados en el enjuagado posterior con agua. No deben quedar más de 5 ppm de cloro activo como residuo.
- ◆ Es muy importante realizar un escurrido o centrifugado después del lavado, ya que la humedad superficial favorece el crecimiento microbiano.

En la figuras 3 y 4 se muestra la reducción de la carga microbiana cuando se utiliza hipoclorito a 100 ppm en el recuento de mesófilos y enterobacterias.

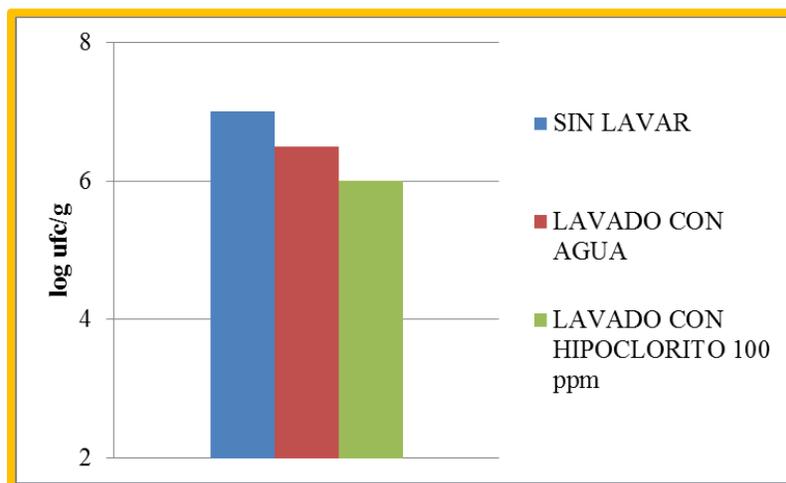


Figura 3. Efecto de lavado y desinfección de vegetales en el recuento de mesófilos.
Fuente: González (2011).

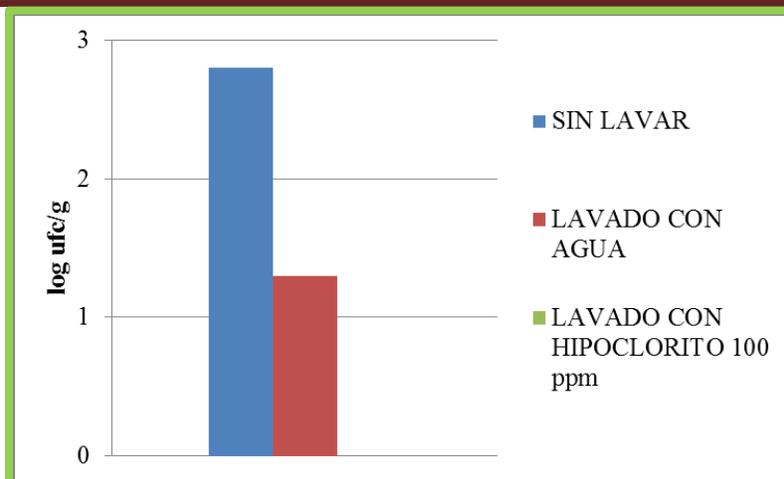


Figura 4. Efecto de lavado y desinfección de vegetales en el recuento de enterobacterias.
Fuente: González (2011).

Actualmente se estudia el efecto de otros agentes químicos en la desinfección de frutas y hortalizas enteras, tales como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Este compuesto es un agente oxidativo fuerte y poderoso en la esterilización de superficies. Además, otros métodos alternativos como la aplicación de luz ultravioleta o la utilización de ozono, han tenido un fuerte auge debido a su capacidad para la destrucción de microorganismos y la seguridad de no dejar residuos en el producto. Por tanto, se podría mejorar la efectividad del tratamiento con niveles reducidos de cloro en combinación con ozono (Rojas, 2006).

Es necesaria una buena limpieza, lavado y desinfección de todas aquellas secciones que forman parte de las líneas de producción, maquinarias e instalaciones, así como del propio local de fabricación, debe asegurarse el mantenimiento a diario de estas condiciones higiénicas. Además, todas estas instalaciones de procesado deben estar dentro de un espacio físico aislado, estéril y con condiciones ambientales controladas, con temperaturas muy bajas dentro del recinto, como máximo $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Artés y Artés-Hernandez, 2003).

- **Tratamientos estabilizantes**

Los tratamientos estabilizantes se utilizan para evitar el pardeamiento enzimático, los factores más importantes que determinan la velocidad de pardeamiento de frutas y hortalizas son tanto la concentración de polifenoloxidasas activas como de componentes fenólicos presentes, el pH, la temperatura y el oxígeno disponible de los tejidos. El pH



óptimo para la actividad de la polifenoloxidasas (PPO) varía con la fuente y con el sustrato sobre un rango relativamente amplio. En la mayoría de los casos, el rango de pH óptimo está entre pH 4 y 7. La estabilidad de la polifenoloxidasas varía con la especie y cultivar. La enzima es relativamente sensible al calor y es completamente inactivada a 80 °C (García *et al.*, 2002).

Los compuestos químicos naturales o sintéticos se han utilizado en el control de la alteración y el mantenimiento de la calidad de frutas altamente acidificadas. Los conservadores que sirven como antioxidantes son también muy importantes para prevenir las reacciones de pardeamiento; y también los son los que protegen a los productos frente a la pérdida de sabor, cambio de textura y pérdidas del valor nutritivo (Wiley, 1997).

El oscurecimiento enzimático se presenta en la superficie de corte y heridas y es causado por la acción de la enzima PPO. Esta enzima, al ocurrir la ruptura de las células, se pone en contacto con los sustratos fenólicos y en presencia de oxígeno inicia la reacción que conduce a la formación de quinonas, las que reaccionan entre sí con otros compuestos formando melaninas, que son complejos macromoleculares de color oscuro. La velocidad de pardeamiento depende también de la variedad, ya que diversas variedades tienen concentración y/o actividad de PPO o concentración de componentes fenólicos (Carbonaro y Mattera, 2001; García *et al.*, 2002; Yue-Ming *et al.*, 1997).

Este deterioro tiene gran importancia por su impacto visual que perjudica la aceptación sensorial, la calidad comercial y por reducir el valor nutritivo de frutas y hortalizas (McDonald y Schaschke, 2000).

El uso de compuestos naturales, presentan una alternativa viable en la conservación de frutos y vegetales cortados, en especial aquellos susceptibles al oscurecimiento y al deterioro, tales como el ácido ascórbico, ácido eritórbito, ácido cítrico, L-cisteína, 4-hexilresorcinol, son muy efectivos para reducir el deterioro y el oscurecimiento en frutos y vegetales mínimamente procesados. Sin embargo, sólo un número limitado de inhibidores de la actividad de PPO, son aceptados en términos de seguridad y costo. Los inhibidores más frecuentemente utilizados en la industria incluyen inmersiones en soluciones de ácido



cítrico, de cloruro de sodio o de ácido ascórbico (Quevedo-Preciado *et al.*, 2005; Artes *et al.*, 1998).

En la tabla 6 se muestran los principales inhibidores del pardeamiento enzimático en los productos mínimamente procesados.

Tabla 6. Principales inhibidores del pardeamiento enzimático.

Inhibidor	Características
Ácido cítrico	El ácido cítrico inhibe el crecimiento bacteriano. Su actividad es debida a la quelación de los iones metálicos que son esenciales para el desarrollo microbiano, puede utilizarse para prevenir el pardeamiento al quelar el cobre de la enzima polifenoloxidasas; con la utilización de éste puede lograrse la inactivación de las enzimas.
Ácido eritórbito	El ácido eritórbito y su sal actúan como fuertes agentes reductores, absorben el oxígeno y de esta forma reducen el oxígeno molecular. A veces se ha señalado la utilización de ácido eritórbito con ácido cítrico, para prevenir la rancidez oxidativa y la decoloración de ensaladas de verduras, manzana y puede inhibir las reacciones de pardeamiento en frutas mínimamente procesadas.
Ácido L-ascórbico	El ácido L-ascórbico (vitamina C) y sus distintas sales neutras y otros derivados, reconocidos como antioxidantes GRAS, se utilizan en frutas con el fin de evitar el pardeamiento y otras reacciones oxidativas. Normalmente se añade junto con el ácido cítrico que tiende a mantener un pH más ácido y también actúa como quelante de enzimas como la polifenoloxidasas que contiene cobre.

Fuente: Wiley (1997).

- Eliminación de agua/Escurrido

Después del lavado se recomienda eliminar el agua de lavado del producto. Por lo que una centrifugación parece ser el mejor método. El tiempo de centrifugación y su velocidad deben ser seleccionadas cuidadosamente, ya que la centrifugación debe solo eliminar el agua y no provocar daños adicionales a los tejidos (Lobo y González, 2003).



- Mezcla/Pesado

Los alimentos combinados tales como ensaladas y comidas listas para consumir requieren un mezclado y preparación antes del envasado. El mezclado en el procesado de fruta y hortaliza tiene como objetivo asegurar una mezcla homogénea, que se conduce hasta una pesadora electrónica, donde se establece en cada instante la combinación óptima para alcanzar el peso programado del envase (Lobo y González, 2003; Wiley, 1997).

- Envasado

El envasado se efectúa en atmósferas modificada (EAM) activa o pasiva, generalmente en flujo continuo (“flow pack”) vertical para bolsas, y horizontal para barquetas o tarrinas o cuencos (“bowl”), es la sustitución del aire en el envase (aire que rodea al alimento), con una mezcla de gases en proporción diferente al aire (Parry, 1995; Lobo y González, 2003).

El uso de EAM mantiene la calidad postcosecha y la vida útil del producto, generando una modificación atmosférica en el interior del envase, como resultado de la respiración de los tejidos vegetales y la difusión de gas (característica de la película) (Villenas *et al.*, 2010).

El envasado en atmósfera modificada es una alternativa para la fruta procesada en fresco, debido a que ayuda a conservar las propiedades de calidad del producto, debido a la reducción del contenido de O₂ y del incremento de la concentración de CO₂ dentro del envase que permiten frenar el metabolismo, la transpiración y mantiene la calidad inicial de la fruta a conservar (Rojas *et al.*, 2008).

Es recomendable para mantener la calidad nutritiva y microbiológica de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas frescas la conservación entre 0 y 5 °C en una atmósfera modificada de 1 a 8 kPa O₂ y 10 a 20 kPa CO₂ (Artes-Hernández *et al.*, 2009).

- Almacenamiento

El almacenamiento refrigerado es una etapa necesaria y exigible en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Esto se basa en la idea de que las temperaturas de refrigeración lentifican el crecimiento de la mayoría de los microorganismos y son eficaces para reducir



la actividad enzimática, la temperatura es un factor importante e invisible, que controla las actividades enzimáticas, respiratorias y metabólicas, así como la transpiración y el crecimiento de insectos y microorganismos. Teniendo en cuenta lo antes expresado, las frutas y hortalizas mínimamente procesadas deben ser mantenidas a menos de 4 °C. De hecho, mantener el producto a bajas temperaturas es un condicionante de su vida útil. (Silvina, 2007; Wiley, 1997).

- **Distribución**

La distribución, puede definirse como el traslado y manipulación rápida y eficaz de las frutas y hortalizas lista para consumir a larga o corta distancia desde el productor hasta el punto de venta, manteniendo la cadena de frío (Wiley, 1997).

- **Venta**

Los productos mínimamente procesados (IV Gama) pueden encontrarse en la práctica totalidad de los puntos de venta, como centros de distribución de alimentos, mayoristas, minoristas y lugares de consumo en las secciones de frutas y hortalizas, conservándose en sus óptimas condiciones temperatura (Afhorla, 2009).

1.2.4 Cambios bioquímicos en productos mínimamente procesados

Los productos mínimamente procesados se deterioran después de la recolección debido a la maduración fisiológica y a alteración microbiana. Las lesiones causadas durante el propio procesado también producen la descompartimentación celular o deslocalización de las enzimas y los substratos, lo que da origen a diferentes alteraciones bioquímicas tales como el pardeamiento, olores desagradables y degradación de la textura (Wiley, 1997).

- *Mecanismos de alteración de la calidad*

Desórdenes fisiológicos: Las situaciones que producen rotura de los tejidos se traduce en una activación metabólica, produciéndose como principales manifestaciones fisiológicas de este fenómeno un incremento en la velocidad de la respiración y en algunos casos producción de etileno. Este incremento en el metabolismo de las frutas y hortalizas



mínimamente procesadas se traduce en el rápido consumo del oxígeno del envase (Wiley, 1997).

Reacciones bioquímicas: Normalmente las enzimas y los sustratos están localizados en diferentes compartimientos celulares y sus transferencias están activamente controladas. El procesado origina la destrucción de las células superficiales y la alteración sensorial tales como mal olor, decoloración y pérdida de firmeza (Wiley, 1997).

Pérdida de firmeza: El ablandamiento de los productos vegetales se debe a cambios en las paredes celulares que están compuestas básicamente por celulosa, hemicelulosa y pectinas formando una estructura compleja. Hasta hace poco se consideraba que la degradación enzimática de los componentes de la pared por las celulasas, hemicelulasas y, sobre todo, por enzimas pécticos, era la responsable de la degradación de la pared celular y, por lo tanto, del ablandamiento de las frutas. Para evitar esta pérdida de textura se añaden a las soluciones de lavado sales de calcio como: el cloruro cálcico, lactato cálcico, tartrato cálcico o propionato cálcico (Lobo y González, 2003).

Alteración microbiana: Todos los mecanismos de la alteración microbiana son interdependientes y en su conjunto contribuye a las alteraciones de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas; estas situaciones producen en los tejidos vegetales una deslocalización celular que da origen bien a reacciones bioquímicas aisladas o superpuestas a otras manifestaciones alternativas (Wiley, 1997).

Uno de los aspectos más importantes a la hora de optimizar el procesado, envasado y comercialización de una fruta fresca cortada, es la vertiente microbiológica, el crecimiento de los microorganismos se ve favorecido por la ruptura de las paredes celulares en las operaciones como el pelado, cortado, troceado, laminado y la consiguiente liberación de nutrientes al exterior. La prolongación de la vida útil de estos productos se puede conseguir minimizando el daño mecánico o eliminación de los microorganismos presentes, mediante tratamientos sanitizantes adecuado, como el lavado con agentes antimicrobianos, e impidiendo su multiplicación manteniendo una temperatura, humedad relativa y



composición atmosférica adecuadas durante todo el periodo de conservación (Lobo y González, 2003).

1.2.5 Legislación de productos mínimamente procesados

Para producir alimentos seguros o de bajo riesgo hacia el humano es esencial poseer información veraz y reproducible que permita desarrollar programas destinados a eliminar los peligros microbianos asociados al consumo de vegetales mínimamente procesados. Sin embargo, en México la información al respecto es muy limitada o nula. No se cuenta con suficiente información sobre la incidencia de enfermedades asociadas al consumo de ensaladas crudas y poca del comportamiento de microorganismos patógenos de importancia en los vegetales; además se sabe muy poco sobre la frecuencia de bacterias patógenas en ensaladas de verduras listas para su consumo (Castro-Rojas *et al.*, 2006).

Esta información es indispensable ya que con base en ella es posible desarrollar medidas objetivas tendientes a disminuir o controlar las enfermedades por el consumo de ensaladas crudas. Aunque limitados, se tienen algunos reportes de la presencia de *Vibrio cholerae* y *Salmonella ssp.* en diferentes ensaladas de verduras que se expenden en mercados públicos de las ciudades de Puebla, México y Guadalajara (Castro-Rojas *et al.*, 2006).

Dentro de los principales microorganismos patógenos que se han encontrado involucrados en estos brotes están las bacterias como *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella ssp.* y *Listeria monocytogenes*. En el estado de Chihuahua se han realizado estudios sobre la calidad microbiológica de las frutas y hortalizas más importantes para conocer el riesgo de contaminación. En manzanas de la variedad ‘Starkimson’ y ‘Golden delicious’ encontraron que no contenían patógenos peligrosos para la salud como *Salmonella ssp.* y *E. coli*; para el caso de coliformes totales, fecales y hongos y levaduras, las concentraciones de éstos fueron desde no detectables a bajas. En hortalizas como chile, tomate y melón no se detectó la presencia de *Salmonella ssp.* y *Escherichia coli* se detectó en muestras de chile chilaca (verde), aunque no fue la cepa *E. coli* 0157:H7 (Ávila-Quezada *et al.*, 2008).

Por otra parte en el año 2011 restringieron la importación de papayas mexicanas al registrarse cerca de 100 casos de contaminación con *Salmonella ssp.* en 23 estados del



E.U.A. provenientes de los estados de Jalisco, Colima, Chiapas y Veracruz; y en septiembre de 2012 se ha vinculado producto Mexicano con brote de salmonella en E.U.A y Canadá, luego que 105 personas en E.U.A y 80 en Canadá se reportaran enfermas por intoxicación por *Salmonella ssp.*, enfermedad que las autoridades vincularon a mangos provenientes del norte de México (Agronota, 2012; San Diego Red, 2011); cabe mencionar que estos casos no son reportados por consumo en México y los frutos son importados como producto fresco y no como producto de IV gama.

En el diario Oficial de la Unión Europea se publicó el Reglamento n° 2073/2005 (DOCE, de 22 de diciembre de 2005) relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios recoge, por primera vez, la obligatoriedad de detectar *Salmonella spp.* en productos vegetales listos para consumir: semillas germinadas, **frutas y hortalizas troceadas** y zumos de frutas y hortalizas no pasteurizados. El criterio de detección establece en los productos comercializados durante su vida útil la ausencia de *Salmonella spp.* en 25 gramos de producto analizado. Con relación a *Listeria monocytogenes* se establece durante la vida útil de los productos preparados listos para consumir un nivel máximo de 100 ufc/g (VISAVET, 2006).

Para garantizar la seguridad alimentaria al consumidor, la producción debe llevarse a cabo siguiendo códigos de buenas prácticas agrícolas y el diseño de las instalaciones y de los procesos de elaboración debe basarse en rigurosos conocimientos técnicos y en la legislación específica española Real Decreto 2207/1995 que traslado a España la normativa higiénico-sanitarias europea de la Directiva 93/43/CEE, donde se adoptan los principios de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) para el aseguramiento de la calidad en la industria española y recomienda aplicar las normas ISO 9000 y Real Decreto 3484/2000 sobre comidas preparadas con vegetales crudos y demás aspectos recogidos en el código alimentario (Lobo y González, 2003).

Países como Francia han elaborado una legislación para los alimentos mínimamente procesados que establece recuentos máximos entre 10^5 y 10^7 ufc/g en aerobios mesófilos para los productos, al momento de cumplirse la fecha de vencimiento, en el caso de México no existe una norma que regule este tipo de productos (Millán *et al.*, 2011).



1.2.6 Tecnologías de conservación en productos mínimamente procesados

La métodos de conservación de frutas y hortalizas de la IV gama ayuda a frenar el deterioro de los productos, también a prolongar la vida útil del producto minimizando controlando la modificación de sus características sensoriales y nutricionales (Tabla 7).

Tabla 7. Métodos de conservación para productos mínimamente procesados.

Químicos	Físicos
<p>Conservadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácidos orgánicos • Ácido cítrico (C₆H₈O₇) • Ácido benzoico (C₆H₅COOH) y parabenos <p>Antioxidantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido L-ascórbico • Ácido eritórbico • Sulfitos <p>Agentes de firmeza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cloruro de calcio (CaCl₂) • Lactato de calcio <p>Agentes quelantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido cítrico • EDTA (Disódico, disódico cálcico) <p>Higienizantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compuestos clorados • Ozono • Peróxido de hidrógeno • Ácido deshidroacético 	<p>Gases y atmósferas modificadas/controladas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monóxido de carbono (CO) • Dióxido de carbono (CO₂) • Dióxido de azufre (SO₂) • Oxido de etileno (C₂H₄O) • Óxido de propileno (C₃H₆O) • Ozono (O₃) • Otros: acetaldehído <p>Irradiación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento con infrarrojos • Microondas • Luz-ultravioleta • Radiaciones ionizantes <p>Conservación por frío</p> <p>Agentes antifúngicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceites esenciales • Compuestos naturales volátiles <p>Reducción de la actividad de agua (Aw)</p>

Fuente: Wiley (1997).

Los métodos más usuales son la conservación en frío y química que incluye acidificantes, antioxidantes, agentes de firmeza, cloración, sustancias antimicrobianas, y otros productos similares. Esta también puede realizarse utilizando tecnologías emergentes tales como



irradiación, altas presiones y biopreservación. Las estrategias para la conservación de frutos frescos cortados están dirigidas a lograr la reducción/inhibición (Rotondo *et al.*, 2008; Lobo y González, 2003):

- 1) El pardeamiento superficial.
- 2) El ablandamiento.
- 3) La pérdida de agua.
- 4) La intensidad respiratoria, la síntesis y la acción del etileno.
- 5) Aromas y sabores extraños/escasos.
- 6) El crecimiento microbiano: microorganismos patógenos y alternantes.

1.3 Envasado en atmósfera modificada

El concepto básico del envasado de alimentos frescos en atmósferas modificadas es la sustitución en el envase, del aire que rodea al alimento, con una mezcla de gases en proporción diferente al aire (Parry, 1995).

El envasado en atmósfera modificada (EAM o MAP en sus siglas inglesas, modified atmosphere packaging) consiste en la evacuación del aire contenido en el envase y la inyección del gas o de la combinación de gases más adecuado a los requerimientos del producto. Si se envasan en atmósfera modificada alimentos con una actividad metabólica importante, como frutas y hortalizas frescas, es imprescindible emplear materiales de permeabilidad selectiva. En caso contrario, su vida útil se reduce considerablemente. La estructura de estas láminas poliméricas permite el intercambio de gases entre el espacio de cabeza del envase y la atmósfera exterior (García *et al.*, 2011).

Dichas actividades consumen el oxígeno presente en el aire produciendo dióxido de carbono y vapor de agua que cambian la atmósfera. El material de envasado permite la difusión de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua, de modo que pueden producirse cambios adicionales en la atmósfera (Brody, 1996).

Un producto envasado en atmósfera modificada se puede definir como aquel producto que se ha almacenado en una atmósfera distinta de la del aire, para de esta manera disminuir los



niveles de respiración, crecimiento microbiano y degradaciones enzimáticas, con el fin de alargar su vida útil, es importante considerar ciertos factores como (Guevara, 2010):

Factores intrínsecos:

- ◆ Las características fisicoquímicas del alimento como su actividad de agua, pH, potencial redox, etc.
- ◆ La composición del producto (nutrientes disponibles para el crecimiento de microorganismos, presencia de componentes antimicrobianos naturales, existencia de enzimas activas).
- ◆ Sus características organolépticas iniciales puesto que los sistemas de atmósferas no enmascaran los atributos negativos de los productos de calidades inferiores.
- ◆ Las condiciones higiénico-sanitarias de la materia prima y del producto final antes de su envasado (García *et al.*, 2011).

Factores extrínsecos:

- ◆ El diseño de la atmósfera en función de las propiedades del producto con la incorporación del tipo de gases más adecuados a las concentraciones de mayor eficacia.
- ◆ La relación entre el volumen del gas inyectado y el volumen del alimento que se desea envasar.
- ◆ La elección de un material de envasado capaz de salvaguardar las condiciones creadas dentro del paquete, prestando especial atención a su permeabilidad frente a los gases y la humedad.
- ◆ Las condiciones higiénico-sanitarias de los equipos utilizados en la elaboración del alimento, las instalaciones y el material de envasado junto con una correcta manipulación del producto a envasar.
- ◆ El empleo de otras técnicas complementarias de conservación que contribuyan a prolongar la vida útil del alimento envasado en atmósfera como, por ejemplo, el uso de aditivos, el almacenamiento a temperaturas de refrigeración, etc. (García *et al.*, 2011).



Por otro lado, la modificación de la composición atmosférica puede reducir el crecimiento de algunos grupos microbianos, especialmente de los microorganismos aerobios, pero puede favorecer el desarrollo de bacterias ácido-lácticas, que en ausencia de microflora competitiva puedan dar lugar a olores y sabores desagradables (Rojas, 2006).

En el envasado en atmósfera modificada de vegetales frescos y mínimamente procesados también se combinan un pequeño volumen de oxígeno y una gran proporción de dióxido de carbono además de nitrógeno. La concentración de estos gases en el espacio de cabeza del paquete varía debido al metabolismo respiratorio de estos productos. En este caso, los cambios se compensan con la difusión de gases a través del material de envasado hasta establecer una atmósfera en equilibrio. En ella, la cantidad de oxígeno que consume el vegetal se recupera con el O_2 del exterior mientras que el exceso de CO_2 y el vapor de agua liberados en la respiración sale del envase (García *et al.*, 2011) (Figura 5):

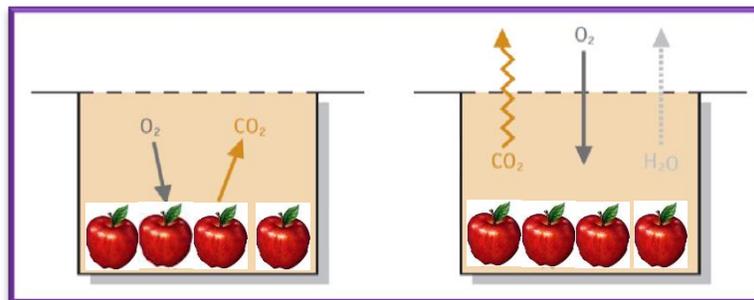


Figura 5. Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos.
Fuente: García *et al.* (2011).

