



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

*Mejora de la calidad de piña mínimamente
procesada con tratamientos por
irradiación UV-C.*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA
EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

María del Carmen Montiel Rosales

ASESORA: Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2009



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.

Agradecimientos

A la M.C. Norma Angélica Camacho de la Rosa por la asesoría brindada en la determinación de la actividad enzimática.

Agradezco de todo corazón a la Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez Trejo por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme crecer tanto profesional como personalmente, porque me siento orgullosa de pertenecer a una institución de excelencia cuyo propósito primordial ha sido estar al servicio del país y de la humanidad.



Dedicatorias

A dios:

Por darme la oportunidad de vivir en este tiempo y espacio, porque a pesar de todo siempre estas ahí para cuidarme y brindarme las mejores cosas.

A mis padres:

Por que sin ustedes simplemente no estaría aquí, por darme todo el cariño, el amor y dedicación a mi hermana y a mí, los amo con todo mi corazón.

A mi papito †:

Siento mucho que no estés a mi lado, se que tu anhelabas tanto este momento como yo, pero se que estés donde estés nos estas cuidado y se que te sientes muy orgulloso de este logro, gracias por el regalo mas grande que siempre me dijiste que podrías darme, te amo papa gracias por todo.

A mi mami:

Por darme la vida, por el infinito amor que me has dado, porque siempre has estado a mi lado compartiendo mis desvelos y mis éxitos, gracias por ser quien eres..... la mejor mamá del mundo TQM.

A mi hermanita:

Gracias por ser todos los consejos, el apoyo y las miles de horas que has pasado a mi lado compartiendo tanto los buenos como los malos momentos, eres personita asombrosa, con un enorme corazón y por eso te admiro tanto, te quiero mucho.

A todos mis tios (as), primos (as) y abuelitos (as):

Por los maravillosos momentos que he pasado a su lado desde mi niñez, por siempre estar al pendiente de mí y de mi familia, mil gracias por todo el cariño, el interés y la confianza que han depositado en mí, los quiero mucho.



A mis amigas:

Viruz, Jessy Ávila, Clau, Adriana, Mimi, Marlen, Viri, Ana y Jessy Garduño por todos sus consejos, apoyo incondicional y maravillosos momentos, por hacer mi paso por la Universidad algo inolvidable, las admiro y las quiero mucho che viejas!

A Jessy Garduño, Anabel Rivas y Karen González.:

Les quiero agradecer todo lo que han hecho por mí, gracias por no dejarme caer, porque siempre han estado allí para escucharme y apoyarme en todo momento, son unos excelentes seres humanos de verdad mil gracias amigas las quiero mucho.

Jessy:

Que te puedo decir eres una persona increíble, tu alegría me contagia, muchas gracias por estar conmigo tanto en las buenas como en las malas, te admiro y agradezco tu amistad, te quiero mucho.

Ana:

Eres una gran amiga, te agradezco dejarme ser parte de tu vida, espero que nuestra amistad dure para siempre, cuenta conmigo en todo momento te quiero mucho.

Karen:

Sabes yo creía que para considerar a una persona como tu mejor amiga tenías que conocerla de mucho tiempo, sin embargo ahora me doy cuenta que no es así. Gracias porque sin conocerme me has brindado el mayor tesoro que una poseer una persona, de verdad te agradezco de todo corazón todo lo que has hecho por mí, te quiero mucho Karen.

A la Dra. Andrea Trejo Márquez:

Por ayudarme con el desarrollo de mi tesis, por su apoyo y su paciencia, por ser un ejemplo a seguir y por todo lo que nos ha dado muchas gracias.

A Norma:

Por estar siempre al pendiente de mí y de mi trabajo gracias.



A mis compañeros del laboratorio:

No quisiera dar nombres por temor a olvidar a alguno, sin embargo agradezco a cada uno de los que estuvieron allí durante el desarrollo de mi trabajo con una palabra de aliento, con una sonrisa, mil gracias ahora forman parte de algo muy importante en mi vida.

A mis sinodales:

Por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

Y al final pero sin restarles importancia a todas y cada una de las personas trascendentes que he conocido a lo largo de mi vida, porque tal vez sin su apoyo, aliento, amistad y consideración yo no estaría en este momento aquí. A cada uno de esos maravillosos seres humanos, muchas gracias!!