1.3.1 Generación de las atmósferas modificadas

- Sistemas mecánicos.
- ◆ Inyección de gases: Se genera en una máquina de formado-llenado-sellado. Una corriente de gas continua se inyecta dentro del empaque y reemplaza el aire, lo cual genera una dilución en la atmósfera que rodea el producto empacado. Una vez que la mayor proporción de aire es reemplazado, el empaque se sella (Guevara, 2010).



-
- ◆ Vacío compensado: En este sistema de empaçado, el alimento se mantiene en un contenedor preformado o termoformado, al cual se le aplica un vacío para remover el aire del interior del empaque, para posteriormente introducir el gas o la mezcla de gases deseada, mediante la utilización de inyectores o puertos de inyección (Guevara, 2010).

 - Sistemas fisicoquímicos.

 - ◆ Atmósfera pasiva: Para crear la atmósfera pasiva adecuada para algún producto hortofrutícola, es necesario relacionar la velocidad de respiración y las características de permeabilidad del empaque que se va a utilizar. Para esto es necesario conocer las concentraciones óptimas de almacenamiento de los gases de respiración, y así poder definir ya sea las dimensiones adecuadas de permeabilidad a los gases que debe tener la película polimérica (Guevara, 2010).
 - ◆ Atmósfera activa: Este tipo de atmósfera se refiere a la incorporación de aditivos dentro de la película polimérica o dentro de los contenedores del empaque, con la finalidad de modificar la atmósfera e incrementar la vida útil de productos empacados; se puede clasificar en absorbedores de oxígeno y/o dióxido de carbono y generadores de etanol y absorbedores de etileno (Guevara, 2010):
 - Absorbedores de oxígeno: El secuestrador de oxígeno más frecuente usado es el hierro pulverizado, cuya presentación es en pequeños sacos que contienen el agente reductor; en condiciones de humedad adecuadas.
 - Generadores de vapor de etanol: La aplicación de etanol durante el empaçado en atmósferas modificadas se debe a sus ya bien conocidas propiedades antimicrobianas.
 - Absorbedores de etileno: El etileno es un gas que actúa como hormona que estimula la maduración y senescencia de producto hortofrutícolas el final de su desarrollo y principalmente durante su almacenamiento. Su acumulación en el interior del empaque acelera la velocidad de respiración y reduce la vida útil del producto.
-



1.3.2 Gases utilizados en el envasado en atmósfera modificada

Entre los gases más utilizados están el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno, que ejercen su acción protectora sola o combinada en una proporción distinta a la que presentan en la atmósfera terrestre. Las tecnologías de envasado en atmósfera modificada permiten un cierto control sobre las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas responsables del deterioro de los alimentos durante su almacenamiento y comercialización. Para mantener un nivel de calidad óptimo durante estas etapas deben considerarse ciertos factores intrínsecos y extrínsecos al producto (García *et al.*, 2011).

Tabla 8. Principales gases utilizados en el envasado de atmósfera modificada.

Gas	Características
<i>Oxígeno (O₂)</i>	Es el gas más importante, siendo utilizado por los microorganismos aerobios que provocan la descomposición de tejidos vegetales y participa en reacciones enzimáticas.
<i>Dióxido de carbono (CO₂)</i>	Ejerce un fuerte efecto inhibitor sobre el crecimiento bacteriano, es particularmente efectivo contra las bacterias aerobias de la descomposición, gram-negativas, que provocan pérdida de color y malos olores.
<i>Nitrógeno (N₂)</i>	Se utiliza fundamentalmente para desplazar el oxígeno y actúa como relleno para evitar el “colapso del envase” en los alimentos que absorben el dióxido de carbono.
<i>Monóxido de carbono (CO)</i>	Es un gas altamente tóxico, su empleo no ha sido autorizado por las autoridades. En USA se ha autorizado para prevenir el pardeamiento en el envasado de lechugas.
<i>Otros gases</i>	El cloro, óxido de etileno, dióxido de nitrógeno, ozono, óxido de propileno y dióxido de azufre, también se han investigado experimentalmente para el envasado de atmósfera modificada, pero es poco probable que su utilización comercial para el envasado de alimentos.

Fuente: Parry (1995).



1.3.3 Tipos de envases

Los envases más extendidos en el envasado en atmósfera se fabrican con materiales poliméricos y se dividen en dos categorías (García *et al.*, 2011) (Figura 6):

- ◆ **Envases flexibles.** A este grupo pertenecen los envases o bolsas tipo “almohada”, que tienen una soldadura longitudinal y dos transversales en los extremos, y el tipo “saco o sobre”, con los cuatro lados sellados.
- ◆ **Envases rígidos.** En esta segunda categoría los envases constan de dos componentes. El inferior puede tener distintas formas (copa, cuenco,...) aunque generalmente se trata de una bandeja o barqueta sobre la que se deposita el alimento. El otro componente es una película flexible que sirve para cubrirlo.

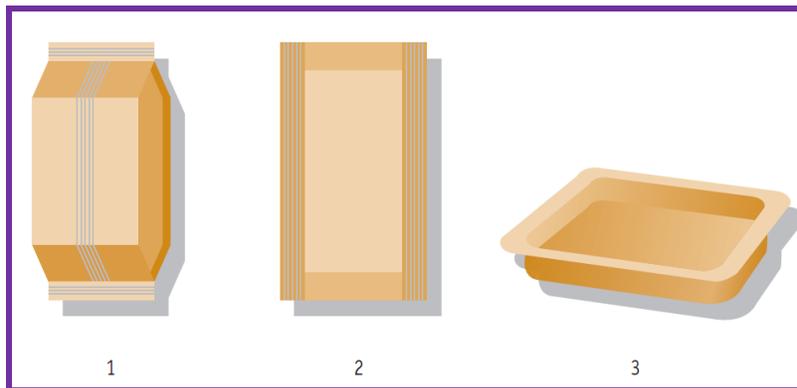


Figura 6. Envases más utilizados en el envasado en atmósfera modificada. (1) Bolsa tipo “almohada”; (2) bolsa tipo “sobre” o “saco”; y (3) barqueta.

Fuente: García *et al.* (2011).

Dentro de las tecnologías de envasado la función principal que desempeña el envase es proteger el alimento del medio externo y preservar el ambiente gaseoso creado en su interior. Los materiales seleccionados para su fabricación deben presentar determinadas propiedades barrera al paso de los gases y la humedad, entre otros (García *et al.*, 2011). Aparte de esta característica básica, es deseable que reúnan otras propiedades desde el punto de vista técnico, comercial, legal, etc. (Tabla 9).



Tabla 9. Propiedades de los materiales de envasado.

Propiedades	Importancia	Características
Barrea o de protección	Estos materiales deben preservar el alimento y la atmósfera protectora del ambiente exterior.	Barrera frente a gases, humedad y olores, protección frente a la luz y resistencia de grasas y aceites.
Técnicas o mecánicas	Impuestas por el proceso de envasado, la maquinaria utilizada en él y la manipulación de los envases acabados durante su distribución y venta.	Resistencia a impactos, perforaciones y abrasiones, flexibilidad para soportar la presión interna de los gases, aptitud para el termoformado, facilidad de sellado y resistencia a bajas y/o altas temperaturas.
Comerciales	Presentación atractiva y manipulación sencilla y práctica para el consumidor.	Brillo y transparencia, capacidad antivaho, facilidad de apertura, aptitud para la impresión y la adición de etiquetas y códigos, calentamiento en el horno convencional o microondas.
Otras	Económicas, legales y medioambientales.	Rendimiento de coste por metro cuadrado, disponibilidad en el mercado, inercia química y posibilidad de reciclado.

Fuente: García *et al.* (2011).

1.3.4 Materiales de envasado

En la tabla 10 se recogen los principales materiales utilizados en el envasado de atmósfera modificada, así como algunas de sus propiedades más importantes (García *et al.*, 2011):

Tabla 10. Principales materiales utilizados en el envasado de frutas mínimamente procesadas en atmósfera modificada.

Película	Permeabilidad a los gases ($\text{cm}^2/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$)			Transmisión de vapor de agua ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) 38 °C 90% HR	Resistencia a grasas y aceites
	O ₂	CO ₂	N ₂		
Polietileno de baja densidad (LDPE)	7800	42000	2800	18	Pobre
Polietileno de alta densidad (HDPE)	2600	7600	650	7-10	Buena – excelente
Polipropileno (PP) fundido	3700	10000	680	10-12	Buena
Polipropileno orientado	2000	8000	400	6-7	Buena – excelente



Tabla 10. Principales materiales utilizados en el envasado de frutas mínimamente procesadas en atmósfera modificada (Continuación).

Película	Permeabilidad a los gases (cm ² /m ² •día•atm)			Transmisión de vapor de agua (g/m ² •día) 38 °C 90% HR	Resistencia a grasas y aceites
	O ₂	CO ₂	N ₂		
Etileno-acetato de vinilo (EVA)	12500	50000	4900	40-60	Pobre
Policloruro de vinilo (PVC) rígido	150-350	150-350	60-150	30-40	Excelente
Policloruro de vinilo (PVC) plastificado	500-30000	1500-46000	300-10000	15-40	Buena
Poliamida (PA) o Nylon-6	40	150-190	14	84-3100	Excelente
Poliamida (PA) o Nylon-11	500	2000	52	5-13	Excelente
Politereftalato de etilenglicol (PET) o poliéster, orientado	50-130	180-390	15-18	25-30	Excelente
Poliestireno (PS), orientado	5000	18000	800	100-125	Buena
Etileno-alcohol vinílico	3-5	-	-	16-18	-
Ionómeros	6000	6000	-	25-35	Pobre

Fuente: García *et al.* (2011).

Entre las películas comúnmente empleadas para el envasado en atmósfera modificada se incluyen: policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, nylon y el polietileno, utilizado para proporcionar el medio de sellado, en los que sus propiedades de barrera dependen del espesor. Un envase de atmósfera modificada debe ser mecanizable, capaz de resistir el transporte y la manipulación, atractivo para la venta previa, capaz de llevar información (como mínimo para satisfacer las exigencias legales) y todo ello a costo aceptable (Tabla 11) (Parry, 1995).



Tabla 11. Características de películas utilizadas en el envasado de atmósfera modificada.

Película	Características
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Su permeabilidad es moderadamente baja el vapor de agua, pero alta para el oxígeno. La permeabilidad a los gases es alta, y también presenta un reducido efecto de barrera frente a los olores.
Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	Estructura de cadena lineal con ramificaciones laterales cortas e inclinadas.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Proporciona propiedades de barrera superiores y es una película dura.
Polipropileno (PP)	Es químicamente similar al polietileno, proporciona mayores rangos de barrera frente al vapor de agua que el polietileno, también proporciona una mayor barrera a los gases; además tiene una excelente resistencia a las grasas. Es un producto inerte, totalmente reciclable, cuya incineración no tiene ningún efecto contaminante.
Copolímero etilenoacetato de vinilo (EVA):	Es un copolímero muy flexible en forma de lámina, con mayor permeabilidad al vapor de agua y a los gases que el polietileno de baja densidad.
Policloruro de vinilo (PVC):	Esta película es la lámina base termoformable más ampliamente utilizada para envasado en atmósfera modificada. El PVC posee una buena capacidad de barrera frente a los gases y moderada al vapor de agua; las propiedades de barrera, las propiedades físicas, varían con el grosor.
Policloruro de vinilideno (PVdC):	Baja permeabilidad al vapor de agua y a los gases; y se utiliza principalmente con poliéster y polipropileno orientado, para películas de cubierta.
Poliestireno (PS):	Es un polímero termoplástico claro, con una elevada resistencia a la extensión, pero con propiedades de barrera reducidas frente al vapor de agua y a los gases. Fácil de usar y costo relativamente bajo
Poliestireno de bajo impacto (HIPS):	Es un polímero termoformable, opaco, película de moderadas propiedades barrera frente a los gases.



Tabla 11. Características de películas utilizadas en el envasado de atmósfera modificada (continuación).

Película	Características
Poliacrilonitrilo (PAN):	Copolimerizado con metacrilato y un pequeño porcentaje de goma de butadieno/acrilonitrilo; con excelentes propiedades barrera a los gases.
Poliamidas (PA):	Los “nylons” son películas resistentes con elevada resistencia a la extensión y buena resistencia a la abrasión, pero son algo higroscópicos y sus propiedades mecánicas se alteran por la absorción de agua.
Politereftalato de etilenglicol (Poliéster o PET):	Es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, incapaz de proporcionar un sellado hermético. Las propiedades sobresalientes del PET son: transparencia y brillo, excelentes propiedades mecánicas, barrera contra los gases, y buena relación costo-desempeño. Las propiedades únicas del PET le dan considerables ventajas, como claridad, brillo, transparencia, barrera a gases o aromas, impacto, termoformabilidad. Se destaca el <i>factor barrera</i> , que es la resistencia que ofrece el material con el que está construido un envase al paso de agentes exteriores al interior del mismo. El PET se ha declarado excelente protector en el envasado de productos alimenticios, precisamente por su buen comportamiento de barrera y puede ser reciclado.
Copolímeros de etileno-alcohol vinílico (EVOH):	Es caro y como película es sensible a la humedad, es un material de muy alta barrera a los gases y se coloca en medio de las películas protectoras que proveen sellado y forma.
Otras películas:	Policarbonatos (PC), que algunos sectores, podría considerarse como sustitutos del PET y los polímeros de acrilonitrilo, butadieno y estireno (ABS).

Fuentes: Parry (1995); Guevara (2010).

En la mayoría de los casos, el envasado en atmósfera modificada extiende significativamente la vida útil de los productos frescos cortados, disminuyendo las pérdidas de agua, reduciendo la actividad respiratoria y los pardeamientos superficiales, así como el crecimiento microbiano y la biosíntesis y acción del etileno (Lobo y González, 2003) .



La principal característica a considerar cuando se seleccionan los materiales para el envasado en atmósfera modificada de frutas y hortalizas son: permeabilidad a los gases, velocidad de transpiración del vapor de agua, propiedades mecánicas, tipos de envases, transparencia. Para el envasado en atmósfera modificada se seleccionan films de una permeabilidad intermedia de gases, debido a las diferencias en la intensidad de respiración de las frutas y hortalizas individuales y el efecto de la temperatura sobre la respiración y la permeabilidad a los gases (Parry, 1995).

Las frutas y hortalizas preparadas cortadas generalmente pierden agua más rápidamente que un producto entero sin preparar, y por esta razón el producto preparado cortado debe envasarse en atmósfera modificada tan pronto como sea posible después de la preparación (Parry, 1995). Cuando se utilizan películas flexibles en la conservación de frutos, se modifica la composición de gases que los rodean elevando la concentración de CO₂ y disminuyendo el O₂ disponible para la respiración del fruto, con el objetivo de disminuir la velocidad metabólica y así crear condiciones adecuadas para el almacenamiento prolongado del producto (Guevara, 2010).

- Permeabilidad.
- ◆ Permeabilidad a los gases: Una adecuada permeabilidad a los gases es importante para lograr atmósferas modificadas con elevadas concentraciones de CO₂ capaces de inhibir el desarrollo microbiano, en el caso de vegetales esto además ayuda a disminuir la velocidad de respiración. La permeabilidad a los gases es particular en cada material (Guevara, 2010).
- ◆ Permeabilidad al vapor de agua: Muchas películas plásticas hidrofóbicas usadas en envases de atmósfera de productos frescos son relativamente buenas barreras de vapor y son capaces de mantener humedades relativas elevadas dentro del empaque. Sin embargo, en el caso de frutas con elevado contenido de agua, existe un problema, en el interior del empaque la humedad relativa puede llegar a ser muy alta, lo que causa condensación de la humedad por lo que se crean condiciones



favorables para el desarrollo microbiano; resultando en la descomposición del producto (Guevara, 2010).

1.3.5 Ventajas y Desventajas del envasado en atmósfera modificada

Ventajas: Disminución de los procesos metabólicos y fisicoquímicos causante del proceso de deterioro normal de los alimentos. Disminuye la velocidad con que se presentan las reacciones fisicoquímicas, disminución de la actividad enzimática, disminución en la velocidad de crecimiento microbiano y disminución de la pérdida de atributos sensoriales, disminución de la velocidad de respiración, lo que da como resultado en la vida de anaquel (Guevara, 2010).

Desventajas: Una mala aplicación de la atmósfera modificada puede inducir trastornos metabólicos y con ello un metabolismo anaerobio (fermentación), se induce el desarrollo de sabores desagradables y una reducción en la biosíntesis del aroma, lo que genera como consecuencia una disminución en la vida útil (Tabla 12) (Guevara, 2010).

Tabla 12. Ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas.

Ventajas	Desventajas
Incremento en la vida comercial en productos al menudeo.	Pérdidas económicas por descomposición y no comercialización del alimento.
Mejoras en la presentación del alimento ante la vista del consumidor.	Incremento en los costos de producción debido al material de empaque y los gases.
El producto puede ser apilado, libre de exudaciones u olores desagradables.	Costos del equipo analítico para asegurar que la concentración de los gases es adecuada.
Fácil separación en productos rebanados.	Costos del sistema del control de calidad para asegurar alimentos sin riesgos para la salud y defectos físicos como fugas.
No es necesario el uso de conservadores químicos.	Incremento en el volumen del empaque, lo que puede incrementar costos de transporte.
Incremento en el área de distribución.	Los beneficios del empaque en atmósfera modificada se pierden una vez que el producto se abre o presenta fugas.
Reducción en los costos de transporte debido a entregas menos frecuentes.	Cambios en la cadena de frío favorece la descomposición del alimento debido al desarrollo microbiano.

Fuente: Guevara (2010).

OBJETIVOS





2. OBJETIVOS

✓ **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de atmósferas modificadas en la conservación de manzana ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada, que permita controlar el pardeamiento enzimático y alargar la vida útil del producto.

✓ **Objetivos particulares**

- *Objetivo particular 1*

Determinar los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, acidez y pH) en dos variedades de manzana (‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’) durante su vida post-cosecha, para posteriormente comparar estos parámetros con las manzana mínimamente procesada.

- *Objetivo particular 2*

Seleccionar el tipo de antioxidante y la concentración que permita controlar el pardeamiento enzimático (PPO y PDO) en manzana ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada, que preserve sus características de calidad y sensorial.

- *Objetivo particular 3*

Comparar el efecto de envases con diferente permeabilidad al O₂ (bolsa de polietileno, bandeja de politereftalato de etilenglicol y bolsa de policloruro de vinilideno) en la conservación de dos variedades de manzana (‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’) mínimamente procesadas sobre los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos, enzimáticos, microbiológicos, sensoriales y de vida útil.



MATERIALES Y MÉTODOS





3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Cuadro Metodológico.

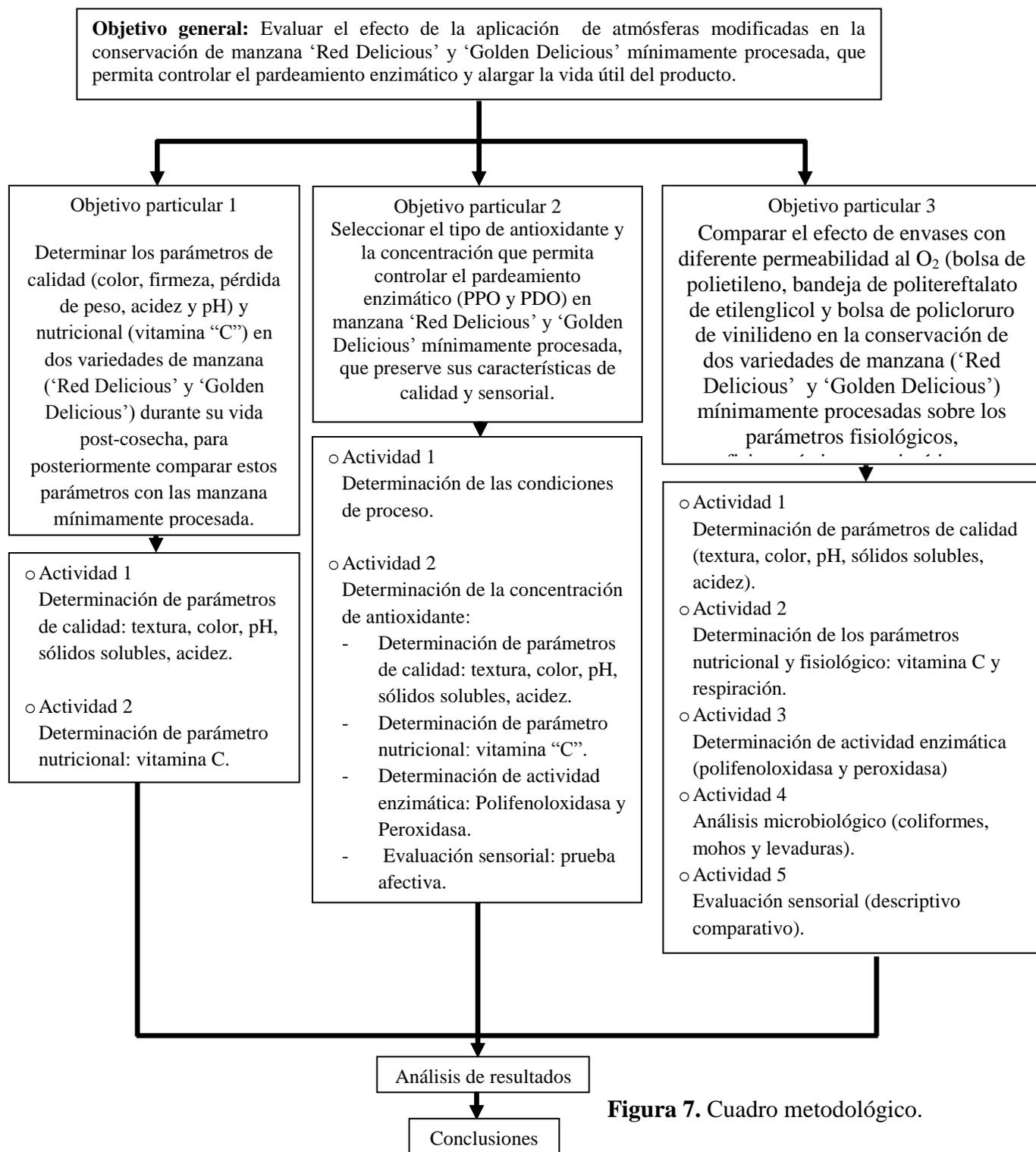


Figura 7. Cuadro metodológico.



3.2 Material Biológico

Manzanas de las variedades ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ procedentes del Estado de Chihuahua, adquiridas en la Central de Abastos de la Ciudad de México, donde fueron trasladadas para su estudio al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM.

3.3 Tratamiento de las muestras

Las variedades de manzanas se clasificaron tomando en cuenta el peso, calibre y que estuvieran libres de daños, considerando la noma NMX-FF-061-1993. Después se realizó un lavado del producto con agua y jabón (Figura 8), seguido de un pre-enfriamiento a 4 °C.

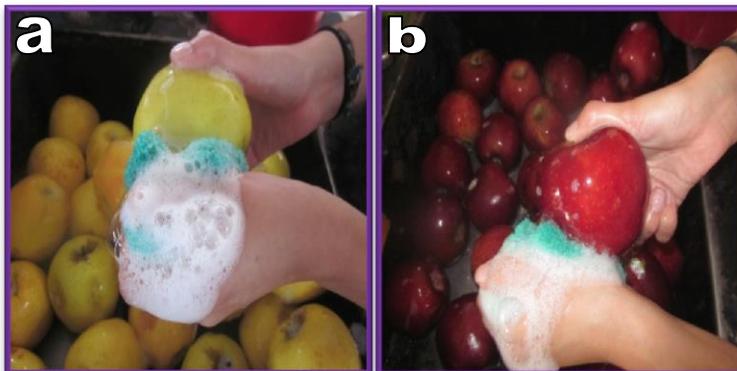


Figura 8. Lavado con agua y jabón de la manzana. a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.

3.4 Proceso de elaboración de manzana mínimamente procesada.

En la figura 9 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de la manzana mínimamente procesada, cabe aclarar que todo el proceso se realizó a 4 °C.

El proceso se llevó a cabo en un área desinfectada con cloro comercial (Hipoclorito de sodio con agua), de igual forma se higienizaron los utensilios así como tablas, cuchillos y recipientes con cloro comercial (10 gotas/L). Las manzanas se desinfectaron con Microdyn (8 gotas/L) durante 10 minutos (Figura 10), después se realizó un enjuagado del producto con agua (2L de agua/Kg) por 2 minutos. Los frutos se cortaron manualmente, obteniéndose 12 orejones por manzana con un espesor aproximado de 2 cm cada uno (Figura 11).

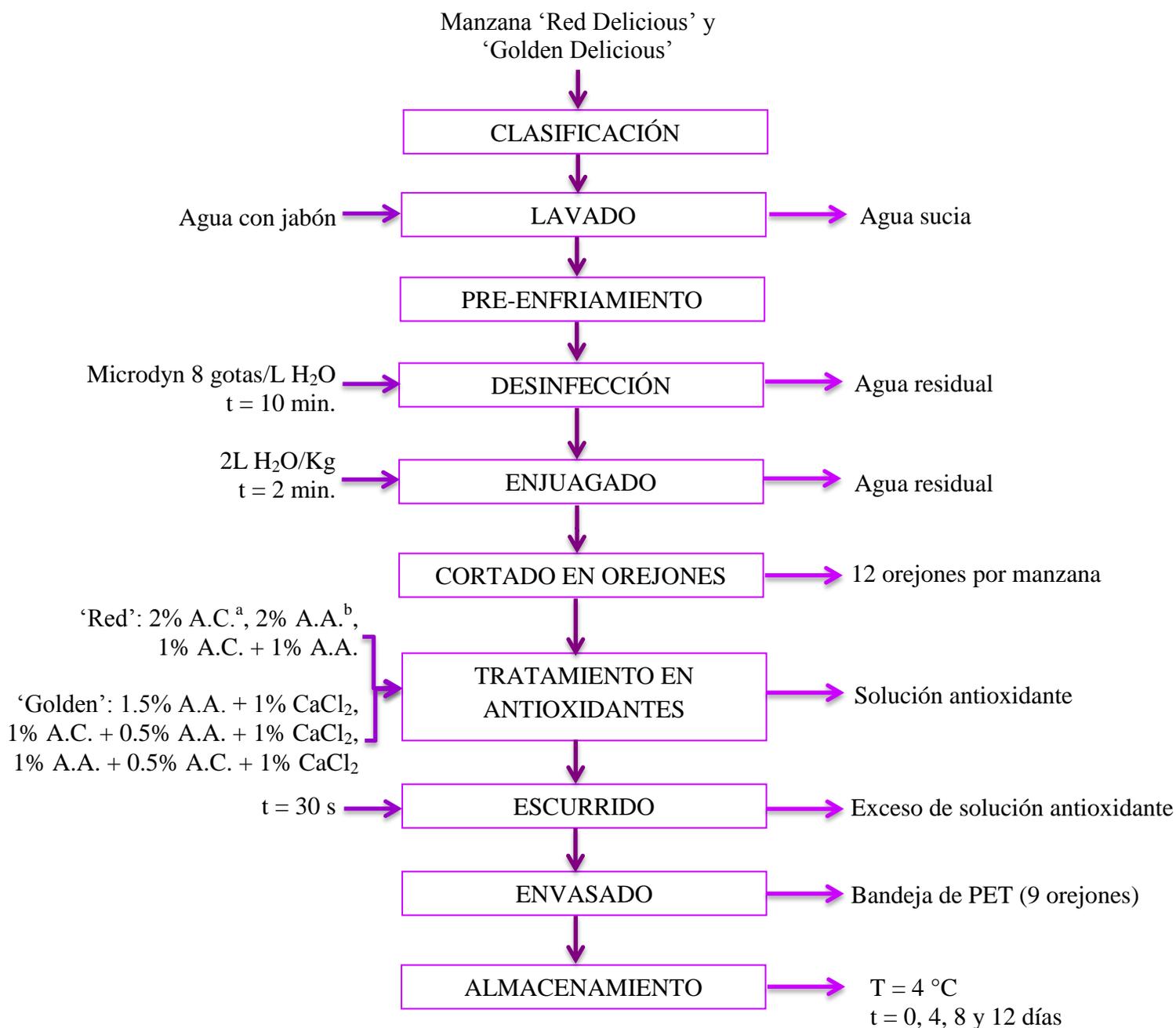


Figura 9. Diagrama de bloques para la elaboración de manzana mínimamente.

^a A.C. = ácido cítrico; ^b A.A. = ácido ascórbico.



Figura 10. Desinfección de las manzanas: a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.

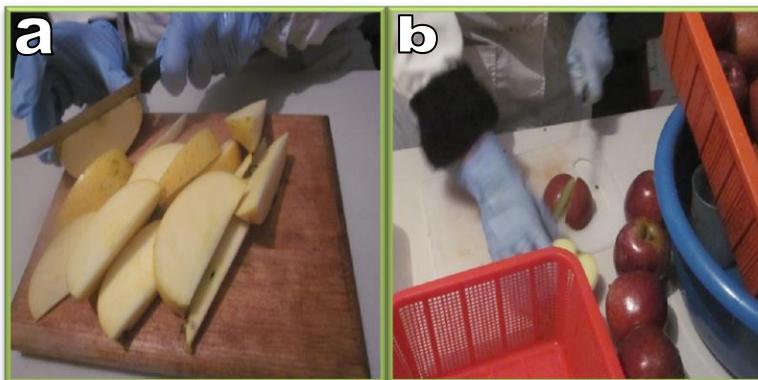


Figura 11. Cortado manual de las manzanas: a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.

Los orejones de manzana se sumergieron en las diferentes concentraciones de antioxidantes como se muestran en la tabla 13 (Figura 12). Enseguida se llevó a cabo un escurrido durante 30 segundos (Figura 13) y por último se envasaron 9 gajos por tarrina con un peso aproximado de 100g, las cuales se almacenaron durante 12 días a 4 °C (Figura 14).



Figura 12. Inmersión de los orejones en el antioxidante: a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.

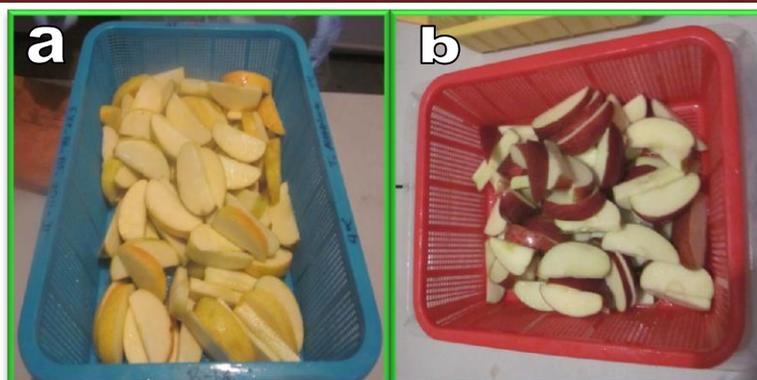


Figura 13. Escurreido de los orejones de manzana: a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.



Figura 14. Almacenamiento en refrigeración de las manzanas: a) ‘Golden Delicious’ y b) ‘Red Delicious’.

3.5 Determinación de los parámetros de calidad, nutricionales y fisiológicos de la manzana como producto fresco

Las manzanas frescas se almacenaron a una temperatura de 4 °C, para posteriormente evaluar los parámetros de calidad y nutricionales, como se describen en el apartado 3.8.1 y 3.8.3 respectivamente, durante su vida post-cosecha.

3.6 Efecto del antioxidante en el control del pardeamiento enzimático en manzana mínimamente procesada

El efecto de los antioxidantes utilizados se evaluó en la manzana mínimamente procesada, aplicando diferentes concentraciones de ácido ascórbico y ácido cítrico (Tabla 13). Las concentraciones propuestas se establecieron en trabajos anteriores (Salazar, 2012), lo que permitió establecer que para la manzana ‘Red Delicious’ se requería de condiciones más



ácidas para evitar alteraciones microbianas que se presentaron en el fruto, así como evitar el pardeamiento, por lo que se aumentó la concentración de los antioxidantes al 2%. Por otra parte se consideró la adición de cloruro de calcio CaCl_2 al 1% (antes sin tratamiento) para mejorar la firmeza en la variedad ‘Golden Delicious’, ya que ésta presentó un ablandamiento mayor que la manzana ‘Red Delicious’, a la que no se le agregó cloruro de calcio.

La actividad de las enzimas polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (PDO), la firmeza, la acidez, el índice de blancura y el contenido de vitamina “C” fueron evaluadas en los orejones de manzana sometidas a los diferentes tratamientos con antioxidantes. Cada parámetro fue evaluado de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 3.8.

Tabla 13. Tratamientos antipardeamiento utilizados en orejones de manzana.

Variedades de manzana	Concentraciones de antioxidantes
‘Red Delicious’	Control
	2% Ácido cítrico
	2% Ácido ascórbico
	1% Ácido cítrico + 1% Ácido ascórbico
‘Golden Delicious’	Control
	1.5% Ácido ascórbico
	1% Ácido ascórbico + 0.5% Ácido cítrico
	1% Ácido cítrico + 0.5% Ácido ascórbico

3.7 Evaluación del efecto de los diferentes materiales de envasado utilizados en la manzana mínimamente procesada

Una vez seleccionada la mejor concentración de antioxidantes se procedió a realizar el envasado del producto en envases con diferentes permeabilidades al O_2 : bandeja de politereftalato de etilenglicol (PET) $130 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$, bolsa de polietileno (PE) $8500 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$ y bolsa de policloruro de vinilideno (PVDC) $10 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$.



La concentración de oxígeno y dióxido de carbono en el espacio de cabeza de cada envase se evaluó a lo largo del almacenamiento de los productos, mediante un analizador de gases (modelo 902D, marca Quantek Instruments). La actividad enzimática de las enzimas PPO y PDO, los parámetros de calidad (sólidos solubles totales, color, acidez, pH y firmeza) y el contenido de vitamina “C” en los orejones de manzana fueron evaluados de acuerdo con las técnicas descritas en el apartado 3.8.

3.8 Técnicas analíticas

3.8.1 Parámetros de calidad

- **Sólidos solubles totales:** El contenido de sólidos solubles totales se determinó utilizando una muestra representativa de jugo de los orejones de manzana, donde se midió con un refractómetro, según la norma NMX-FF-061-1993, donde los resultados se expresaron como °Bx (Figura 15).



Figura 15. Refractómetro manual.

- **Firmeza:** La firmeza de la pulpa o resistencia a la penetración se determinó en los orejones, haciendo penetrar un medidor de firmeza o penetrómetro con una punta de 0.5 mm de diámetro. Las lecturas se expresaron en kgf/cm^2 , de acuerdo a la norma NMX-FF-061-1993 (Figura 16).



Figura 16. Penetrómetro manual.



- **pH:** El pH de cada muestra se evaluó con un potenciómetro digital (Figura 17) a temperatura ambiente (AOAC, 1996).

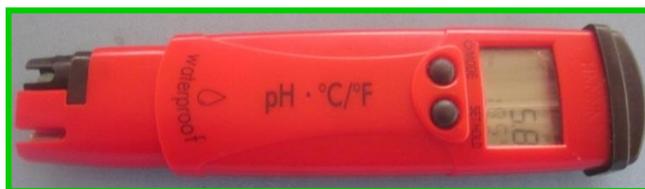


Figura 17. Potenciómetro digital.

- **Acidez titulable:** Se determinó mediante titulación directa de 20 ml de extracto de jugo obtenido de los orejones de manzana con Na OH (0.1 N), fenolftaleína (0.1%) como indicador (Figura 18), expresando los resultados en % de ácido málico (AOAC, 1996).

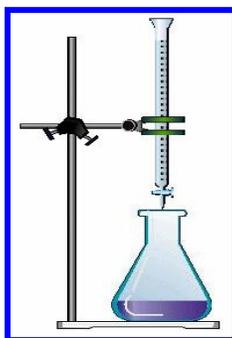


Figura 18. Titulación directa.

- **Color:** Los cambios de color en los orejones de manzana, fueron medidos empleando un colorímetro Minolta CR-300 de triestímulos (L, a y b) (Figura 19). El valor L representa la respuesta del ojo al negro blanco. Un blanco perfecto tiene un valor de 100 y un negro perfecto tiene un valor de cero en la escala L. Un valor positivo en la escala a, indica rojo, un valor negativo en esa escala, verde; el cero es gris. Un valor positivo en la escala b, indica amarillo, un valor negativo azul; el cero es gris. Los valores a y b se utilizaron para determinar los parámetros de tonalidad ($^{\circ}$ HUE), la intensidad de color (Croma) y el índice de blancura (IB); los cuales se calcularon: $^{\circ}$ HUE = $\arctan(b/a)$, Croma = $(a^2 + b^2)^{1/2}$ e IB = $100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{1/2}$.



Figura 19. Colorímetro Minolta.

3.8.2 Parámetro fisiológico

La concentración de gases de la atmósfera modificada en los tres empaques utilizados (alta, media y baja permeabilidad) se obtuvo a través de un analizador de gases (modelo 902D, marca Quantek Instruments) (Figura 20) el cual nos indicó la concentración de oxígeno (O_2) y la concentración de dióxido de carbono (CO_2) que generaron los orejones de manzana durante el periodo de almacenamiento (Trejo-Márquez *et al.*, 2007).



Figura 20. Analizador de oxígeno y dióxido de carbono.

3.8.3 Parámetro nutricional

Contenido de ácido ascórbico (Vitamina C): La vitamina C se determinó con ayuda de un espectrofotómetro. Primeramente se extrajo la vitamina C de los orejones de manzana con una molienda de 0.1g de la muestra con 2 mL de ácido metafosfórico (HPO_3) al 2%, el cual se centrifugó a 12000 rpm durante 15 min. Se realizó una solución patrón de ácido ascórbico y una de ácido metafosfórico que se utilizó como blanco, en una celda se agregó una alícuota de 400 μ l del extracto, 1000 μ l de indofenol y 1000 μ l de ácido metafosfórico al 2% y por último se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 518 nm (Figura 21).



Figura 21. Espectrofotómetro.

3.8.4 Análisis microbiológicos

La determinación de mohos y levaduras, coliformes totales y bacterias aerobias se llevó a cabo por el método de cuenta en placa de un medio sólido de agar mediante la siembra por superficie (Figura 22). El conteo se llevó a cabo los días de muestreo según la variedad de los orejones de manzana y los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias (UFC/g).

Preparación y dilución de las muestras: consistió en obtener una dilución primaria que tuvo por objeto una distribución más uniforme de los microorganismos contenidos en las muestras para el análisis. Posteriormente se realizaron diluciones decimales adicionales (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}), para reducir el número de microorganismos por unidad de volumen, que permitieron la cuenta de colonias en el método utilizado de cuenta en placa (NOM-110-SSA1-1994).

Siembra de muestras: se realizó por el método de superficie en el cual se agregaron 0.1 mL provenientes de las diluciones realizadas en los medios de cultivo selectivos para cada tipo de microorganismos, los cuales se distribuyeron uniformemente utilizando un asa microbiológica, realizándose por duplicado la siembra de las muestras.

- **Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa:** la técnica consistió en contar las colonias que se desarrollaron en el medio de elección (Agar nutritivo) después de 48 ± 2 hrs a una temperatura de incubación de 35 ± 2 °C; como lo refiere la norma NOM-092-SSA1-1994 con una modificación en el medio de cultivo que se utilizó en el presente estudio.



- **Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa:** se determinaron el número de microorganismos coliformes presentes en una muestra, utilizando un medio selectivo (Mac Conkey) en el que se desarrollan a 35 °C aproximadamente en 24 horas.
- **Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos:** se inocularon 0.1 mL de cada una de las diluciones realizadas para las muestra de manzana en un medio de agar papa dextrosa acidificado a un pH de 3.5 y se incubaron a 25 °C por un tiempo de 3 a 5 días como lo indica la norma NOM-111-SSA1-1994.



Figura 22. Medios de cultivo. a) Agar Mac Conkey, b) Agar nutritivo y c) Agar papa dextrosa.

3.8.5 Actividad enzimática

Para poder determinar la actividad de las enzimas polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (PDO), se llevó a cabo la preparación de los extractos crudos de las dos variedades de manzana mínimamente procesada, donde se pesó 0.2 g de la pulpa, después se trituraron manualmente utilizando nitrógeno líquido, se colocó en un tubo de micro centrifuga y se agregó 1 mL de buffer fosfatos 0.2 M a pH de 7.5, posteriormente se agitó durante 1 min y se centrifugó a 12 000 rpm durante 30 min, se extrajo el sobrenadante y se congeló a -20°C hasta su determinación (Cano *et al.*, 1997).

- **Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO):** Se determinó espectrofotométricamente, en una celda se agregó 1.45 mL de buffer 10 mM con 0.07 M de dopamina hidroclicorada, se adicionó 100 µL de extracto crudo y se mezcló, rápidamente se midió a una absorbancia de 420 nm por 4 minutos (Cano *et al.*, 1997).



- **Actividad de la enzima peroxidasa (PDO):** De igual forma que la enzima polifenoloxidasas, se agregó 1.35 mL de buffer fosfatos 0.05 M con 50 μ L de peróxido de hidrógeno y 100 μ L de *p*-fenilendiamina (10 mg/mL) en una celda con 100 μ L de extracto crudo y se midió el aumento de la absorbancia a 485 nm por 4 minutos en el espectrofotómetro (Figura 26) (Cano *et al.*, 1997).

Para ambas enzimas, en el objetivo 1 los resultados se expresaron en % de Actividad residual que se considera la relación de la actividad de la enzima de la muestra no tratada (control) y la actividad de la enzima en las muestras con tratamiento (concentraciones de antioxidantes) por cien; y para el objetivo 2 se reportaron como Δ Absorbancia/mg de proteína \cdot minuto \cdot mL.

3.8.6 Evaluación sensorial

Para determinar el efecto del uso del antioxidante se realizó una evaluación sensorial, se aplicó una prueba afectiva con una escala hedónica de 5 puntos, donde la aceptación de los orejones de manzana fue determinada con ayuda de 10 panelistas no entrenados en edades de 20–30 años sin importar el sexo. Para cada muestra se evaluaron los siguientes parámetros (Tabla 14) (Hernández, 2007):

Tabla 14. Escala hedónica de 5 puntos utilizada para evaluar a las dos variedades de manzana mínimamente procesada.

a) Escala general e intensidad de color:	b) Escala de deshidratación y olores extraños:
1. Muy mala/o	1. Mucha
2. Mala/o	2. Alguna/o
3. Aceptable	3. Aceptable
4. Buena/o	4. Leve
5. Muy buena/o	5. Ninguna
c) Escala de pardeamiento:	d) Escala de textura:
1. Más del 50% (mucho)	1. Muy blanda
2. Entre 30% y 50% (algo)	2. Blanda
3. Entre 20% y 30% (aceptable)	3. Aceptable
4. Entre 10% y 20% (poco)	4. Firme
5. 0% (ninguno)	5. Muy firme



Para la evaluación del efecto de la atmósfera modificada en el producto, se desarrolló una prueba analítica discriminadora con una prueba triangular, donde se mostraron a los jueces 3 muestras, una de ellas diferente y se les preguntó cuál es la diferente (Figura 23) (Hernández, 2007).

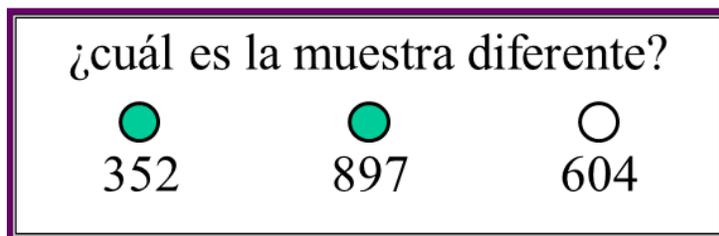


Figura 23. Muestra de una prueba triangular.

3.9 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa SAS versión 9.0, realizando un ANOVA y una comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p = 0.05$.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN





4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización física y fisicoquímica de manzanas en fresco

Una caracterización física de los frutos se llevó a cabo para conocer al material en estudio y obtener lotes similares por variedad. El peso, las longitudes ecuatorial y polar se midieron para conocer el estado fisiológico, siendo el tamaño y la forma una de las características típicas de cada variedad que se alcanzan durante el desarrollo del fruto.

Los frutos sometidos a este estudio cumplieron con las especificaciones mínimas por variedad, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-061-1993, para ser clasificados como manzanas México extra (Tablas 15).

Tabla 15. Dimensiones de la manzana.

Manzana	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
‘Golden Delicious’	0.160 ± 0.007	7.110 ± 0.195	6.680 ± 0.270
‘Red Delicious’	0.160 ± 0.008	7.060 ± 0.277	6.560 ± 0.348

Manzanas de la clasificación México Extra deben ser de la mejor calidad, limpias y de forma característica de la variedad; la superficie debe ser lisa, exenta de rajaduras en la superficie, golpes; excepto daños propios del manejo normal y empaque. El tamaño de la manzana en función de su diámetro ecuatorial debe medir 6.0 cm como mínimo en envases de cartón o madera con charolas y 6.5 cm en envase de cartón o madera sin charolas (NMX-FF-061-1993).

La determinación de los parámetros de calidad (pH, sólidos solubles, acidez, luminosidad, cromaticidad, tonalidad, firmeza) y nutricional (Vitamina “C”) que se describen en la tabla 16, nos permiten conocer la aceptación del producto ya que está relacionados con las características de sabor, color y textura que el consumidor detecta al momento de su consumo.



Tabla 16. Características fisicoquímicas de la manzana.

Parámetro	‘Red Delicious’		‘Golden Delicious’	
	Día 0	Día 12	Día 0	Día 12
pH	5.55 ± 0.00	5.84 ± 0.08	5.11 ± 0.38	5.63 ± 0.08
Sólidos solubles (°Brix)	14.33 ± 0.58	16.00 ± 1.15	17.33 ± 0.00	12.67 ± 1.15
Acidez (%Ac. málico)	0.33 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.22 ± 0.00	0.31 ± 0.00
Luminosidad	78.82 ± 1.51	82.09 ± 2.45	76.23 ± 2.20	77.19 ± 2.14
Cromaticidad	21.12 ± 1.74	23.25 ± 3.56	29.02 ± 2.34	29.10 ± 2.38
Tonalidad (°Hue)	76.57 ± 1.42	82.03 ± 3.37	84.63 ± 0.95	88.29 ± 1.48
Vitamina 'C' (mg ácido ascórbico/100g)	34.32 ± 2.92	30.34 ± 4.96	28.10 ± 2.48	21.66 ± 3.30
Firmeza (Kgf/cm²)	4.90 ± 0.82	4.80 ± 0.35	3.70 ± 1.40	3.30 ± 0.41

Los valores muestran la media de tres replicas ± desviación estándar.

El contenido de sólidos solubles totales fue diferente en las dos variedades estudiadas, debido a que durante los 12 días de conservación la manzana ‘Red Delicious’ aumentó 10.47% más con respecto al inicio de estudio y de modo contrario ocurrió con la ‘Golden Delicious’ que disminuyó 26.89% al final del almacenamiento, lo que indicó que los frutos fueron clasificados según la norma NMX-FF-061-1993 con categoría México Extra por presentar sólidos solubles por arriba de lo requerido (11% para manzanas rojas y de 12% para variedades amarillas), a pesar de que la variedad ‘Golden Delicious’ al final del almacenamiento disminuyera su contenido.

El pH que presentaron las dos variedades fue similar en un rango de 5.11-5.84, observándose un aumento a los 12 días de conservación a 4 °C; de modo similar ocurrió con la acidez expresada en % de ácido málico.

Con lo que respecta a los parámetros de color, tanto la luminosidad, cromaticidad y tonalidad presentaron un 15% de aumento en promedio conforme transcurrió el periodo de almacenamiento en ambas variedades de manzana.



El contenido de vitamina “C” se vio afectado a los 12 días, ya que descendió 11.58% en la variedad ‘Red Delicious’ y 22.91% en la manzana ‘Golden Delicious’, esta disminución pudo ser debida a que la vitamina C es fotosensible y se degrada con el tiempo por la presencia de oxígeno, luz y temperatura; a pesar de haber tenido un estricto control de almacenamiento.

La firmeza de ambas manzanas desde el inicio presentó una diferencia debida a la variedad, sin embargo, la manzana ‘Red Delicious’ mantuvo un comportamiento similar desde el inicio hasta los 12 días; mientras que la variedad ‘Golden Delicious’ disminuyó 10.81% con respecto al inicio de estudio lo que pudo deberse a la presencia de algunas enzimas de la pared celular que hicieran que la firmeza descendiera durante el almacenamiento y por causa del proceso de maduración del fruto.

4.2 Selección del antioxidante para el control del pardeamiento enzimático en manzana mínimamente procesada

4.2.1 Actividad enzimática de las manzanas mínimamente procesadas

Las frutas lista para consumir son susceptibles al pardeamiento debido a la oxidación mediada por la acción de las enzimas PPO y PDO lo que representa una limitación a la aceptación visual que indica una necesidad para su control durante el procesamiento, por lo que los orejones de manzana fueron tratados con diferentes concentraciones de antioxidantes para evitar esta reacción no deseada en los frutos (Artes *et al.*, 2012).

Las polifenoloxidasas (PPO) son enzimas del grupo de las oxido reductasas, se encuentran en las plantas y son las responsables de las reacciones de pardeamiento enzimático que ocurren durante el almacenamiento, manipulación y procesamiento de frutas y vegetales (Gasull y Becerra, 2006).

La actividad residual de la enzima PPO en los orejones de la variedad ‘Red Delicious’ tratados con antioxidantes presentaron un promedio de 52.48% menor actividad residual que el control desde el inicio hasta el cuarto día de conservación, las concentraciones de 2% ácido ascórbico (A.A.), 2% ácido cítrico (A.C.) y 1% ácido ascórbico (A.A.) + 1% ácido cítrico (A.C.) registraron una actividad residual de 80.97, 65.87 y 29.77%, respectivamente



en este día, a los ocho días de estudio, la manzana tratada con la concentración de 2% A.C. fue la de mayor actividad residual con 135.19% y la de menor fue el tratamiento de 1% A.A. + 1% A.C. y para el último día de almacenamiento los orejones tratados con 2% A.A. y 2% A.C. aumentaron un promedio de 116.43% su actividad residual, mientras el tratamiento de 1% A.A. + 1% A.C. se mantuvo constante y presentó la menor actividad con respecto a los 8 días (Tabla 17), debido a que la combinación de los ácidos provocó una mayor inactivación de la enzima PPO, ya que tienden a mantener un pH más ácido y el ácido ascórbico actúa como agente quelante de esta enzima que contiene cobre; estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la actividad residual de la enzima PPO del producto tratado y el control.

Tabla 17. % Actividad residual de la enzima Polifenoloxidasa (PPO).

Variedad de manzana	Día/ Tratamiento	Actividad PPO (%)			
		0	4	8	12
'Red Delicious'	Control	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	2% A.A.	29.39 ^a	80.97 ^a	90.39 ^a	148.02 ^a
	2% A.C.	52.27 ^a	65.87 ^a	135.19 ^a	284.83 ^a
	1% A.C. + 1% A.A.	75.80 ^a	29.77 ^a	49.35 ^a	36.01 ^a
'Golden Delicious'	Control	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
	1.5% A.A.	63.73 ^a	61.75 ^a	39.34 ^a	283.66 ^a
	1% A.A. + 0.5% A.C.	144.81 ^a	71.77 ^a	192.81 ^a	354.59 ^a
	1% A.C. + 0.5% A.A.	184.91 ^a	254.64 ^a	21.89 ^a	176.20 ^a

El promedio de cada valor representa la media de tres repeticiones. Las letras iguales al final de cada columna indican que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La actividad residual de PPO en los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ en el primer y cuarto día del almacenamiento no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por los diferentes tratamientos de antioxidantes estudiados tomando en cuenta que se adicionó cloruro de calcio (CaCl_2) en esta variedad (Tabla 17), pareciéndose este comportamiento al trabajo de Chung y Moon (2009) que no encontraron diferencia en actividad de la PPO de manzanas ‘Tsugaru’ al inicio del almacenamiento. Al octavo día de almacenamiento la actividad residual en la mayoría de los orejones tratados fue 30.61% por debajo del control, a excepción de la concentración de 1% A.A + 0.5% A.C. + 1% CaCl_2 que indicó 192.81% en su actividad. Al finalizar el tiempo del almacenamiento todas las manzanas tratadas con



1% CaCl₂ y las diferentes concentraciones de antioxidantes (1.5% A.A., 1% A.A. + 0.5% A.C. y 1% A.C. + 0.5% A.A.) aumentaron y registraron actividades de 283.63, 354.60 y 176.20%, respectivamente.

La peroxidasa (PDO) es una enzima que cataliza la oxidación de ciertos compuestos dadores de hidrógeno, como fenoles (guayacol, pirogalol) y aminas aromáticas (o-fenilendiamina) por medio de peróxidos (H₂O₂). El sustrato oxidable más usado es el guayacol, que es oxidado a un complejo coloreado de tetraguayacol en presencia de peroxidasa (SISIB, 2012).

Con respecto a la actividad de PDO, al inicio del almacenamiento los orejones de la manzana ‘Red Delicious’ mantuvieron constante esta actividad residual (Tabla 18), al cuarto día de almacenamiento y a los ocho días la manzana tratada con la concentración de 2% A.C. aumentó 67.26% su actividad residual con respecto al inicio y el resto se mantuvo constante, al término del periodo de conservación el producto tratado con 2% A.A. y 2% A.C. aumentó su actividad residual hasta 231.79 y 479.23%, respectivamente. Estadísticamente en los primeros 8 días de almacenamiento no se registró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la actividad residual de PDO por los diferentes tratamientos, pero si al final de la conservación, siendo esta diferencia similar al estudio de Andrade-Cuvi *et al.* (2010) en el que encontraron diferencia significativa en la actividad de PDO de carambola mínimamente procesada ocasionada por la aplicación de irradiación UV-C.

Tabla 18. % Actividad residual de la enzima Peroxidasa (PDO).

Variedad de manzana	Día/ Tratamiento	Actividad PDO (%)			
		0	4	8	12
'Red Delicious'	Control	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^b
	2% A.A.	17.93 ^a	41.63 ^a	29.01 ^a	231.78 ^{ab}
	2% A.C.	35.22 ^a	51.36 ^a	107.59 ^a	479.23 ^a
	1% A.C. + 1% A.A.	30.80 ^a	27.48 ^a	26.62 ^a	39.63 ^b
'Golden Delicious'	Control	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^{ab}
	1.5% A.A.	26.49 ^a	37.00 ^a	57.66 ^a	352.51 ^{bc}
	1% A.A. + 0.5% A.C.	107.03 ^a	76.13 ^a	22.41 ^a	249.73 ^c
	1% A.C. + 0.5% A.A.	39.31 ^a	210.76 ^b	29.48 ^a	159.18 ^c

El promedio de cada valor representa la media de tres repeticiones. Las letras iguales al final de cada columna indican que no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Para los orejones de la variedad ‘Golden Delicious’ tratados con cloruro de calcio y las concentraciones de 1.5% A.A. y 1% A.C. + 0.5% A.A. al inicio del estudio mostraron 26.49 y 39.31% de actividad residual de la enzima PDO (Tabla 18), respectivamente sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$), debido a que el ácido ascórbico realiza una reacción reversible en presencia de este agente reductor, dando lugar a o-difenoles incoloros; al cuarto día de la conservación la manzana tratada con 1% A.C. + 0.5% A.A. + 1% CaCl_2 aumentó su actividad residual hasta 210.77% en comparación con el primer día mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$), para después disminuir a los 8 días de almacenamiento y no mostrar diferencia en la actividad con los demás tratamientos y al finalizar este periodo, todos los orejones tratados exhibieron valores de actividad residual mayores a los del control; encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este día.

Los resultados anteriores fueron similares a los reportados por Montiel (2009) en piña mínimamente procesada en estado 100% verde, sometidas a diferentes concentraciones de antioxidantes y distintos tiempos de irradiación UV-C, donde la actividad residual de la PPO descendió hasta el décimo día de almacenamiento para después aumentar al final de la conservación (15 días).

De manera general se puede decir, que los diferentes agentes antioxidantes funcionaron para inhibir el pardeamiento de la manzana ‘Golden Delicious’ debido a que disminuyó la actividad de las principales enzimas de oscurecimiento (PPO y PDO), no así el pardeamiento de la manzana ‘Red Delicious’ que presentó mayor actividad con respecto al control.

4.2.2 Parámetros de calidad

4.2.2.1 Firmeza

La firmeza de la fruta, es uno de los parámetros objetivos que más información nos proporciona sobre el estado de la maduración, está va disminuyendo conforme avanza este proceso (PCE, 2012).



La firmeza de la manzana ‘Red Delicious’ al inicio del almacenamiento fue estadísticamente diferente debido a que probablemente la adición de los antioxidantes provocó en las enzimas relacionadas con el ablandamiento (celulasas, poligalacturonasa y pectinmetilsterasas) una inhibición en ellas por el cambio de pH, ya que se percibió 25.91% mayor firmeza que en los orejones control y en la manzana entera fresca con respecto a los tratados, para el cuarto día de conservación la mayoría de los orejones descendieron en su firmeza, a excepción de los tratados a la concentración de 2% A.A. que se mantuvieron constante desde el inicio y, a los 8 y 12 días de almacenamiento la firmeza de todos los orejones continuo disminuyendo posiblemente a la acción de algunas enzimas de la pared celular que hicieron que la firmeza descendiera, sin embargo en los orejones tratados con 1% A.A. + 1% A.C. se observó la mayor firmeza, siendo 21.27% más resistentes a la penetración que los tratamiento de 2% A.C., el control y el producto en fresco (Figura 24).

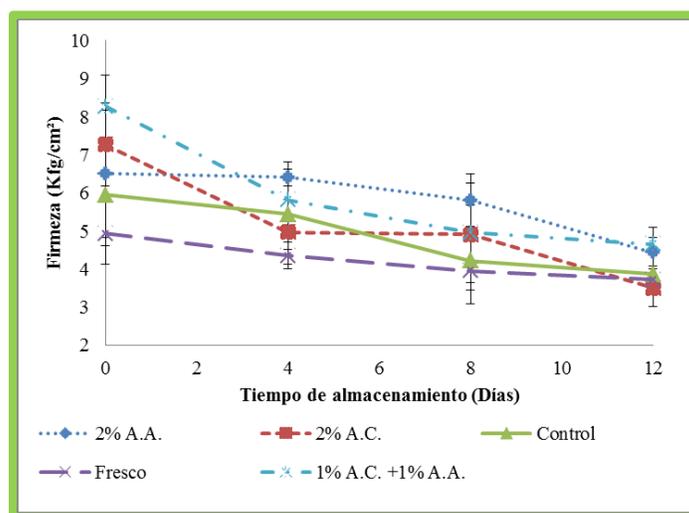


Figura 24. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la firmeza de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

Los resultados anteriores fueron similares a los de Quevedo-Preciado *et al.* (2005) que trabajaron con nopal mínimamente procesado y encontraron que la firmeza disminuyó durante el almacenamiento a 5 y 10 °C, así como la del nopal tratado con ácido ascórbico que presentó mayor firmeza que la del tratado con ácido ascórbico y cítrico.



Los orejones de la variedad ‘Golden Delicious’ presentaron una firmeza menor del 35.15% con respecto a los de la manzana ‘Red Delicious’ (Figura 25), aun considerando la adición del 1% CaCl_2 en esta variedad para evitar un mayor ablandamiento de los orejones.

Al inicio de la conservación, el producto fresco y la concentración de 1.5% A.A. fueron los orejones con mayor firmeza, por lo que provocaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la firmeza con respecto a los demás tratamientos, al día cuatro la firmeza de la manzana tratada con la combinación de 1% A.A. + 0.5% A.C. + 1% CaCl_2 disminuyó 13.95%, por lo que existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en ésta con respecto a los demás tratamientos, al finalizar los 12 días del estudio el producto control fue el que menor firmeza presentó con una disminución del 56.41% con respecto al inicio, las concentraciones de 1.5% A.A., 1% A.A. + 0.5% A.C. y 1% A.C. + 0.5% A.A. con la adición del 1% CaCl_2 también disminuyeron un promedio de 23.08%, por lo que la firmeza de las manzanas presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los orejones tratados con respecto al control para este día.

La disminución de la firmeza en esta variedad de igual forma que con los orejones de la variedad ‘Red Delicious’ se debió a la presencia de algunas enzimas relacionadas con la pared celular, sin embargo en esta la adición de los diferentes antioxidantes no ocasionó una diferencia significativa en este parámetro, de lo que se puede decir que cada variedad contiene una estructura, disponibilidad y cantidad de enzimas que provocó un efecto diferente con los tratamientos.

Los resultados de la variedad ‘Golden Delicious’ concuerdan con el trabajo de Manzocco *et al.* (2011) los cuales trabajaron con manzana fresca cortada tratada con UV-C, donde reportaron que la firmeza no fue significativamente ($p \geq 0.05$) afectada por el almacenamiento de hasta 10 días, pero sí por la aplicación de luz UV-C durante el procesamiento, pero no con el estudio de Qi *et al.* (2010) que trabajaron con manzana fresca cortada ‘Fuji’ observando que la firmeza del control no disminuyó significativamente durante los 8 días de almacenamiento con respecto a los demás tratamientos y que las manzanas con el tratamiento de 0.2% A.A. + 0.5% CaCl_2 + 1% de



quitosano tuvieron la mayor firmeza, ya que el cloruro de calcio es un endurecedor y ayudó a mantener la firmeza de las rodajas de manzana.

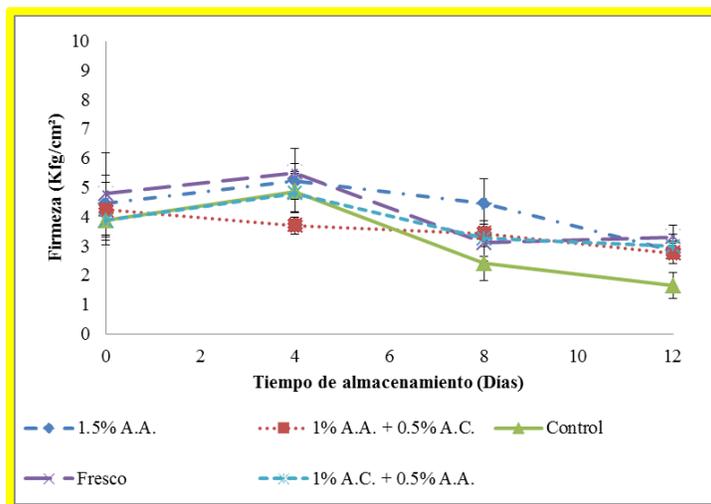


Figura 25. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la firmeza de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

4.2.2.2 Acidez titulable

La acidez titulable está relacionada con los ácidos orgánicos presentes de forma libre en la mayoría de las frutas; los orejones de la variedad ‘Red Delicious’ tratados con antioxidantes presentaron para el primer día de almacenamiento un mayor contenido de acidez con respecto a los orejones control y a la manzana fresca debido a que se vio reflejada la adición de los diferentes ácidos utilizados como método de control en el pardeamiento enzimático (Figura 26); también se observó que la acidez de los orejones tratados con la concentración de 2% A.C. fue la que presentó 45.10% mayor acidez en comparación con la acidez de los orejones control, por lo que esta concentración provocó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los demás tratamientos; al cuarto día de conservación el control aumentó 11.94% su acidez y los orejones tratados con 2% A.C. y 1% A.C. + 1% A.A. disminuyeron su acidez en un promedio de 16.41%, en el octavo día los orejones control obtuvieron el menor % de acidez y en el último día del almacenamiento los orejones tratados con 2% A.C. descendieron 18.51% su acidez posiblemente a que los ácidos orgánicos presentes en la manzana participan en el proceso de respiración como sustratos y su contenido se ve afectado por este proceso fisiológico.



Estadísticamente las manzanas de la ‘Red Delicious’ con el tratamiento a la concentración de 2% A.C y el producto fresco registraron entre ellos una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en su contenido de ácido málico, por lo que estos resultados presentaron diferencia con el estudio de Leyva *et al.* (2011) donde el porcentaje de acidez titulable en cubos de papaya no presentó diferencia entre los tratamientos de 1 y 3% CaCl_2 y lactato de calcio con el tiempo de almacenamiento (8 días).

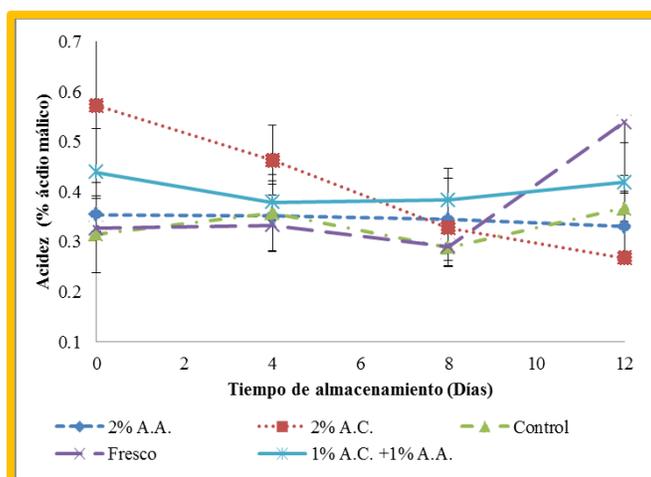


Figura 26. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la acidez de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

La acidez de los orejones de manzana ‘Golden Delicious’, presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el producto fresco y los demás tratamientos al primer día de estudio (Figura 27), para el cuarto día la acidez del producto fresco aumentó 140.90% y en el resto de los tratamientos disminuyó 27.75% con respecto al inicio, a los ocho días de estudio el producto fresco indicó tener el mismo porcentaje de ácido málico que el primer día del almacenamiento y al finalizar el estudio la acidez de la manzana tratada con 1% A.C. + 0.5% A.A. disminuyó 4.91%, mientras que el resto de las manzanas aumentaron 19.88%, sin registrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la acidez por los diferentes tratamientos.

Los resultados de la variedad ‘Golden Delicious’ fueron similares al estudio de Wu *et al.* (2011) que observaron que los valores iniciales de la acidez valorable (contenido en ácido málico) en trozos de manzana, no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y las muestras tratadas. Lo que nos indicó que los diferentes antioxidantes aplicados, no



afectaron significativamente la acidez de los orejones de manzanas tratados con respecto a los orejones control, en la mayoría de los días estudiados, no así en el día 4 con la acidez del producto fresco.

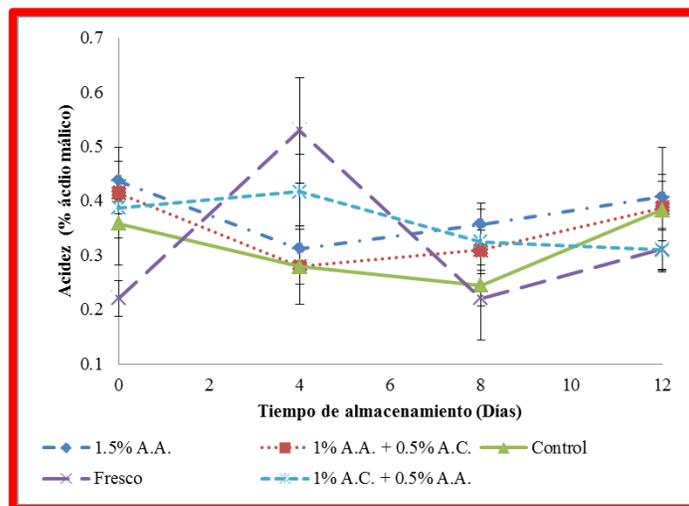


Figura 27. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en la acidez de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

4.2.2.3 Color

- **Índice de blancura (IB)**

La blancura es el atributo por el que el color de un producto se considera que se acerca al blanco preferencial, al primer día de conservación el índice de blancura (IB) de los orejones control de la manzana ‘Red Delicious’ presentaron 31.65% mayor valor que los orejones frescos, mientras que los tratados con antioxidantes mostraron el mismo valor (Figura 28), debido a que se logró retardar el pardeamiento causado por las enzimas PPO y PDO mediante la inmersión de los orejones en ácido cítrico y ácido ascórbico; al cuarto día de estudio el índice de blancura aumentó un promedio de 16.77% para todos los tratamientos, a los 8 días la manzana tratada con 2% A.A. y 2% A.C. se mantuvieron constante y los frutos frescos mostraron 27.90% menor IB que los orejones control y que los tratados; al finalizar el almacenamiento los orejones tratados con 2% A.A., 2% A.C. y 1% A.A. + 1% A.C. aumentaron su IB 7.30%, ya que con la acidificación se redujo el pH y por lo tanto las enzimas no cuentan con el pH óptimo para llevar a cabo su actividad, mientras que el



control se mantuvo constante con respecto al octavo día. A diferencia de Aguayo-Giménez (2003) donde encontró que el IB de melón amarillo envasado en atmósfera controlada dependió del tiempo de conservación y que disminuyó a lo largo del mismo, este fenómeno se relaciona con un deterioro de la pulpa y una tendencia a desarrollar translucidez debido al proceso de madurez o senescencia.

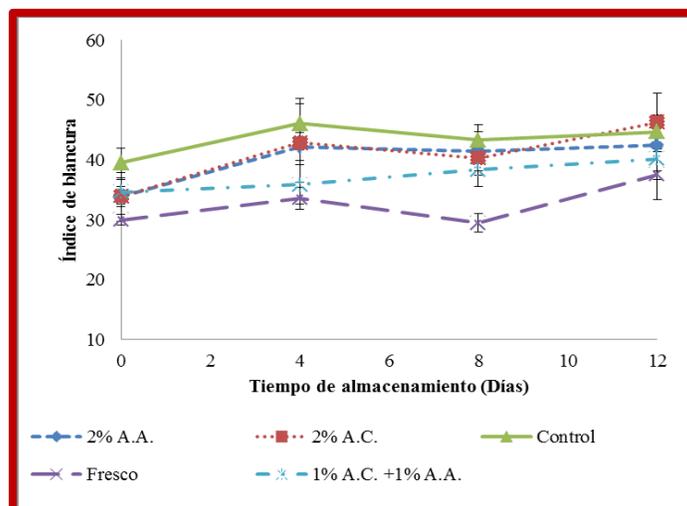


Figura 28. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el índice de blancura de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

El índice de blancura de los orejones control de manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 29), fue mayor durante todo el periodo de almacenamiento por lo que presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro con respecto a los demás tratamientos al inicio del almacenamiento el producto fresco indicó 12.57% menor IB que los orejones tratados con antioxidantes y cloruro de calcio, debido al poder quelante de los ácidos orgánicos utilizados que lograron inactivar la actividad de las enzimas causantes del pardeamiento enzimático. Al cuarto día, el producto fresco aumentó 18.83% este parámetro, mientras que los orejones tratados aumentaron un promedio de 4.25%, posteriormente a los 8 y 12 días se mantuvieron constantes, siendo la concentración de 1% A.C. + 0.5% A.A. + 1% CaCl_2 la que provocó el mayor índice de blancura al finalizar el periodo de conservación de las manzanas. De la misma manera que Aguayo-Giménez (2003) que encontró en melón amarillo procesado en fresco un incremento en el IB debido a la inmersión del producto en ácido cítrico, el tiempo y el envasado en atmósfera modificada en el presente estudio los



orejones tratados con diferentes antioxidantes indicaron un aumento en este parámetro debido a que estos ayudan a la inhibición y retardan la actividad de las enzimas que ocasionan el oscurecimiento de los tejidos del fruto.

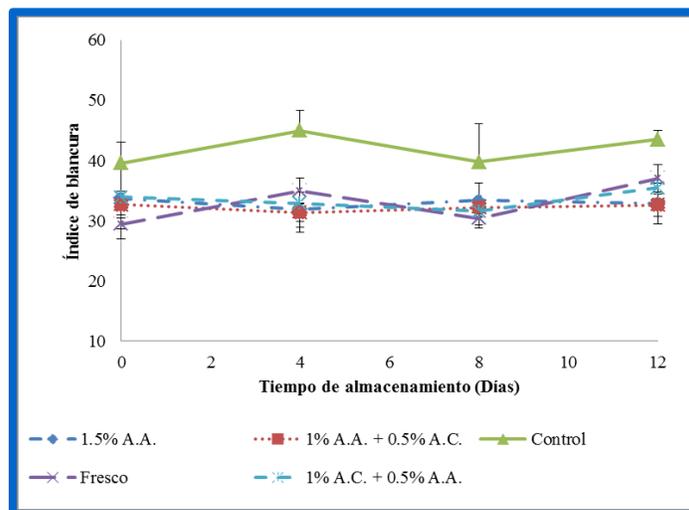


Figura 29. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el índice de blancura de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

- **Apariencia visual de los orejones de manzana**

Con este seguimiento se apreció visualmente el aspecto de los orejones tratados con los diferentes antioxidantes, para la manzana ‘Red Delicious’ el pardeamiento fue visible en la mayoría de los tratamientos después del cuarto día de almacenamiento, siendo el control el que indicó el menor pardeamiento a los 12 días; sin embargo, a este mismo tiempo se observó una leve deshidratación (Tabla 19).

En la variedad ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada tratada con antioxidantes se apreció un ligero pardeamiento hasta el día 8 del almacenamiento, siendo la concentración de 1.5% A.A. + 1% CaCl₂ la de mejor aspecto, a diferencia de los orejones control, que mostraron un deterioro constante durante los 12 días de conservación. La apariencia visual de los orejones de la variedad ‘Golden Delicious’ fue mucho mejor que la de la ‘Red Delicious’ mínimamente procesada (Tabla 20).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Tabla 19. Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada sometida a diferentes antioxidantes almacenada a 4 °C por 12 días.

Día	Control	2% A.A.	2% A.C.	1% A.A. + 1% A.C.
0				
4				
8				
12				

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Tabla 20. Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada sometida a diferentes antioxidantes almacenada a 4 °C por 12 días.

Día	Control	1.5% A.A.	1% A.A. + 0.5% A.C.	1% A.C. + 0.5% A.A.
0				
4				
8				
12				



4.2.3 Parámetro nutricional

• Vitamina “C”

La vitamina “C” es un componente fundamental para muchos procesos de nuestro organismo y un potente antioxidante. En las manzanas ‘Red Delicious’ al inicio de la conservación, el producto fresco obtuvo el menor contenido de vitamina “C”, mientras que los orejones control y los tratados con 2% A.A. mostraron un promedio de 37.62 mg de A.A./100g de PF, el producto con las concentraciones 2% A.C. y 1% A.A. + 1% A.C. presentaron un promedio de 41.61 mg de ácido ascórbico/100g de PF, a los 4 días del almacenamiento, todos los frutos con los diferentes tratamientos antioxidantes disminuyeron un 10.82% su contenido de vitamina “C” (Figura 30); considerando que el producto desarrollado en este estudio, mostró un alto valor nutricional, debido a que la utilización de los antioxidantes para evitar el pardeamiento enzimático ayudaron a obtener altos niveles de mg de ácido ascórbico.

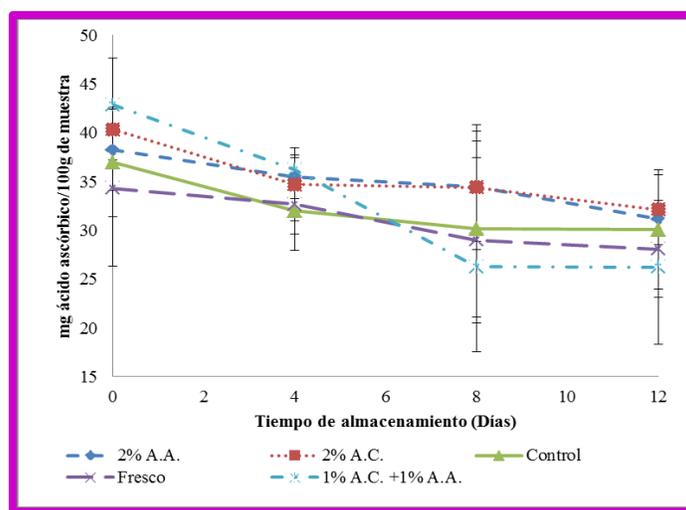


Figura 30. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el contenido de vitamina “C” de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.

En el día ocho los orejones tratados con 2% A.C. mantuvieron constante su contenido de ácido ascórbico con respecto al cuarto día de conservación, mientras que los frutos con el resto de los tratamientos disminuyeron 11.83%. Al final del estudio, el producto tratado con 2% A.A. y 2% A.C continuaron disminuyendo y por otra parte los orejones control, el producto fresco y los frutos tratados con la combinación de antioxidantes mantuvieron



constante su contenido de ácido ascórbico con respecto al octavo día del almacenamiento. El contenido de vitamina “C” no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamientos durante todo el estudio. No coincidiendo los resultados del presente trabajo con los de Supapvanich *et al.* (2011) quienes encontraron que el ácido ascórbico permanecía constante durante el almacenamiento de manzana fresca cortada almacenada a 4 °C, mientras que en el presente trabajo el contenido de vitamina “C” disminuyó tanto en los orejones control y los que presentaron inmersión en ácido ascórbico, conforme transcurrió el periodo de almacenamiento, debido a la sensibilidad a la luz, así como los cambios de temperatura y a la concentración de oxígeno.

En los orejones de la variedad ‘Golden Delicious’ (Figura 31), el control presentó el menor contenido de ácido ascórbico y los tratados a la concentración de 1% A.C. + 0.5% A.A.+ 1% CaCl₂ mostraron el mayor contenido al inicio del almacenamiento, el producto tratado con 1.5% A.A. + 1% CaCl₂, el control y en fresco mantuvieron constante el contenido de ácido ascórbico para el cuarto día de estudio, mientras que el tratamiento de 1% A.A. + 0.5% A.C. + 1% CaCl₂ disminuyó un 10.10%. En el octavo día de conservación el producto fresco conservó su contenido de ácido ascórbico con respecto al día 4 y el resto de los tratamientos disminuyeron un promedio de 14.37%.

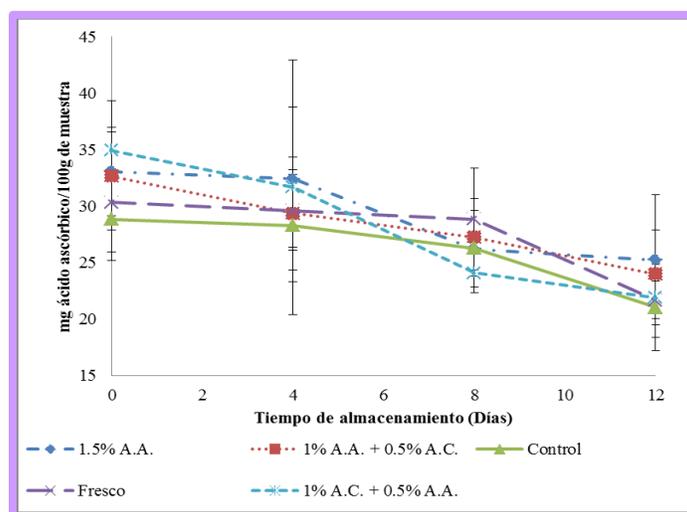


Figura 31. Efecto de diferentes tratamientos antioxidantes en el contenido de vitamina “C” de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C durante 12 días. A.C.: ácido cítrico y A.A.: ácido ascórbico. Las barras representan \pm desviación estándar.



A los 12 días, los orejones tratados con 1.5% A.A. + 1% CaCl₂ continuaron con el mismo contenido de ácido ascórbico con respecto al octavo día, mientras que los productos tratados a las concentraciones de 1% A.A. + 0.5% A.C. + 1% CaCl₂ y 1% A.C. + 0.5% A.A. + 1% CaCl₂ disminuyeron 7.85% al finalizar la conservación. Estadísticamente los tratamientos de los orejones no provocaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en su contenido de vitamina “C”. Encontrando similitud con el estudio de Aguayo *et al.* (2010) donde demostraron que el contenido inicial de ácido ascórbico de rodajas de manzanas ‘Breaburn’ no tratadas fue de 0.19 g/kg y después del tratamiento, el contenido de ácido ascórbico fue de 2.5, 5, 13.3 y 20 veces mayor para 2, 6, 12 y 20% de ascorbato de calcio respectivamente, lo que indicó que al adicionar ascorbato a las manzanas aumentó el contenido de vitamina “C”, de la misma manera ocurrió en los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ con la adición de cloruro de calcio al 1% que presentaron 13.40% mayor contenido que el producto fresco y en los orejones control.

4.2.4 Evaluación sensorial

En la evaluación sensorial de los orejones ‘Red Delicious’, el control presentó un pardeamiento entre 20 hasta 30% desde el inicio hasta el final del almacenamiento, mientras que en los orejones tratados el pardeamiento fue aumentado conforme transcurrió la conservación (Tabla 21). La evaluación sensorial del día 12 no se llevó a cabo debido a que se presentó alteración microbiana en el producto.

Con lo que respecta a la deshidratación, los orejones tratados con 2% A.C. mostraron la mayor deshidratación al final del periodo de conservación.

El olor durante todo el tiempo de estudio fue bueno en todos los tratamientos obteniendo calificaciones de 4, donde no se obtuvieron olores extraños. Lo mismo ocurrió con el sabor durante todo el periodo de conservación en la mayoría de los tratamientos, a excepción de la concentración de 2% A.C. que fue aceptable al final del almacenamiento con una calificación de 3.

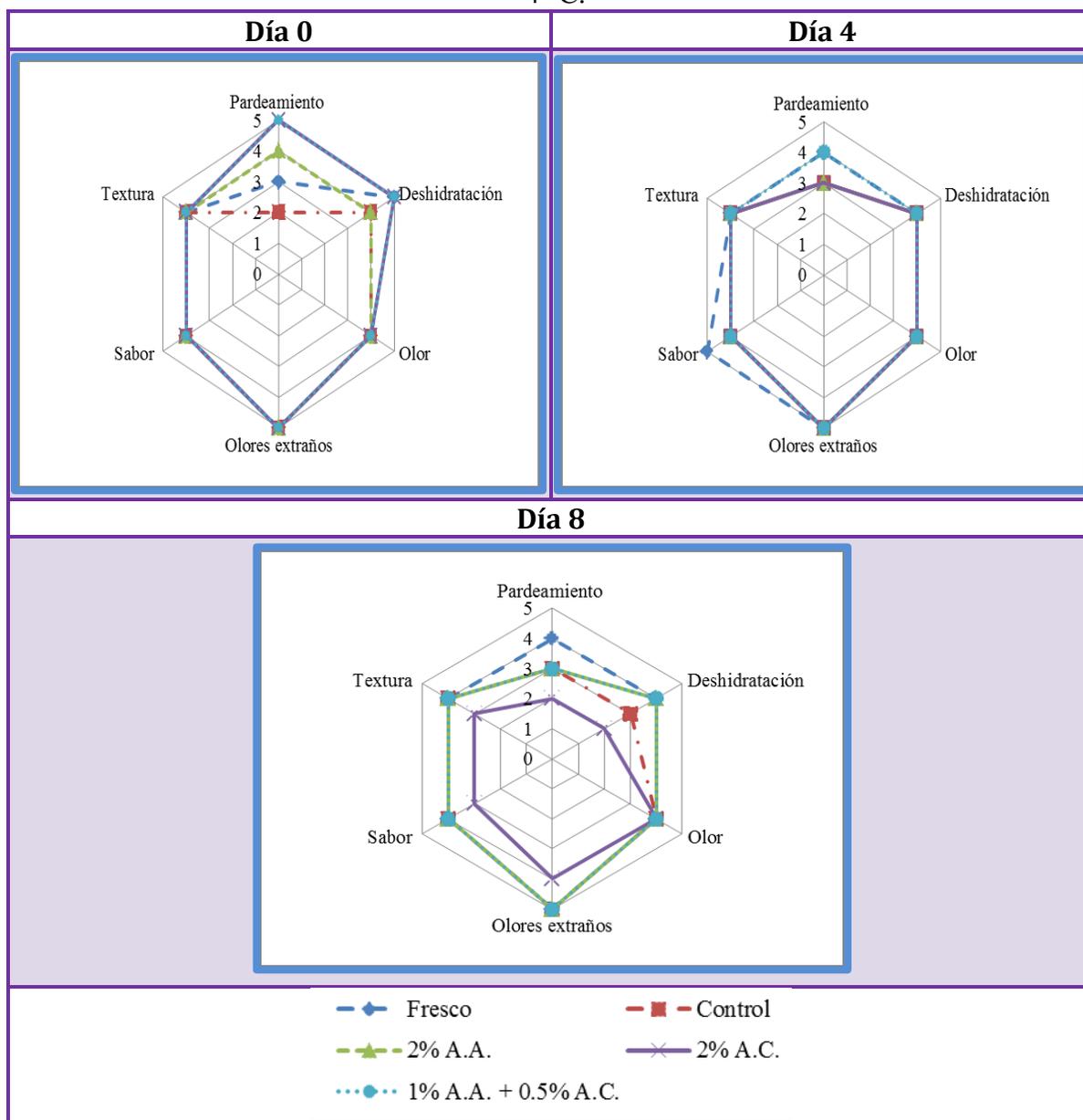
La firmeza de los orejones ‘Red Delicious’ fue firme durante casi todo el proyecto en la mayoría de los tratamientos con calificaciones de 4; sin embargo la concentración de 2% de

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



A.C. a los 8 días fue aceptable con calificaciones de 3. La evaluación sensorial del presente trabajo fue similar al estudio de Aguayo *et al.* (2010) que reportaron en los parámetros sensoriales, tales como la apariencia, textura, aroma, sabor y mal sabor en rodajas de manzana, en general obtuvieron un puntaje de aceptabilidad para 6, 12 y 20% de ascorbato de calcio almacenados en atmósfera modificada y después de 28 días había poca diferencia entre estos tres tratamientos.

Tabla 21. Evaluación sensorial de los orejones de manzana ‘Red Delicious’ almacenados a 4 °C.

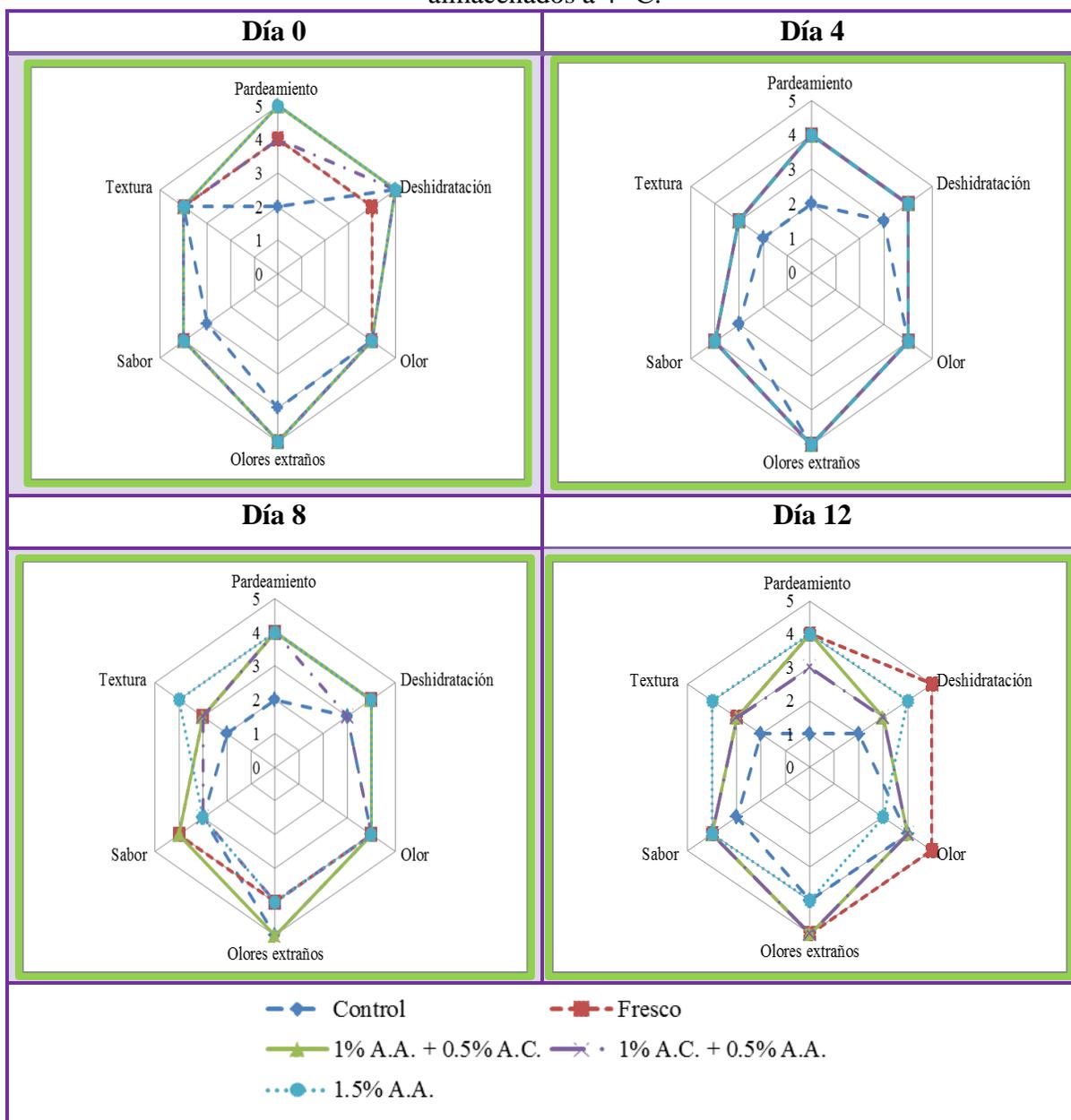


RESULTADOS Y DISCUSIÓN



La aceptación de los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ con respecto a los diferentes tratamientos para el control del pardeamiento fue evaluado encontrándose que los orejones tratados con cloruro de calcio y las concentraciones de antioxidantes (1.5% A.A. y de 1% A.A. + 0.5% A.C.) obtuvieron calificaciones de 5, lo que indicó que no tenían pardeamiento al inicio del estudio, mientras que el control mostró entre 30 y 50% de pardeamiento desde el día 0 hasta más de 50% a los 12 días (Tabla 22).

Tabla 22. Evaluación sensorial de los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ almacenados a 4 °C.





Con respecto a la deshidratación el producto fresco registró una leve deshidratación al día 0, no así en el demás tiempo en el que el fresco no presentó deshidratación comparados con los demás tratamientos que disminuyeron ligeramente hasta obtener calificaciones de 4 (leve deshidratación).

El olor recibió calificaciones de 4 en los primeros días, lo que indicó que fue bueno, pero no a los 12 días que disminuyó en los orejones tratados obteniendo calificaciones de 3 (aceptable), no así en el producto fresco que continuó con calificación de 4 (bueno), por otro lado, el control presentó una ligera percepción de olores extraños.

El sabor en todo el proyecto fue bueno ya que los orejones de producto fresco y tratados con antioxidantes registraron calificaciones de 4, a excepción del control que presentó calificaciones de 3 (aceptable).

Con respecto a la textura al día 0 todos los orejones presentaron una textura firme y posteriormente con el tiempo fueron disminuyendo, los orejones control fueron los que menor firmeza presentaron a los 12 días de almacenamiento llegando a ser poco firme con una calificación de 1 (muy blanda).

4.3 Determinación de la vida de anaquel de manzana mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas

4.3.1 Composición atmosférica

La reducción de los niveles de O_2 y el enriquecimiento en CO_2 puede reducir la intensidad de la respiración y proporcionar al producto una barrera a la humedad que permita mantener humedades relativas altas dentro del envase evitando la deshidratación superficial de las frutas (Martín-Belloso y Oms-Oliu, 2005).

El empaçado al vacío consigue eliminar los gases que rodean el ambiente en el cual se está comercializando fruta y que la pueden deteriorar, al eliminar el oxígeno del empaque se retarda la oxidación y el crecimiento microbológico; con el sistema de empaçado al vacío se incrementa la vida útil del producto tres a cuatro veces más que con los empaques



tradicionales, conservando el sabor, el color, la frescura, el valor nutricional y retiene las vitaminas y la clorofila (Areiza, 1999).

En las figuras 32 y 33 se muestran los cambios en los porcentajes de CO₂ y O₂ en el interior de diferentes envases utilizados en la conservación de manzanas mínimamente procesadas para crear diferentes atmósferas modificadas: bolsa de polietileno (PE), bandeja de politereftalato de etilenglicol (PET) y bolsa de policloruro de vinilideno (PVDC) con permeabilidades al oxígeno de 8500, 130 y 10 cm³/m²·día·atm, respectivamente, es decir alta, media y baja permeabilidad para este gas.

En la manzana ‘Red Delicious’ los orejones envasados en bolsas PVDC presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la concentración de CO₂ con respecto al producto en bandeja PET y bolsa PE que mostraron la mínima concentración de este gas a diferencia del envasado en bolsa PVDC que aumentó gradualmente 29.11% su concentración de CO₂ hasta el final de la conservación (Figura 32A). Por otro lado, los orejones en bandeja de PET y bolsa PE no variaron su comportamiento de O₂ durante los 12 días, aunque el producto en bolsa PE siempre indicó menor concentración de O₂ que el producto en bandeja PET, presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la concentración de O₂ entre los tres envases (Figura 32B).

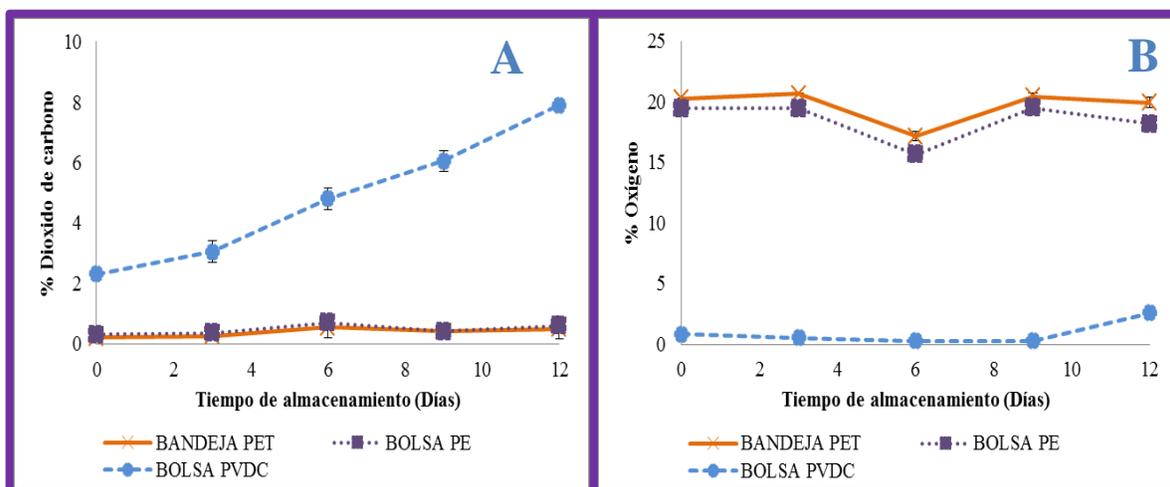


Figura 32. Cambios en el porcentaje de CO₂ y O₂ en el interior de diferentes envases utilizados para la conservación de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) %Dióxido de carbono. B) %Oxígeno. Las barras representan \pm desviación estándar.



La composición de gases de la variedad ‘Golden Delicious’ mostró diferencia significativa en la concentración de oxígeno por los tres envases utilizados, debido a que el producto en bolsas PVDC presentó un aumento de CO₂ de 33.33% y una disminución de O₂ de 22.22% desde el inicio hasta el final del estudio, debido a su baja permeabilidad al O₂, además de que en la bandeja PET y bolsa PE durante todo el periodo de conservación se observó un continuo % de CO₂ y un 19.29% menor de O₂ en bolsa PE que en la bandeja PET (Figura 33).

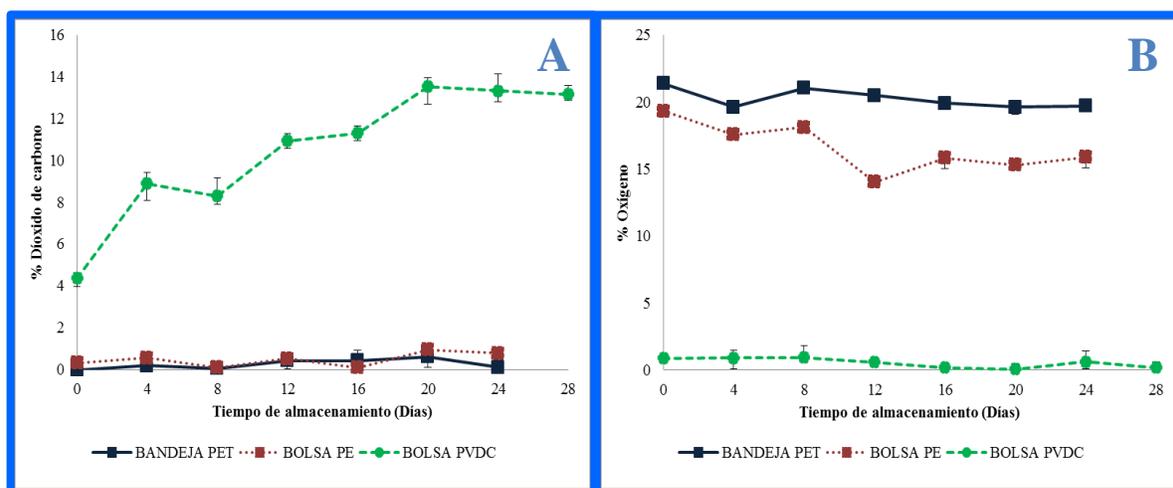


Figura 33. Cambios en el porcentaje de CO₂ y O₂ en el interior de diferentes envases utilizados para la conservación de manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) % Dióxido de carbono. B) % Oxígeno. Las barras representan ± desviación estándar.

Las dos variedades de manzana mostraron un comportamiento similar en los envases de PE y PET, donde no tuvieron un aumento de la concentración de CO₂ y por el contrario la bolsa PVDC aumentó 31.22% este parámetro, debido al intercambio de gases de la superficie del envase, ya que la permeabilidad al O₂ de la bolsa de PVDC es mucho menor que los otros dos envases y se considera el consumo del oxígeno en la atmósfera interna emitiendo CO₂.

Los resultados del presente trabajo son similares a los resultados que presentaron Aguayo *et al.* (2010) donde rodajas de manzana ‘Roja Mariri’ envasadas en bolsas de atmósfera modificada (vacío), la concentración de O₂ de 20,8 kPa en el día 0 se redujo aproximadamente hasta 3-5 kPa después de 7 días, y luego a 1 kPa para el día 28 y el CO₂ aumentó de la temperatura ambiente hasta 16 a 20 kPa después de 7 días y encontrando



entre 30 y 35 kPa después del día 28. De igual forma González –Aguilar *et al.* (2004) demostraron que en pimiento mínimamente procesado los niveles de O₂ disminuyeron de forma continua en los envases de atmósfera modificada hasta que las concentraciones llegaron hasta 1 ml/100 ml, mientras que los niveles de CO₂ aumentaron.

4.3.2 Actividad enzimática

4.3.2.1 Actividad específica de la enzima polifenoloxidasa (PPO)

La actividad enzimática de la manzana ‘Red Delicious’ (Figura 34A), mantuvo un comportamiento constante durante los 12 días de almacenamiento en los tres diferentes envases, sin embargo en el último día la actividad específica de la enzima PPO aumentó en los orejones envasados en bolsa de PE debido a que este tiene una permeabilidad alta al O₂ y la presencia del oxígeno disponible del envase explica el aumento en el pardeamiento del fruto, estadísticamente sólo se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la actividad específica en el producto en bolsa PE en el día 12.

En la manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 34B) la actividad residual en los orejones en bolsa de PE aumentó desde del inicio hasta el día 8, para después disminuir hasta valores similares a los del día 1; el producto en bandeja PET ascendió constantemente durante los 12 días del almacenamiento y los orejones en bolsa de PVDC fueron los que mayor actividad obtuvieron al finalizar el periodo de almacenamiento, este material de envase provocó diferencia en la mayoría de los días con respecto a los otros dos envases.

La manzana ‘Red Delicious’ reportó menor actividad específica de la enzima PPO que la ‘Golden Delicious’, donde esta variedad presentó un comportamiento muy variado durante todo su periodo de conservación; debido a que los orejones de manzana fueron sometidos a diferentes concentraciones de antioxidantes y con la ayuda de la atmósfera modificada, se logró una mayor inhibición de la enzima en la variedad ‘Red Delicious’.

La actividad específica de la enzima PPO en la manzana ‘Golden Delicious’ no coincidió con el estudio de Luo *et al.* (2011) que demostró en manzana tratada con cloruro de calcio redujo significativamente la actividad de la enzima PPO, considerando en este estudio que



el ascorbato de calcio es el que más inhibe la actividad de PPO y el ácido cítrico no inhibe la actividad de la PPO.

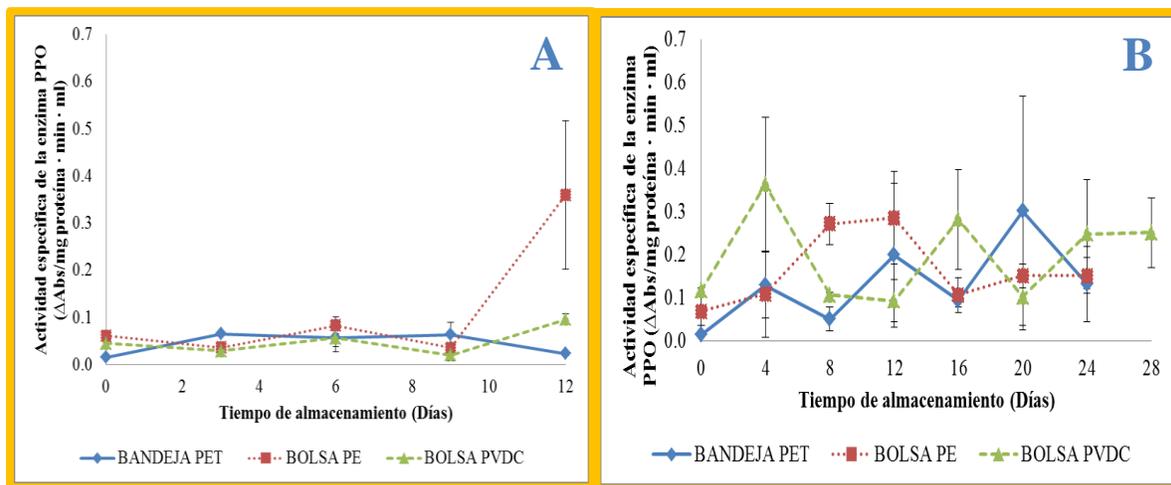


Figura 34. Efecto de la conservación en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno en la actividad específica de la enzima PPO en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

4.3.2.2 Actividad específica de la enzima peroxidasa (PDO)

En los orejones de la variedad ‘Red Delicious’, no se presentó mucha variación de la enzima PDO durante el almacenamiento, siendo el producto en bolsa de PE el que indicó 6.52% más actividad en el día 12 que la manzana en bandeja PET, debido a que la permeabilidad al O₂ de la bolsa de PE es mucho mayor y la enzima peroxidasa requiere de oxígeno para que reaccione; estadísticamente no existió diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el producto de los tres envases utilizados en el estudio (Figura 35A).

La manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 35B), registró una actividad residual muy variada en los tres envases utilizados, al día 12 el producto en bandeja PET la actividad aumentó 17.78% en comparación con las manzanas en bolsa PVDC, para después descender y mantenerse constante al final del almacenamiento, ocasionado este comportamiento por la permeabilidad al oxígeno que presentan los dos envases; los orejones en bolsa de PE ascendieron 10.36% su actividad específica de PDO a los 16 días desde el inicio y el producto en bolsa PVDC aumentó constantemente desde el inicio hasta el final 6%, siendo esto debido a que la restricción del oxígeno ayudó a detener la actividad específica de la



enzima peroxidasa; en los días 12 y 16 existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el producto en bandeja PET y bolsa de PE, respectivamente.

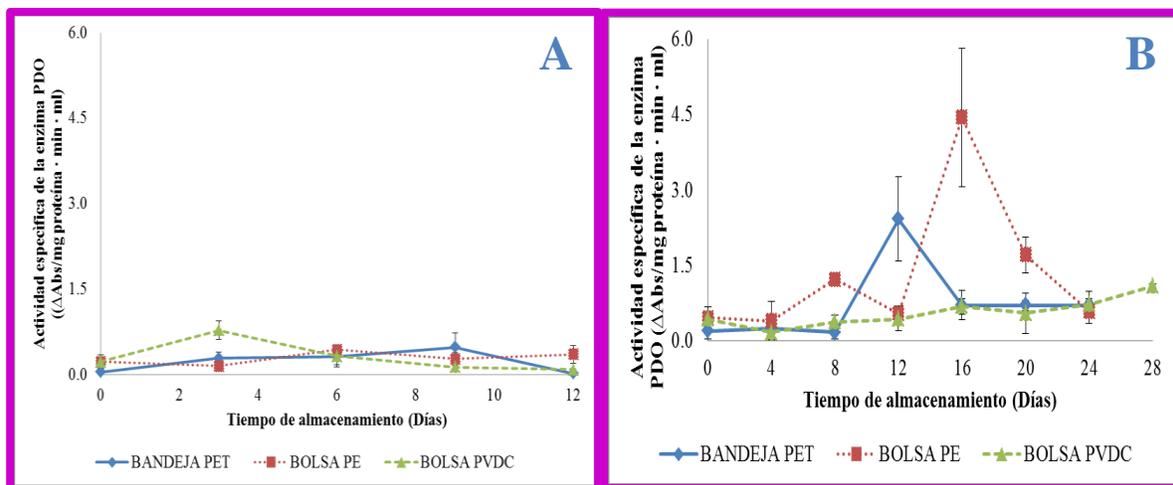


Figura 35. Efecto de la conservación en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno en la actividad específica PDO en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

La actividad específica de la manzana ‘Red Delicious’ fue mucho menor que la presentada por la variedad ‘Golden Delicious’, donde el producto conservado en bandeja PET y bolsa PE reportaron mayor actividad de PDO; debido a la presencia de oxígeno en el espacio de cabeza dentro del envase, ocasionada por la permeabilidad de los mismos.

De modo similar Jang *et al.* (2010) reportaron la actividad específica de la enzima PDO en manzanas recién cortadas, donde se distinguían claramente las diferencias entre tratamientos utilizados es el estudio; también la actividad de la enzima PDO de las muestras tratadas mostró aumentar constantemente con el tiempo.

4.3.3 Parámetros de calidad

4.3.3.1 Sólidos solubles totales (SST)

En la figura 36A se muestran los cambios en los SST en la manzana ‘Red Delicious’ envasada en bandeja de politereftalato de etilenglicol (PET), bolsa de polietileno (PE) y bolsa de policloruro de vinilideno (PVDC). Al inicio del estudio mostraron ser 11.78% mayores los SST en manzanas conservadas en bolsas PE que en los otros dos envases, al tercer día disminuyeron un promedio de 9.78% con respecto al primer día, en el sexto día



los envases de bolsa de PE y bandeja PET continuaron disminuyendo 19.26%, mientras que los orejones en bolsa PVDC aumentaron 15.34%, a los nueve días se observó un aumento del 30.37% en los envases de PET y PE, finalmente a los 12 días descendieron 16.28% con respecto al octavo día de la conservación; no encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro por el tipo de envase en la mayoría de los días estudiados, no así en el sexto día donde se presentó diferencia por el envase menos permeable al oxígeno (PVDC).

En los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 36B) los SST presentaron un comportamiento constante en el envase de PET desde el inicio hasta los primeros 12 días del almacenamiento, el producto en bolsa PE descendió 23.63% su contenido de SST y las manzanas en bolsa de PVDC aumentaron 18.76%; a los 16 días todos los envases aumentaron 53.3%, mantenido constante este parámetro a los 20 días, para posteriormente aumentar en todos los envases, siendo 38.86% más en bolsa PVDC y bolsa PE que en bandeja PET, los SST no mostraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la mayoría de los días, en donde los orejones en tarrina de PET fueron diferentes con los otros dos envases.

El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue diferente en las dos variedades de manzana, ya que la manzana ‘Red Delicious’ registró una disminución del 16.17% a los doce días del almacenamiento, caso contrario con la variedad ‘Golden Delicious’ que mantuvo constante el contenido de SST durante los primeros 12 días de la conservación para después incrementar 41% los SST al final del almacenamiento; esto es debido a la maduración que se llevó a cabo en el fruto, donde influyó el periodo de almacenamiento de esta manzana y la utilización de los tres envases con diferentes permeabilidades al oxígeno.

De manera contraria Rocculi *et al.* (2004) reportaron que los sólidos solubles no cambiaron sustancialmente durante el período de almacenamiento en las muestras envasadas en una atmósfera de 90% N₂, 5% CO₂ y 5% O₂; mientras que en rodajas de manzana en una atmósfera de 65% N₂O, 25% Ar, 5% CO₂, 5% O₂ hubo un ligero aumento en los SST.

Por otro lado se encontró similitud en los sólidos solubles de la manzana ‘Red Delicious’ con el estudio de Singh y Nath (2007) donde los SST de lichis mínimamente procesados



disminuyeron significativamente durante el almacenamiento desde un valor inicial de 17.7 a 13.5°Bx.

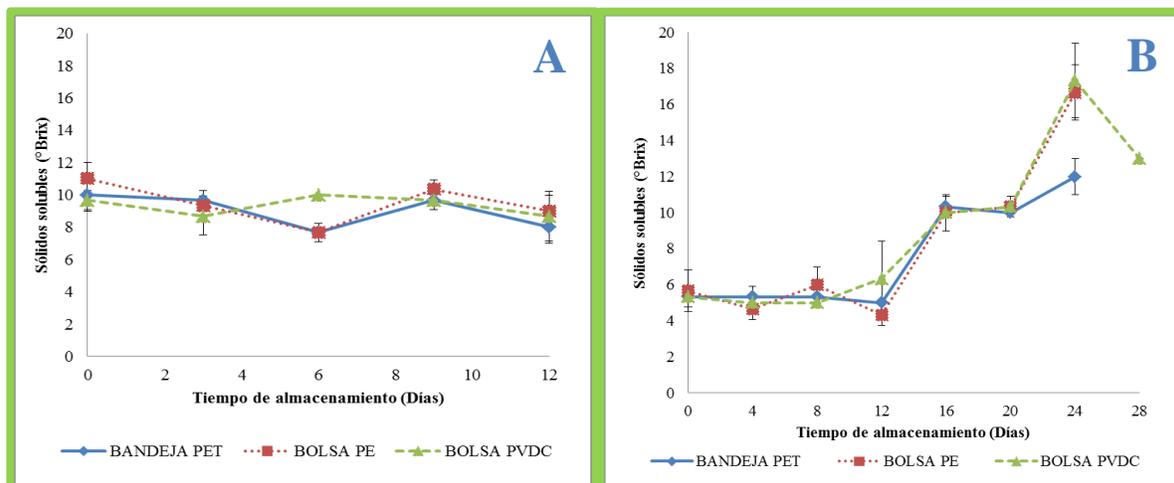


Figura 36. Cambios en sólidos solubles de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

4.3.3.2 Firmeza

En la variedad ‘Red Delicious’ (Figura 37A), la firmeza no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por los envases utilizados en la conservación, ya que en la mayoría de los días del análisis se registró una firmeza promedio de 2.21 Kg/cm² para los tres envases, no ocurrió lo mismo al noveno día que los orejones exhibieron un ligero aumento del 12.4% con respecto al sexto día para volver a descender a los 12 días del almacenamiento.

La firmeza en los orejones ‘Golden Delicious’ (Figura 37B) disminuyeron aproximadamente 35.54% en la bolsa PE y bolsa PVDC desde el inicio del almacenamiento hasta los 12 días, donde los tres envases registraron una firmeza similar en este día, a los 16 días la manzana envasada en bandeja PET y bolsa PVDC indicaron un aumento del 35.73% para después presentar una disminución de este parámetro, mientras que en el producto en bolsa PE continuó disminuyendo hasta perder el 40% de su firmeza al finalizar su conservación; la firmeza en la mayoría de los días indicó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los envases, no siendo así en los días 12 y 24 del estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Los resultados de la manzana ‘Red Delicious’ fueron similares a los de Martín-Belloso y Oms-Oliu, (2005) que observaron que en manzana y pera fresca cortada se consiguió preservar la firmeza de las muestras envasadas bajo 0 kPa O₂ y en material plástico de baja permeabilidad (15 cm³/m²·bar·día), mientras que los resultados de la manzana ‘Golden Delicious’ fueron similares con el trabajo de González-Aguilar *et al.* (2004) que demostraron que la textura de pimientos recién cortados desciende durante el período de almacenamiento en los diferentes tratamientos utilizados (temperaturas 5 y 10 °C en atmósfera modificada/vacío), diciendo que el uso de la atmósfera modificada pasiva reduce significativamente la pérdida de textura de los pimientos recién cortados, siendo más perceptible a los 5 que a 10 °C.

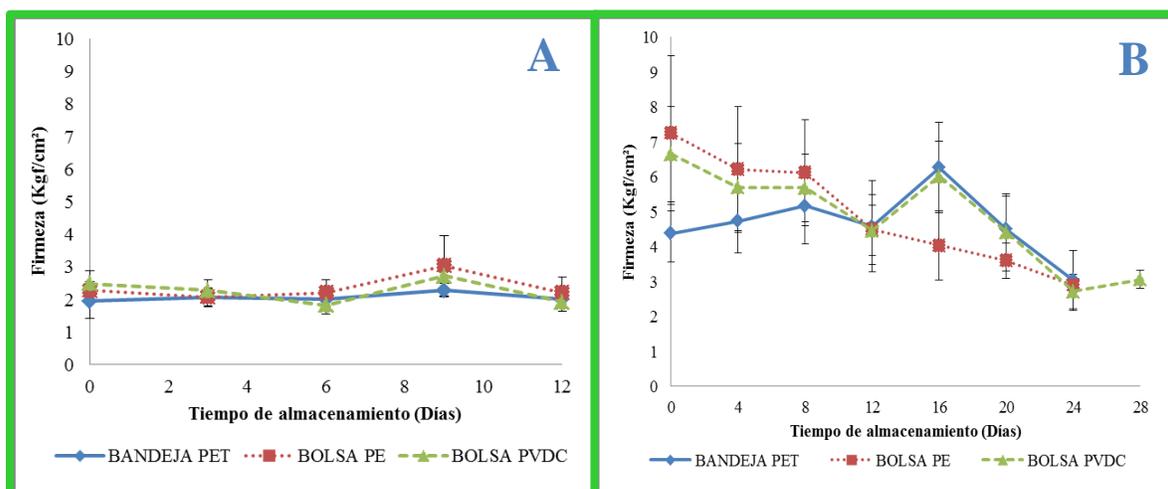


Figura 37. Cambios en la firmeza de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

La firmeza de la manzana ‘Red Delicious’ no varió durante el periodo de conservación, de manera que los envases no modificaron la textura de los orejones, ya que mostraron valores similares al inicio y al final del almacenamiento, debido a la aplicación de la atmósfera modificada, la cual evitó el ablandamiento de los orejones; a diferencia de la variedad ‘Golden Delicious’ que indicó una disminución del 42.17% de la textura al finalizar la conservación, considerando que a esta variedad se le adicionó 1% CaCl₂ para evitar una mayor pérdida de firmeza en el producto; de tal manera que las enzimas encargadas del ablandamiento de la fruta continuaron activas aún con la adición de estas sales y la permeabilidad del envase no ayudó en esta variedad a mantener la firmeza en los orejones.



Además que la variedad ‘Red Delicious’ tuvo menor firmeza comparada con la ‘Golden Delicious’.

Por otro lado, el aumento presentado el día 16 la manzana ‘Golden Delicious’ conservado en bandeja PET y bolsa PVDC, presentaron similitudes con lo reportado por Rocculi *et al.* (2004) donde exhibieron que la firmeza aumentó en manzanas mínimamente procesadas envasadas en diferentes atmósferas, después de 12 días de almacenamiento, debido al efecto de CaCl₂ utilizado en las soluciones de inmersión.

4.3.3.3 pH

El pH en la manzana ‘Red Delicious’ (Figura 38A) no mostró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la mayoría de los días por los envases utilizados para su conservación, a excepción del pH en los orejones en bolsa PVDC que presentaron 11.35% menor valor de pH el primer día con respecto a los orejones en bandeja PET y bolsa PE, además de que el tercer día el producto con el envase de menos permeabilidad al oxígeno (PVDC) presentó un aumento de 11.25% para el tercer día, a diferencia de los otros materiales que disminuyeron 1.11%. Al noveno día, el pH de la bandeja de PET, bolsa de PE y la bolsa de PVDC registraron un aumento del 6.67, 3.92 y 14.45%, respectivamente desde el inicio del almacenamiento.

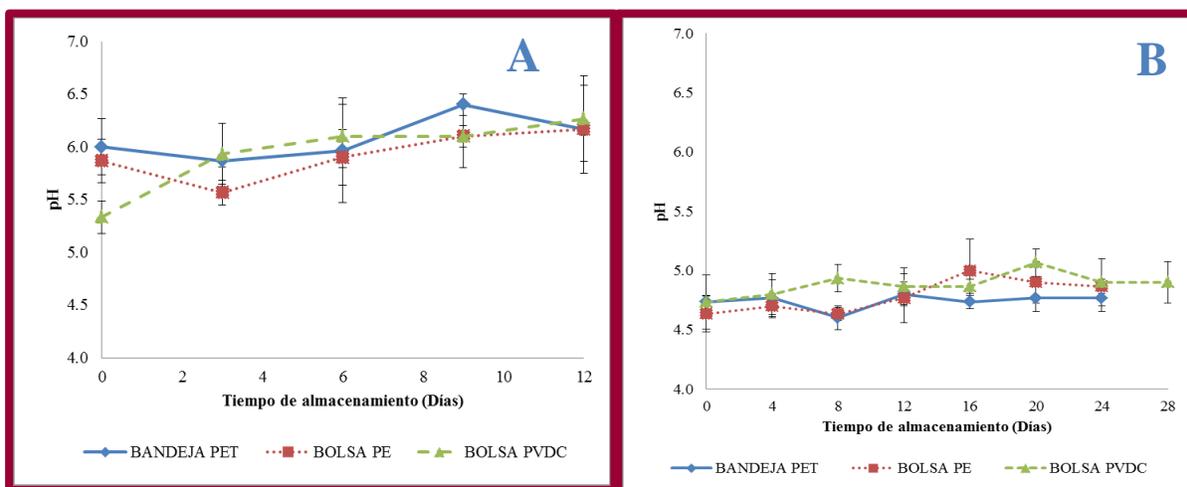


Figura 38. Cambios en el pH de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzano ‘Red Delicious’, B) Manzano ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.



En los orejones de manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 38B) el pH de la bolsa PE al octavo día de almacenamiento fue el mismo que al inicio del estudio, el envase de PET fue diferente ya que disminuyó 2.75% y el producto en PVDC registró un aumento del 4.23% con respecto al primer día, a los 12 días los orejones envasados en bandeja de PET aumentaron 4.35% pero posterior a este tiempo el pH se mantuvo constante hasta el final de su conservación, por otro lado los orejones envasados en bolsa de PE a los 16 días aumentaron 8% desde el día 8 para después descender 2.6% a los 24 días, y por último los orejones en bolsa de PVDC a los 20 días ascendieron 2.83% para después disminuir 3.29% a los 24 días siendo similar el pH que el día 12 del almacenamiento. Estadísticamente el pH sólo en el día 8 indicó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el envase menos permeable (PVDC) con respecto a los otros dos envases (PET y PE).

El pH fue similar en los tres envases utilizados en los orejones de manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesados, debido a que al finalizar su almacenamiento este parámetro aumentó 7.83%; debido a que se genera un aumento de los ácido orgánicos conforme se presenta la maduración de la fruta; la manzana ‘Golden Delicious’ presentó un pH menor en comparación con la variedad ‘Red Delicious’.

Los resultados del presente trabajo difieren a los presentados por Angós *et al.* (2007) que reportaron una disminución significativa del pH en patatas mínimamente procesadas al final del almacenamiento, en atmósferas de baja O₂, sin presencia de CO₂ y el control en comparación con los niveles en las patatas frescas. Por el otro lado, en atmósfera con bajos niveles de O₂ y altos niveles de CO₂ indicaron un aumento en el pH (reducción de la acidez), como se observó en este estudio con el envase de PVDC que presentó este comportamiento en el pH del producto. Pero concordando con Conte *et al.*, (2010) en brócoli dado que los valores de pH aumentaron moderadamente en todas las muestras, oscilando entre 5.6 y 6.2, demostrando que los sistemas de envasado no juegan un papel importante para influir en el pH en este estudio.



4.3.3.4 Acidez

La acidez de los orejones ‘Red Delicious’ (Figura 39A) al inicio de la conservación con el envase de PVDC indicó un % mayor de acidez en comparación con la bandeja PET y la bolsa PE, al tercer día del almacenamiento los orejones en bolsa PVDC disminuyeron su acidez 37.97% y el producto en bandeja se mantuvo constante; al noveno día se registró una disminución de la acidez en la manzana en bandeja PET, bolsa PE y bolsa PVDC de 28.42, 19.42 y 50.80% respectivamente, comparado con el inicio; para finalmente a los 12 días el producto envasado en PVDC se mantuvo constante, mientras que en PET aumentó su % de acidez. Estadísticamente desde el inicio hasta el tercer día existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de ácido málico por los diferentes envases utilizados en este estudio para posteriormente no presentar diferencia.

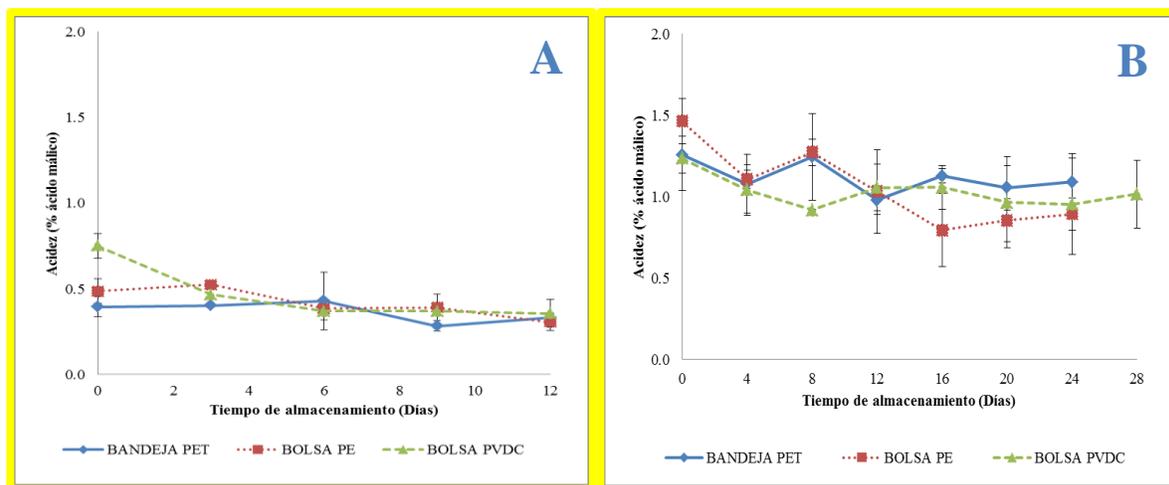


Figura 39. Cambios en el % de acidez de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

La manzana ‘Golden Delicious’ (Figura 39B) no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en la acidez para la mayoría de los días; sin embargo en los días 12 y 16 el contenido de acidez en los tres envases fue diferente, coincidiendo con el trabajo de Rojas *et al.* (2008) donde encontraron que los valores acidez no presentaron diferencia significativa en el transcurso de la vida de anaquel de sandía mínimamente procesada, a medida que transcurrió el periodo de conservación de las frutas en atmósfera modificada empleando bolsas de polipropileno (PP), por lo general la acidez disminuye. Desde el inicio hasta el octavo día del almacenamiento el producto en bandeja no registró cambios en el contenido



de acidez, a diferencia de las bolsas de PE y PVDC que disminuyeron 12.98 y 25.56% respectivamente, el producto con envase PVDC aumentó 14.78% para el día 12 en comparación con el día 8, continuando con un comportamiento constante hasta finalizar su conservación, a diferencia de los orejones en bandeja de PET y bolsa de PE que disminuyeron 15.08% al día 12, en el día 24 la manzana en bolsa de PE indicó el menor porcentaje de ácido málico en comparación con los otros dos envases.

El contenido de acidez tuvo una tendencia a disminuir con respecto al tiempo, en la manzana ‘Red Delicious’ disminuyó 35.28% desde el inicio de la conservación hasta transcurridos 12 días del almacenamiento, mientras que en la variedad ‘Golden Delicious’ descendió 24.24% pero hasta 24 días de conservación de tal manera que la permeabilidad de los envases y la variedad influyó sobre la acidez que se presentó en el producto; también siendo menor la acidez en ‘Red Delicious’ que en ‘Golden Delicious’. No encontrando similitud con el estudio realizado por Hevia *et al*, (2000) donde la acidez titulable se mantuvo constante durante todo el tiempo de almacenamiento de zarzaparrilla roja (*Ribesrubrum*) mínimamente procesada refrigerada y no observaron variaciones significativas entre las películas utilizadas.

4.3.3.5 Color

- **Luminosidad**

La luminosidad se identifica como la propiedad que tienen los materiales para reflejarse, en mayor o menor grado. En la manzana ‘Red Delicious’ (Figura 40A) la luminosidad al inicio del estudio presentó valores promedio de 74% para los tres envases, continuando con un comportamiento similar durante la mayor parte de los 12 días, debido a que las diferentes permeabilidades que ayudaron a retardar las actividades de las enzimas que ocasionan el pardeamiento, las cuales intervienen en la determinación de estos parámetros; al finalizar la conservación el producto en bandeja PET y bolsa PVDC disminuyeron 2.85 y 5.38% respectivamente, comparado con el inicio del almacenamiento, estadísticamente la luminosidad mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante la conservación por los tres envases estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



La luminosidad en la variedad ‘Golden Delicious’ (Figura 40B) registró un comportamiento constante en los envases de bolsa de PE y bandeja PET a lo largo del tiempo de conservación, indicando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro con el producto envasado en el material menos permeable al oxígeno, al inicio del almacenamiento el producto en bolsa de PVDC obtuvo 2.83% menos luminosidad que los otros dos envases, aumentado 2.26% en 4, 12 y 20 días.

La luminosidad de los orejones en ambas variedades ‘Red Delicious’ y ‘Golden Delicious’ indicaron un comportamiento similar a lo largo de la conservación, siendo los orejones empacados en PVDC los que registraron la menor luminosidad durante todo el tiempo de almacenamiento, debido a que este envase generó una atmósfera alta en CO_2 en comparación con los otros envases y estas condiciones preservan la calidad del producto, la cual no se vio reflejada en este parámetro; y también la variedad ‘Red Delicious’ obtuvo menor luminosidad que la manzana ‘Golden Delicious’.

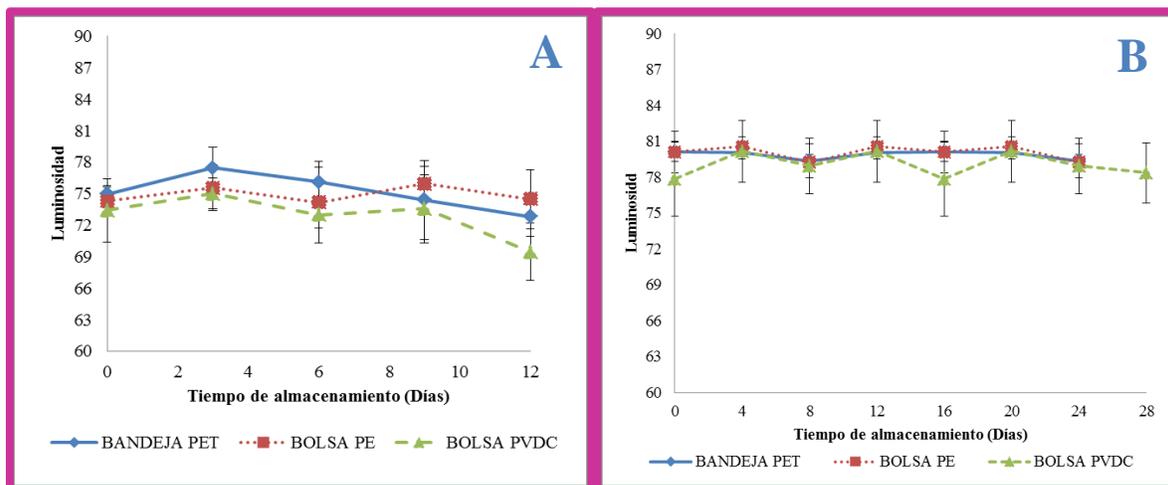


Figura 40. Cambios en la luminosidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

De acuerdo a lo reportado no se coincide con Ruiz *et al.* (2010) que encontraron que la luminosidad fue similar en ambas caras de hongos comestibles con la tendencia de oscurecer durante el almacenamiento en bandejas de PET/LDPE, debido principalmente a las reacciones de pardeamiento enzimático natural por la polifenoloxidasasa presente, aun bajo la acción del ácido ascórbico. Por otro lado se concuerda con Saxena *et al.* (2008) que



reportaron que la luminosidad se mantuvo constante en las muestras de jaca envasadas en bolsa de PE, no registrando cambios significativos en los valores hasta los 21 días de almacenamiento, lo que indicó, el retraso del pardeamiento de los bulbos.

- **Croma**

El croma es un atributo que proporciona la pureza del color que tiene un objeto. En la manzana ‘Red Delicious’ (Figura 41A) al inicio de la conservación con el envase PVDC fue 11.76% mayor que en bandeja PET, al sexto día el croma de los orejones fue similar en los tres envases, al noveno día los orejones en bandeja PET mostraron 8.07% más croma que la manzana en bolsas de PE y PVDC, finalmente a los 12 días de almacenamiento, los orejones conservados en bolsas PVDC tuvieron 14.35% mayor croma que en bolsa PE, debido a que la baja permeabilidad al oxígeno de la bolsa de PVDC permitió frenar las reacciones enzimáticas que son las causantes de la disminución de este parámetro; estadísticamente en la mayoría de los días se reportó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el croma, a excepción de los días 6 y 9 del estudio.

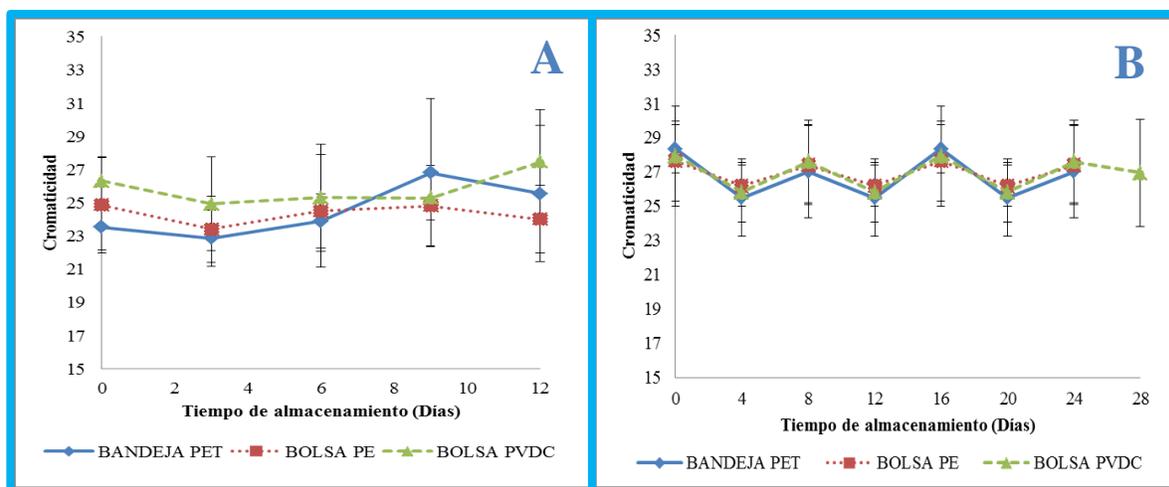


Figura 41. Cambios en la cromaticidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

En los orejones ‘Golden Delicious’ se observó un comportamiento similar en el croma durante todo el estudio en los tres envases utilizados, siendo igual el valor de croma al inicio que a los 24 días; por lo que no se registró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro (Figura 41B).



El croma de los orejones ‘Red Delicious’ fueron ligeramente superiores a los de la manzana ‘Golden Delicious’, con un comportamiento similar en los tres empaques utilizados durante todo el tiempo de almacenamiento.

• **Tono**

El tono representa la diferencia del color. Los orejones de manzana ‘Red Delicious’ (Figura 42A) en bandeja de PET indicaron 3% menor tono al inicio del periodo de almacenamiento que el producto de los otros dos envases, las muestras envasadas en bolsas de PE exhibieron un comportamiento constante durante todo el periodo de conservación (12 días), el tono de la manzana envasada en PVDC mantuvo un comportamiento constante durante los primeros tres días de almacenamiento alcanzando al final valores similares a los del inicio (79.69 °hue); estadísticamente en todos los días se reportó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro para los tres envases utilizados.

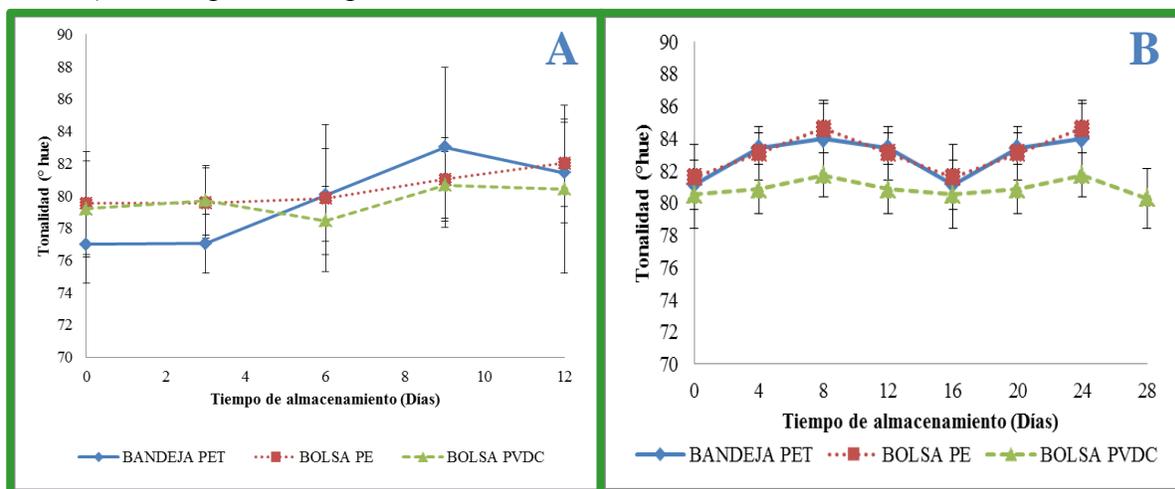


Figura 42. Cambios en la tonalidad de manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

El °hue de la variedad ‘Golden Delicious’ (Figura 42B) con el envase menos permeable al oxígeno (PVDC) fue menor 3.41% durante todo el periodo de conservación con respecto a los orejones envasados en bandeja de PET y bolsa de PE, donde el producto en bandeja y bolsa de PE aumentaron 3.61% al final de la conservación, a diferencia de los orejones en PVDC que en el último día indicaron un valor similar al del inicio (80.38 °hue) , en la mayoría de los días el °hue reportó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los envases de



tarrina de PET y bolsa de PE con la bolsa de PVDC, excepto al inicio y en día 28 del almacenamiento (Figura 42B).

El tono de los orejones de manzana ‘Red Delicious’ envasados en bolsas de PE y PVDC fue constante durante todo el tiempo de almacenamiento, lo que no sucedió con la manzana en bandeja de PET que mostró un aumento del 5.45%; en la variedad ‘Golden Delicious’ el tono del producto en el envase con menos permeabilidad al oxígeno (PVDC) fue menor durante todo el periodo de conservación comparado con los otros dos envases, indicando la presencia de un ligero pardeamiento en la superficie de los orejones; siendo muy similares el tono de los orejones en bandeja de PET y en bolsa de PE, debido a que la permeabilidad de estos materiales preservaron mejor las reacciones enzimáticas que ocasionaron un valor mayor en este parámetro.

Siendo diferente con el estudio de Undurraga *et al.*, (2007) donde el ángulo de tono de palta (*Persea americana mil*) como producto IV gamma envasada bolsas de Polietileno (PE), Aluminio y Polipropileno (PP) se vio afectado por el tiempo de almacenamiento, donde se produjo una disminución en sus niveles y se registró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) al final del período ya que se aceleran los procesos metabólicos que originan la maduración, generando un cambio de tonalidad.

Coincidiendo con Horvitz y Cantalejo (2007) que encontraron en pimiento rojo mínimamente procesado, valores similares de °hue en los diferentes tratamientos utilizados en este estudio, independientemente del tipo de envasado (vacío y atmósfera modificada pasiva); los frutos mostraron una tonalidad roja más intensa y ninguno de los tratamientos de O₃ produjo manchas ni decoloraciones en los mismos.

- **Apariencia visual de los orejones a los largo del almacenamiento**

Los orejones mostraron cambios debido a los tres envases utilizados, los orejones de la variedad ‘Red Delicious’ (Tabla 23) envasados en bolsa de PE mostraron pardeamiento desde el día 3 del almacenamiento, visualmente desde el inicio hasta el final de la conservación se notó un pardeamiento superficial y una leve deshidratación en el producto,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



al final el almacenamiento a los 12 días los orejones al vacío fueron los que mayor deterioro muestran, a diferencia de los orejones en tarrina.

Tabla 23. Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 12 días.

Día	Tarrina de PET	Bolsa de PE	Bolsa de PVDC
0			
3			
6			
9			
12			

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



En la variedad ‘Golden Delicious’ (Tabla 24) no fue notorio el cambio de un envase a otro, debido a que no presentaron pardeamiento enzimático al inicio del almacenamiento y fue muy leve en los últimos días de la conservación en el producto de la bandeja y las bolsas utilizadas en el estudio, se apreció que los orejones en el envase con menor permeabilidad al oxígeno (PVDC) no mostraron pardeamiento esto es debido a que la ausencia de oxígeno frenó la actividad de la enzimas que ocasionan este efecto indeseable en el producto, así como el tratamiento de 1.5% + 1% CaCl_2 fue el adecuado en este estudio, ya que la manzana preservó excelentes características de color, olor y sabor.

Tabla 24. Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 24 días.

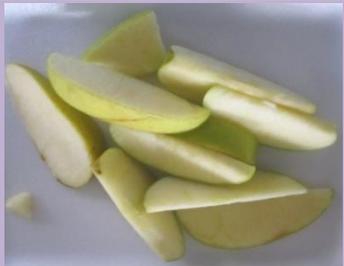
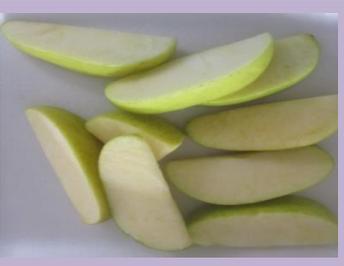
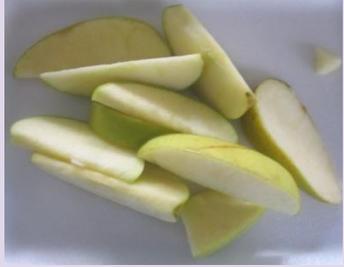
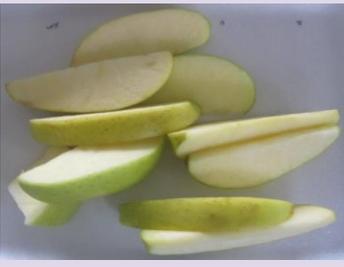
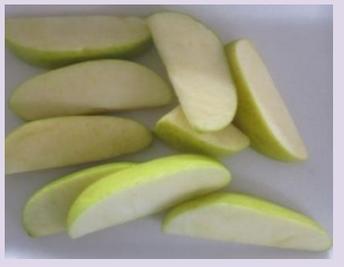
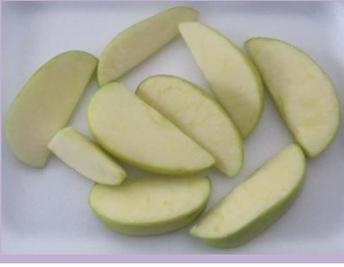
Día	Bandeja PET	Bolsa PE	Bolsa PVDC
0			
4			
8			



Tabla 24. Cambios de la apariencia visual en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 24 días (Continuación).



Con los tres envases utilizados en este estudio se obtuvo una vida de anaquel de 12 días para la variedad ‘Red Delicious’, a diferencia de la manzana ‘Golden Delicious’ la cual alcanzó una vida de anaquel de 28 días para el envase de menor permeabilidad al oxígeno (PVDC), debía que se frenaron las reacciones enzimáticas.



4.3.4. Parámetro nutricional

- **Vitamina “C”**

Los orejones de manzana ‘Red Delicious’ (Figura 43A) en el envase de menor permeabilidad al oxígeno (PVDC) mostraron 20.45% mayor contenido de vitamina “C” que el producto en bandeja de PET y bolsa de PE en el primer día de conservación, en los días 6 y 9 los orejones en bolsa de PVDC conservaron el mayor contenido de ácido ascórbico y al finalizar el estudio los orejones de los tres envases indicaron valores similares de vitamina “C” (36 mg de ácido ascórbico/100g de producto fresco), sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en los mg de ácido ascórbico presentes en la manzana con los diferentes envases.

La vitamina “C” de la variedad ‘Golden Delicious’ (Figura 43B) al inicio del estudio en el producto envasado en PVDC fue 14.77% menor que el producto de los otros envases, sin embargo al octavo día disminuyó 26.74, 30.35 y 23.97% para los envase en bandeja de PET, bolsa PE y bolsa de PVDC respectivamente. A los 20 días los orejones en envase PVDC mostraron 20.15% más vitamina “C” que el producto en bandeja PET y bolsa PE, al finalizar la conservación los mg de ácido ascórbico disminuyeron 22.30, 43.08 y 29.19% para las manzanas envasadas en tarrina, bolsa de PE y bolsa de PVDC respectivamente. Los orejones envasados en bolsa de PE indicaron una mayor pérdida de vitamina “C”, debido a que el envase tiene una mayor permeabilidad al oxígeno que los otros dos envases utilizados en este estudio, estadísticamente no se reportó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de vitamina “C” a lo largo de la conservación.

El contenido de ácido ascórbico de las manzanas ‘Red Delicious’ envasadas en tarrina de PET y bolsa de PE aumentó 13.42%, a diferencia del envase de PVDC que mostró 6.20% menor contenido de vitamina “C” el finalizar el almacenamiento, en la variedad ‘Golden Delicious’ se mostró que la vitamina “C” disminuyó 31.53% en todos los envases al final del estudio.

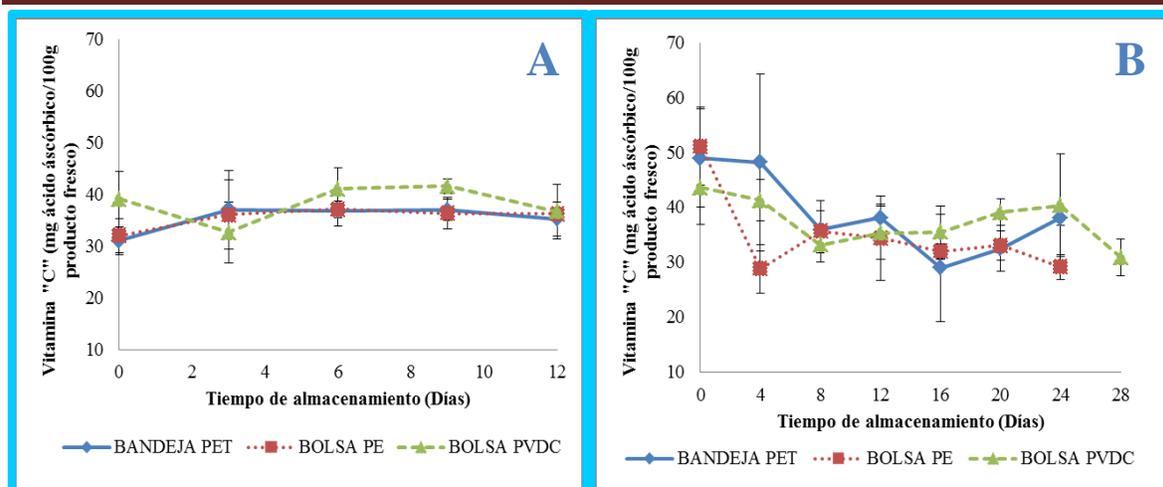


Figura 43. Cambios de vitamina “C” en manzana mínimamente procesada almacenada a 4 °C en envases con diferentes permeabilidades al oxígeno. A) Manzana ‘Red Delicious’, B) Manzana ‘Golden Delicious’. Las barras representan \pm desviación estándar.

El contenido de vitamina “C” de la manzana ‘Golden Delicious’, concuerda con lo reportado por Del-Valle *et al.* (2008) que observaron una tendencia a la disminución con respecto al tiempo de almacenamiento, pero sin diferencias significativas entre las composiciones de atmósfera ($p \geq 0.05$), no obstante de que la de mayor concentración de oxígeno provocó la mayor pérdida de vitamina “C”; así como la bolsa de PE que se utilizó en este estudio, fue la que indicó el menor contenido de ácido ascórbico, ya que ésta tiene una alta permeabilidad al oxígeno. De igual forma se asemeja al de Oms-Oliu *et al.* (2008) que reportaron una marcada disminución en el contenido de vitamina “C” en melón mínimamente procesado almacenado en atmósfera de 2.5 kPa O₂ + 7 kPa CO₂ desde el comienzo del almacenamiento a pesar de la restricción en O₂, debido a que se contribuye al estrés oxidativo y a su vez a la oxidación de la vitamina “C”, lo mismo ocurrió con la bolsa PVDC que es la de menor permeabilidad al oxígeno, debido a que se presentó una ligera degradación de esta vitamina en el producto a lo largo del periodo de almacenamiento.

4.3.5 Evaluación sensorial

La prueba discriminativa triangular permite determinar el efecto de modificaciones en las condiciones del proceso sobre la calidad sensorial del producto; sin embargo en el presente trabajo para manzana ‘Red Delicious’ no se indicaron modificaciones producidas por los



tres envases utilizados debido a que los panelistas no lograron identificar la muestra que era diferente, ya que en la comparación de bolsa PE – bandeja PET, bolsa PE – bolsa PVDC y bandeja PET – bolsa PVDC, hubo más errores que aciertos, por lo que el envases no provocó diferencia significativa ($p \geq 0.1$).

En la manzana ‘Golden Delicious’ el efecto de los envases fue similar al de la variedad ‘Red Delicious’, los jueces no lograron identificar si el producto era diferente en la mayoría de los días, a excepción del día 16 donde los panelistas sí reconocieron diferencia por el tipo de envase, tanto en bolsa PE – bandeja PET, bolsa PE – bolsa PVDC y bandeja PET – bolsa PVDC, ya que los aciertos fueron mayores a 14, por lo que para este día el envase si ocasionó un efecto sobre el olor, color, sabor y textura que el panelista pudo detectar.

En el mismo estudio se incluyó una prueba de preferencia, en la manzana ‘Red Delicious’ desde el día 0 hasta el día 6 el producto en bandeja de PET obtuvo la mayor preferencia por parte de los panelistas, pero al finalizar la conservación el producto en envases PVDC registró el predominio de la preferencia por parte de los jueces, mientras que los orejones en bolsa de PE fueron los de menor preferencia.

Con lo que respecta a la variedad ‘Golden Delicious’ los orejones envasados en bandeja de PET mostraron mayor preferencia al inicio, posteriormente la presentaron los orejones en bolsa de PE hasta el octavo día de la conservación y finalmente a los 20 y 24 días el producto en bolsa de PVDC fue donde predominó la preferencia. Debido a que en el producto envasado en PVDC se logró reducir las reacciones enzimáticas para evitar el pardeamiento y también ayudó a que los orejones preservaran mejores características de sabor, olor, color que los panelistas lograron identificar en este estudio.

Así como Loyola *et al.* (2007) que demostraron la aprobación del envasado en atmósfera modificada de 16% CO₂ y 12% O₂ ya que los panelistas establecieron preferencias tanto en la apariencia como aceptabilidad de los radicchios listos para consumir. De igual forma Lu, (2007) reportó la preferencia de la calidad sensorial de BokChoy mínimamente procesado, indicando una vida de anaquel de 10 días para el producto en atmósfera modificada donde las hojas se tornaron amarillas pero aun así aceptables para los panelistas.



4.3.6 Evaluación de inocuidad

El grupo de los microorganismos coliformes es el más ampliamente utilizado en la microbiología de los alimentos como indicador de prácticas higiénicas inadecuadas, es por eso que se llevó a cabo la determinación de coliformes en este proyecto, en la manzana ‘Red Delicious’ no se desarrollaron coliformes en los tres diferentes envases utilizados durante todo el periodo de almacenamiento, lo mismo ocurrió con los orejones de la variedad ‘Golden Delicious’ debido a que no existió crecimiento de coliformes en el envase al vacío durante los 28 días de la conservación, a excepción del día 20 en la que la bandeja de PET y la bolsa de PE presentaron 1.2×10^4 y 1.5×10^4 UFC/g respectivamente, lo que indicó que el proceso se realizó con buenas condiciones higiénicas y el envase ayudó a continuar con un producto de excelente calidad (Anexo 1). Coincidiendo con Rojas *et al.*, (2008) que indicaron que el empleo de atmósfera modificada en las fracciones de sandía retardó considerablemente el crecimiento de los microorganismos.

El recuento de mesófilos aerobios refleja la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima; en este estudio se encontró crecimiento de estas bacterias en ambas variedades de manzana únicamente en los envases de bandeja de PET y bolsa de PE. En la manzana ‘Red Delicious’ el crecimiento de mesófilos aerobios solamente se presentó en día 3 del almacenamiento con 1×10^3 UFC/g presentes en el producto envasado en bandeja de PET y 6×10^3 UFC/g en la bolsa de PE; a diferencia del producto envasado con la menor permeabilidad al oxígeno (PVDC) que no registro crecimiento.

En la manzana ‘Golden Delicious’ el crecimiento de mesófilos aerobios fue en el día 12 con 5×10^3 UFC/g en la bandeja de PET y en el día 20 con 2×10^4 y 5×10^3 UFC/g para la bandeja de PET y bolsa de PE respectivamente (Anexo 2). Cabe mencionar que los orejones envasados en bolsa de PVDC no presentaron un crecimiento debido la manipulación del producto fue el adecuado y el envase ayudó a preservar esta calidad. Francia ha elaborado una legislación para alimentos mínimamente procesados que establece recuentos máximos entre 10^5 y 10^7 UFC/g de mesófilos aerobios en los productos, al momento de cumplirse la fecha de vencimiento (Millán *et al.*, 2001), con estos datos



podemos encontrar que los orejones de manzana en ambas variedades cumplen con estos requerimiento para este tipo de microorganismos.

Es de gran importancia cuantificar los mohos y levaduras en los alimentos, puesto que al establecer la cuenta de estos microorganismos, permite su utilización como un indicador de prácticas sanitarias inadecuadas durante la producción y el almacenamiento de los productos, así como el uso de materia prima inadecuada, la manzana ‘Red Delicious’ no reportó crecimiento de estos microorganismos en la mayoría de los día en los tres diferentes envases, no así en el día 9 donde la bolsa de PE indico 1.6×10^3 UFC/g.

La variedad ‘Golden Delicious’ indicó crecimiento al inicio del almacenamiento en los envases de PET y PE con 1.4×10^3 y 1×10^3 UFC/g respectivamente, para el día 12 en la bandeja de PET registró 11×10^3 UFC/g; al día 20 de almacenamiento la bolsa de PE reportó 1.6×10^3 UFC/g y en el día 24 mostraron 3×10^3 y 4×10^3 UFC/g los orejones en bandeja de PET y bolsa de PE, respectivamente.



CONCLUSIONES





Con base a los resultados obtenido en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

- El mejor tratamiento antioxidante para la manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada fue la concentración de 1% ácido ascórbico + 1% ácido cítrico, debido a que ocasionó la menor actividad residual de las enzimas Polifenoloxidasas y Peroxidasas, además provocó una mayor firmeza y una buena aceptación por sus atributos sensoriales al final de su conservación (12 días).
- El mejor tratamiento antioxidante para la manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada fue la concentración de 1.5% ácido ascórbico + 1% CaCl_2 ya que ayudó a controlar la actividad de las enzimas Polifenoloxidasas y Peroxidasas en los primeros días del almacenamiento y provocó los mayores valores en acidez, vitamina C y mejor calificación sensorial durante los 12 días de conservación.
- El uso de envases con diferentes permeabilidades al oxígeno (bandeja de PET, bolsa de PE y bolsa de PVDC) afectó la vida útil de manzana mínimamente procesada; para la variedad ‘Red Delicious’ se alcanzó un tiempo de 12 para los tres envases y para la manzana ‘Golden Delicious’ de 28 días en bolsa de PVDC y 24 días en bandeja de PET y bolsa de PE.
- Los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles totales) al igual que el contenido de vitamina “C” no se vieron afectados por el tipo de envase utilizado.
- Los envases no provocaron un efecto de apariencia en la manzana mínimamente procesada, debido a que los panelistas no identificaron diferencias por el tipo de envase utilizado.
- La prueba de aceptación permitió conocer que a los 12 días de almacenamiento, el envase de PVDC provocó mayor aceptación en comparación a los envases de bandeja de PET y bolsa de PE, ya que conservó mejor los atributos de calidad de la manzana, presentando un menor pardeamiento enzimático en los orejones.



RECOMENDACIONES





1. Realizar el estudio con otras variedades de manzana procedentes de otros estados de la República Mexicana, para conocer su vida útil en la elaboración de mínimamente procesados.
2. Utilizar otros antioxidantes que permitan retardar o evitar el pardeamiento enzimático, como: ácido eritórbito, L-cisteína, 4-hexilresorcinol.
3. Estudiar otras enzimas de interés en los productos mínimamente procesados, como las responsables de la degradación de la pared celular que afectan la firmeza de la fruta, como la poligalacturonasa, pectinasa y pectin metil esterasa.
4. Investigar sobre alternativas de conservación en los productos listos para consumir, como son: los recubrimientos comestibles, la utilización de UV-C, la aplicación de ozono, compuestos naturales volátiles.
5. Estudiar el comportamiento de la fruta en atmósferas modificadas activas, así como el uso de otros materiales utilizados para el envasado de productos mínimamente procesados.
6. Dar a conocer este tipo de productos, ya que son viables para conservación de alimentos precederos como lo son las frutas y hortalizas.

ANEXOS



Anexo 1.

Conteo microbiológico de coliformes, mesófilos aerobios, mohos y levaduras en manzana ‘Red Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 12 días.

Día	Envases	Coliformes totales	Mesófilos aerobios	Mohos y levaduras
0	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
3	Bandeja PET	*	1×10^3	*
	Bolsa PE	*	6×10^3	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
6	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
9	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	1.6×10^3
	Bolsa PVDC	*	*	*
12	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*

* No se observó crecimiento en la dilución 10-1.

Coliformes totales en placa en agar Mac Conkey incubadas por 24 horas a 35 °C.

Mesófilos aerobios en placa en agar nutritivo incubadas por 48 horas a 35 °C.

Mohos y levaduras en placa en agar papa dextrosa acidificado incubadas durante 5 días a 25 °C.



Anexo 2.

Conteo microbiológico de coliformes, mesófilos aerobios, mohos y levaduras en manzana ‘Golden Delicious’ mínimamente procesada envasada en atmósferas modificadas almacenada a 4 °C por 24 días.

Día	Envases	Coliformes totales	Mesófilos aerobios	Mohos y levaduras
0	Bandeja PET	*	*	1.4×10^3
	Bolsa PE	*	*	1×10^3
	Bolsa PVDC	*	*	*
4	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
8	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
12	Bandeja PET	*	5×10^2	11×10^3
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
16	Bandeja PET	*	*	*
	Bolsa PE	*	*	*
	Bolsa PVDC	*	*	*
20	Bandeja PET	1.2×10^4	2×10^4	*
	Bolsa PE	1.5×10^4	5×10^3	1.6×10^3
	Bolsa PVDC	*	*	*
24	Bandeja PET	*	*	3×10^3
	Bolsa PE	*	*	4×10^3
	Bolsa PVDC	*	*	*
28	Bolsa PVDC	*	*	*

* No se observó crecimiento en la dilución 10-1.

Coliformes totales en placa en agar Mac Conkey incubadas por 24 horas a 35 °C.

Mesófilos aerobios en placa en agar nutritivo incubadas por 48 horas a 35 °C.

Mohos y levaduras en placa en agar papa dextrosa acidificado incubadas durante 5 días a 25 °C.



Anexo 3.

Abreviaturas

A.A.: Ácido ascórbico
A.C.: Ácido cítrico
APPCC: Análisis de peligros y puntos críticos de control
CaCl₂: Cloruro de calcio
CO₂: Dióxido de carbono
EAM: Envasado en atmósfera modificada
H₂O₂: Peróxido de hidrógeno
IB: Índice de blancura
Kg: Kilogramos
K OH: Hidróxido de potasio
K Pa: Kilo pascales
mg: Miligramo
ml: Mililitro
Na OH: Hidróxido de sodio
nm: Nanómetro
N₂: Nitrógeno
O₂: Oxígeno
PE: Polietileno
PET: Politereftalato de etilenglicol
PDO: Peroxidasa
ppm: Partes por millón
PPO: Polifenoloxidasa
PVDC: Policloruro de vinilideno
RC: Recubrimiento comestible
RPM: Revoluciones por minuto
SST: Sólidos solubles totales
UFC/G: Unidades formadores de colonia por gramo
UV: Ultravioleta
μL: microlitro



BIBLIOGRAFIA





- **Acento** veintiuno (2011). Producción de manzana atractivo turístico para “pueblo Mágico”. Recuperado en Abril del 2011. Disponible en: <http://www.acentoventiuno.com/?Producción-demanzan-atractivo>.
- **Afhorla** (2009). Asociación Española de Frutas y Hortalizas. Lavadas, listas para su empleo. Recuperado en Junio del 2012. Disponible en: www.afhorla.com/ivgama.php.
- **Agronota** (2012). Sector del mango mexicano responde a ‘rumores infundados’. Recuperado en Octubre de 2012. Disponible en: <http://agronota.com/2012/09/sector-del-mango-mexicano-responde-a-rumores-infundados/>.
- **Aguayo, E.; Requejo-Jackman, C.; Stanley, R.; Woolf, A.** (2010). Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apples slice. *Postharvest Biology and Technology*. 58: 2545-261.
- **Aguayo-Gímenez, E.** (2003). Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Tesis Doctoral de Ingeniería Agrónoma. Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- **Andrade-Cuvi, M.J.; Moreno-Guerrero, C.; Henríquez-Bucheli, A.** (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrocha carambola L.*) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. Recuperado en agosto del 2011. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/813/81315093004.pdf>.
- **Ángos, I.; Vírseada, P.; Fernández, T.** (2007). Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 422-430.
- **AOAC.** (1996). Official Method of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- **Areiza, C.A.** (1999). Algunas reflexiones para comercializar perecedero (El caso de las frutas). *Revista Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas*. 72:13-22.
- **Artés, F., Castañer, M. y Gil, M. I.** (1998). Revisión: El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. *Food Science Technology International*. 4(6): 377-389.
- **Artés, F; Castañer, M y Gil, M.** (2012). El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Recuperado en octubre de 2012. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/105697306/Pardeamiento-Enzimatico-enFrutasyHortalizas-Minimamente-Procesadas>.
- **Artés-Hernández, F.; Aguayo, E.; Gómez, P.; Artes, F.** (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la “Cuarta gama”. *Revista Horticultura Internacional*. 69: 52-57.
- **Artés, F. y Artés-Hernández, F.** (2003). Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos procesados en fresco. En: Productos



-
- hortofrutícolas mínimamente procesados. M.G. Lobo y M. González (eds). Gobierno de Canarias. 57-78.
- **Ávila-Quezada**, G.; Sánchez, E.; Muñoz, E.; Martínez, L. y Villalobos, E. (2008). Diagnóstico de la calidad microbiológica de frutas y hortalizas en Chihuahua, México (Con 3 Tablas). *Phyton*. 77.
 - **Belloso**, O.M.; Rojas, M.A. (2005). Factores que afectan la calidad de productos vegetales cortados. Tesis Doctoral, Universidad de Lleida. España.
 - **Brody**, A. (1996). Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Acirbia, Zaragoza, España.
 - **Cáceres**, I.; Mulkay, T.; Rodríguez J.; Paumier A. (2010). Conservación de productos hortofrutícolas. Instituto de investigación en fruticultura tropical. Cuba. Disponible en: www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf.
 - **Callejas** N. (2007). Evaluación de alianza para el campo de los sistemas productos frutícolas en el estado de Chihuahua. Programa de Apoyo al Campo 2007. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
 - **Cano**, M.P.; Marín, M. A. y C. Fúster (1997). Differences among Spanish and Latin American bananas cultivars: Morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*. 59; 411-419.
 - **Carbonaro**, M. y Mattera, M. (2001). Polyphenoloxidase activity and polyphenol levels in organically and conventionally grown peach (*Prunus persica* L., cv. *Regina bianca*) and pear (*Pyrus communis* L., cv. *Williams*). *Food Chemistry*. 72: 419-424.
 - **Castellano**, G.; Quijada, O.; Ramírez, R.; Sayago, E. (2006). Efectos de fertilización con calcio y el estado de madurez sobre la calidad de la fruta de guayaba (*Psidium Guajaval* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7:109-113.
 - **Castro-Rosas**, J.; Rojas-Olvera, M.; Noguera-Ugalde, Y.; Santos-López, E.M.; Zuñiga-Estrada, A. y Gómez-Aldapa, C.A. (2006). Calidad sanitaria de ensaladas de verduras crudas, listas para su consumo. *Alfa Editores Técnicos*. Recuperado en Junio de 2012. Disponible en: <http://hidroponianft.webatu.com/REVISION%20BIBLIOGRAFICA/LECHUGAS%20HIDROPONICAS%20Y%20NFT/Calidad.pdf>.
 - **Cerespain** (2012). Historia de las manzanas. Recuperado en marzo del 2012. Disponible en: www.cerespain.com/historia-de-la-manzana.html.
 - **Chung**, H. y Moon, K. (2009). Browning characteristics of fresh-cut 'Tsgaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres. *Food Chemistry*. 114: 1433-1437.
 - **Conte**, A.; Del Nobile, M.; Scroccob, C.; Bresciab, I.; Speranzab, B.; Sinigaglia, M.; Perniolac, R.; Antonaccic, D. (2010). A study on quality loss of minimally processed grapes as affected by film packaging. *Postharvest Biology and Technology*. 51: 21-26.
-



- **Delhom M.J.** (1987). La conservación frigorífica de las manzanas. Publicaciones Agrarias, Pesqueras y Alimenticias. España.
- **Del-Valle, V.**; Hernández,-Muñoz, P.; Catula, R.; Gavara, R. (2008). Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EAMAP) for minimally processed mandarin segments. *Journal of Food Engineering*. 91: 474-481.
- **Dong, X.**; Wrolstad, R.; Sugar, D. (2000). Extending shelf life of fresh-cut pears. *Journal Food. Science*. 65: 181-186.
- **Eroskiconsumer** (2011). Manzana. Recuperado en octubre de 2012. Disponible en: <http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/manzanas/intro.php>.
- **FAO** (2012). Almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. Manual para el mejoramiento del manejo postcosecha de frutas y hortalizas. Recuperado en Febrero de 2012. Disponible en: www.fao.org/docrep/x50565/x5056503.htm#pre-tratamientosbasicosanteriores.
- **FM Consultoría** (2011). México el consumo de manzana. Recuperado en Agosto de 2011. Disponible en: <http://fmconsultoriablogspot.com/2011/09/mexico-el-consumo-de-manzana>.
- **García, E.**; Gago L.; Fernández, J. (2011). Tecnología de envasado en atmósfera protectora. Informe de Vigilancia Tecnológica. Recuperado en Agosto del 2011. Disponible en: www.madrimasd.org.
- **Gasull, E.** y Becerra, D. (2006). Caracterización de polifenoloxidasas extraídas de pera (cv *Packam's Triumph*) y manzana (cv. 'Red Delicious'). *La serena*. 17(6): 69-74.
- **González-Aguilar, G.**; Ayala-Zavala, J.; Ruíz-Cruz, S.; Acedo-Felix, E.; Días-Cinco, M. (2004). Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT- Food Science and Technology*. 37: 817-826.
- **González-Aguilar, G.**; Ayala, F.; Ruíz, S.; Cruz, R.; Cuamea, F.; (2004). Estudio actual del mercado de frutos y vegetales cortados. Simposium "Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados en Iberoamérica". San José, Costa Rica, Abril 2004.
- **González-Aguilar, G.A.**; Villegas-Ochoa, M.A.; Cuamea-Navarro, F. y Ayala-Zavala, J.F. Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados. San Pedro, Brasil. Abril, 2006.
- **González, F.E.** (2011). Calidad y seguridad microbiológica de vegetales mínimamente procesados en fresco. Recuperado en Octubre del 2011. Disponible en: <http://calidad.fundacionidea.com/iiicongreso/comunicaciones.pdf>.
- **Guevara, J.C.** (2010). Empacado de alimentos. Trillas, México.
- **Hernández, A.** (2007). Evaluación Sensorial de Productos agroalimentarios. Acribia, México.



- **Hevia, F.;** Lanuza, P.; Wilckens, R.; Tello, M. y Alvarez, D. (2000). Comportamiento de zarzaparrilla roja (*Ribes Rubrum*) en almacenaje refrigerado y modificado. *Agro sur*. 28(2).
- **Horvitz, S. y Cantalejo M.J.** (2007). Efecto del ozono sobre la calidad de pimiento rojo cv. *Lamuyo* mínimamente procesado. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena-España.
- **Huxsoll, C.C. y Bolin, H.R.** (1989). Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*. 43(2): 124-128.
- **INEGI - Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.** (2003a). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2002. Disponible en: www.inegi.gob.mx/est/contenidos/español/encuestas/enigh/enigh_2002/enigh.html.
- **INEGI - Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.** (2003b). Agenda Estadística de los Estados Unidos Mexicanos. pp 254.
- **INFOAGRO** (2011). El cultivo de la manzana (1ra. Parte). Recuperado en Agosto de 2011. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm.
- **Latatta, F.** (1999) Guía completa del cultivo de las manzanas. Vecchi. Barcelona.
- **Leyva, L.;** Heredia, J.; Contreras, L.; Muy, R.; Campos, S.; González, L. (2011). Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de papaya (*Carica papaya L. var. Maradol*) fresca cortada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2 (1):1-15.
- **Lobo, M. y González, M.** (2003) Productos hortofrutícolas mínimamente procesados. Instituto Canario de Investigación Agrarias, España.
- **Loyola, N.;** Calquín, P.; Norambuena, Aguayo. (2007). Evaluación de parámetros físicos, microbiológicos y sensoriales de radicchios (*Chichorium Intybus l. Var. Foliosum*) envasados mediante IV gama. *IDESIA*. 25(3): 59-73.
- **Lu, Shegmin.** (2007). Effect of packaging on shelf-life of minimally processed Boy Choy (*Brassica Chinensis L.*). *LWT- Food Science and Technology*. 4: 460-464.
- **Luo, Y.;** Lu, S.; Zhou, B.; Feng, H. Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples. *LWT – Food Science and Technology*. 44:1621-1625.
- **MacDonald, L. y Schaschke, C. L.** (2000). Combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana. *Journal Food Agriculture Science*. 80: 719-724.
- **Manzocco, L.;** Da Pieve, S.; Bertolini, A.; Bartolomeoli, I.; Martreni, M.; Vianelo, A.; Nicoli, M. (2011). Surface decontamination of fresh-cut Apple by UV-C light exposure. Effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biology and Technology*. 61: 165-171.
- **Martín-Belloso, O. y Oms- Oliu, G.** (2005). Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada.



- Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados” La Habana, Cuba. Marzo 2005.
- **Mercados** agropecuarios (2011). Oficina de estudios y políticas agrarias. Chile. Disponible en: www.odepa.gob.cl.
 - **Millán, T.**; López, S.; Roa, V.; Soledad, M.; Cava, R. (2001). Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (*Cucumis melo L*) mínimamente procesado por impregnación al vacío. Recuperado en Agosto de 2011. Disponible en: www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222001000200009&script=sci_arttext.
 - **Naturasan**, (2012). Tu blog sobre la vida sana. Manzana, beneficios y propiedades más importantes. Recuperado en Enero de 2012. Disponible en: <http://www.naturasan.net/manzanas-beficios-y-propiedades-mas-importantes/>.
 - **NOM-092-SSA1-1994**. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Norma Oficial Mexicana. Recuperado en Agosto del 2011. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>.
 - **NOM-111-SSA1-1994**. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. Recuperado en Diciembre del 2011. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>.
 - **NOM-113-SSA1-1994**. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Norma Oficial Mexicana. Recuperado en Diciembre del 2011. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>.
 - **NMX-FF-061-1993**. Fruta fresca. Manzana (*Malus Pumila Mill*). Especificaciones. Norma Mexicana. Recuperado en Marzo del 2012. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-061-1993.PDF>.
 - **Oms-Oliu, G.**; Odriozola-Serrano, I.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O.; (2008). The role of peroxidase on the antioxidant potential of fresh-cut ‘Piel de sapo’ melon packaged under different modified atmospheres. *Food Chemistry*. 106: 1085-1092.
 - **Ospina-Meneses, S.M.** y Cartagena-Valenzuela, J.R. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*. 5: 122-123.
 - **Parry, R.T.** (1995). Envasado de los alimentos en atmósfera modificada. Vicente. Madrid. España.
 - **PCE**, (2012). Penetrómetro. Recuperado en Mayo de 2012. Disponible en: <http://www.pceiberica.es/medidordetallestecnicos/instrumentodefuerza/penetrometro-pce-p200.htm>
 - **Quevedo-Preciado, K.**; Villegas-Ochoa, M.; González-Ríos, A; Rodríguez-Félix A. (2005). Calidad del nopal verdura mínimamente procesado. Efecto de temperatura e inhibidores de oscurecimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28: 261-270.



- **Qi, H.;** Hu, W.; Jiang, A.; Tian, M.; Li, Y. (2010). Extending shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 12: 62-66.
- **Ramírez, R.H.** y Cepeda, S.M. (1993). El manzano. 2a. ed. Trillas, México.
- **Rocculi, P.;** Romani, S.; Dalla, M. (2004). [Evaluation of physic-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere. *Food Research International*. 37: 329-335.](#)
- **Rodríguez S.;** Del, C.; Questa, A.; Guzmán, C.; Casóliba, R.; Coronel, M. (2006). Calidad microbiológica de vegetales mínimamente procesados. Experiencias en el noreste argentino. I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados, San Pedro, Brazil, Abril 2006.
- **Rojas, M.A.** (2006). Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. España.
- **Rojas, A.;** Vargas, L.; Tamayo, J. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9: 153-161.
- **Rotondo, R.;** Ferrato, J.A.; Firpo, I.T. (2008). Hortalizas mínimamente procesadas o de IV gama. *Revista Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Recuperado en Junio de 2012. Disponible en: www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm.
- **Ruiz, R.;** Cortés, R.; Henríquez, A. (2010). Efecto de dos atmósferas de empaque en hongos comestibles (*Pleurotus Ostreatus L.*) tratados mediante impregnación a vacío con una solución conservante. *Vitae*, 17 (1): 11-19.
- **Salazar, A.L.** (2012). Desarrollo y validación de metodologías para el estudio de maduración de frutos. Reporte de servicio social de la carrera de Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuatitlán, Campo 1.
- **Saxena, A.;** Singh, A.; Srivivinas, P. (2008). Use of modifies atmosphere packaging to extend shelf-life of minimally processed jackfruit (*Artocarpus heterophyllus L.*) bulbs. *Journal of Food Engineering*. 86: 455-466.
- **SIAP-SAGARPA**, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación, (2009). Avance de siembras y cosechas. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/ventana.php>.
- **SAIP-SAGARPA**, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación, (2012). Manzana. Recuperado en junio de 2012. Disponible en: <http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/Frutales/Manzana.html>.



- **San Diego Red**, (2011). Prohíben paso a papaya por *Salmonella*. Recuperado en octubre de 2012. Disponible en: <http://www.sandiegored.com/noticias/17758/Prohiben-paso-a-papaya-por-salmonella/>.
- **SISIB**, Sistema de servicios de información y bibliotecas, (2012). Determinación de la actividad peroxidasa y de su regeneración. Recuperado en Junio de 2012. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/schmidth02/parte08/02.html.
- **Silvina**, M. (2007). Efecto de la variedad y del procesamiento sobre la vida útil de frutillas mínimamente procesadas. Tesis de maestría. Universidad del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- **Singh**, N. y Nath, N. (2007). Changes in qualities of minimally processed litchis: Effect of antibrowning agents, osmo-vacuum drying and moderate vacuum packaging. *LWT- Food Science and Technology*. 41: 660-668.
- **Supapvanich**, S.; Pimsaga, J. y Srisujan, P. (2011). Physicochemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense [Blume] Merrill & L.M. Perry*) during storage. *Food Chemistry*. 127: 912-917.
- **Teruel**, B.; Kieckbusch, T.; Córtez, L. (2003). Enfriamiento de frutas cítricas de diferentes dimensiones en un sistema con agua fría. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 5: 70-75.
- **Trejo-Márquez**, M.; Ramos-López, K.; Pérez-Guillen, C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fres (*Fragaria Vesca L*) almacenada en refrigeración. V Congreso Iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones. España. 1 de Junio del 2007.
- **Undurraga**, P.; Olaeta, J.; Olivares, C. (2007). Evaluación de tres tipos de material de envase sobre palta (*Persea Americana mill.*) cv. edranol, como producto IV gama. Proceedings VI World Avocado Congress, Viña Del Mar, Chile, 12 – 16 Nov. 2007.
- **Unifrió**, (2012). Preenfriado de Frutas y Legumbres. Recuperado en Junio del 2012. Disponible en: www.preenfriado.com.
- **Villegas-Ochoa** M.; Ayala-Zavala, F.; Cruz, R.; Hernández, J.; González-Aguilar, G. (2005). Efecto antioxidante de extractos naturales en manzana ‘Red Delicious’. Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados”. La Habana, Cuba, Marzo 2005.
- **Villenas**, P.; Luchsinger, J.; Obando J.; Hinojosa A.; Escalona V. (2010). Efecto de diferentes sanitizantes en la calidad de berros (*Nasturtium officinale R. Br.*) envasado en atmósfera modificada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11: 214-220.
- **Wiley**, R.C. (1997). Frutas y Hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acribia, España.



-
- **Wills, R.**; Lee, T.; McGlasson, W.; Hall, E. y Graham, D. (1988). Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Acribia, España.
 - **VISAVET**, Centro de vigilancia sanitaria veterinaria (2006). Higienización de frutas y hortalizas crudas: hacia un consumo seguro y saludable. Recuperado en octubre del 2012. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/alimentacion/2006/11/27/5276>.
 - **Wu, Z.S.**; Zhang, M.; Wang, S. (2011). Effects of high pressure argon treatments on the quality of fresh-cut apples at cold storage. *Food Control*. 23: 120-127.
 - **Yue-Ming, J.**, Zauberman, G. y Fuchs, Y. (1997). Partial purification and some properties of polyphenol oxidase extracted from litchi fruit pericarp. *Postharvest Biology and Technology*. 10: 221-228.