*“Ponerse en movimiento es importante,
pero lo más importante es mantener el entusiasmo inicial,
persistir y no rendirse a pesar de las dificultades.
Porque vamos a tener tropiezos. La clave no está en no caerse
sino en saber levantarse y continuar”.*

Paulo Coelho



**ÍNDICE GENERAL**

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ABREVIATURAS	
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1 Generalidades de la piña	4
2.1.1 Origen	4
2.2 Importancia económica	4
2.2.1 Producción mundial	5
2.3 Producción de piña en México	5
2.3.1 Distribución nacional de la producción	5
2.3.2 Estructura de la producción	6
2.4 Aspectos fisiológicos de la piña	7
2.4.1 Clasificación taxonómica	7
2.4.2 Descripción botánica y morfológica	7
2.4.2.1 Variedades	9
2.4.2.2 Principales plagas y enfermedades del cultivo de piña	11
2.5 Composición química y valor nutritivo	12
2.6 Métodos de conservación de la piña	13
2.7 Productos Refrigerados Mínimamente Procesados (PRMP)	16
2.7.1 Definición	16
2.7.2 Principales operaciones unitarias en el procesamiento de frutas y hortalizas mínimamente procesadas	17
2.7.3 Tratamientos de conservación de los productos refrigerados mínimamente procesados	27
2.7.3.1 Tratamientos químicos	29
2.7.3.2 Tratamientos físicos	31
2.7.4 Causas de deterioro de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados	36
2.7.5 Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas	37
2.7.6 Ventajas y desventajas del procesado mínimo	39
2.7.7 Legislación para los productos mínimamente procesados	40
III. OBJETIVOS	43
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1 Secuencia metodológica	44
4.2 Material biológico	45
4.3 Tratamiento de muestras	45
4.4 Proceso de elaboración de piña mínimamente procesada	46
4.5 Aplicación de tratamiento por irradiación UV-C	47
4.6 Evaluación del efecto de antioxidantes en el control del pardeamiento de piña refrigerada mínimamente procesada	50



ÍNDICE

4.7 Selección del mejor estado de madurez de piña	50
4.8 Determinar el efecto de la irradiación UV-C sobre la inocuidad de piña mínimamente procesada	50
4.9 Métodos analíticos	50
4.9.1 Parámetros químicos	50
4.9.2 Parámetros de calidad	51
4.9.3 Parámetros bioquímicos	55
4.9.4 Análisis microbiológico	56
4.10 Análisis estadístico	57
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
5.1 Caracterización química de la piña	58
5.2 Características físico-químicas	59
5.3 Efecto del estado de madurez sobre el desarrollo de un PRMP (Producto Refrigerado Mínimamente Procesado) a base de piña	61
5.3.1 Índice de deterioro	62
5.3.2 Cambios en la acidez	68
5.3.3 Cambios en el contenido de sólidos solubles	71
5.3.4 Cambios en el pH	73
5.3.5 Cambios en la firmeza	76
5.3.6 Cambios en el contenido de ácido ascórbico	81
5.3.7 Cambios en el color	85
5.3.7.1 Luminosidad	85
5.3.7.2 Tono (°hue)	90
5.3.7.3 Croma	93
5.3.8 Pérdida de peso	96
5.3.9 Desprendimiento de jugo	101
5.3.10 Cambios en la respiración	105
5.3.11 Determinación de la actividad enzimática de Polifenol oxidasa y Peroxidasa	108
5.3.11.1 Actividad de la Polifenol oxidasa	108
5.3.11.2 Actividad de la Peroxidasa	114
5.4 Evaluación de los parámetros de calidad y microbiológicos del producto mínimamente procesado en estado de madurez 100% verde	118
VI. CONCLUSIONES	126
VII. RECOMENDACIONES	127
IX. REFERENCIAS	128

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla		Pág.
1	Clasificación taxonómica de la piña	7
2	Principales variedades de piña	10
3	Composición química de pulpa de piña (Contenido en 100 g de porción comestible)	12
4	Valor nutritivo promedio de la piña	13
5	Tratamientos postcosecha aplicados a la piña	14
6	Definiciones del procesamiento mínimo	17
7	Tratamientos de conservación de los productos mínimamente procesados	28
8	Clasificación de la luz ultravioleta	33
9	Factores que afectan a la calidad de los productos mínimamente procesados	36
10	Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas	37
11	Tratamientos aplicados a los octavos de piña	48
12	Composición química de la piña en estado de madurez 100% verde y 100% amarilla	58
13	Parámetros físicos y fisicoquímicos de la piña	59
14	Porcentaje de cada porción comestible y subproductos de la piña	61
15	Parámetros de calidad de octavos de piña 100% verde mínimamente procesados	119
16	Evaluación de la calidad microbiológica de octavos de piña 100% verde mínimamente procesada	120

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura		Pág.
1	Distribución de la producción mexicana de piña año 2008	6
2	Planta de piña	7
3	Inflorescencia de piña	8
4	Morfología general y anatomía de la piña	9
5	Esquema general de las operaciones de procesado en fresco de frutas y hortalizas	18
6	Recolección de la materia prima	19
7	Limpieza de la materia prima	21
8	Sistema de lavado	22
9	Peladora mecánica	24
10	Envasado en Atmósfera Modificada	26
11	Espectro electromagnético de radiación	32
12	Secuencia de ADN normal y modificado por luz UV	34
13	Envasado en Atmósfera Modificada Pasiva	35
14	Cuadro metodológico	44
15	Material biológico para experimentación	45
16	Selección y clasificación de piña para su estudio	45
17	Lavado (A), desinfección (B), descoronado (C) Y 2ª desinfección de los frutos (D)	46
18	Pelado (A), cortado (B) y troceado de la piña (C)	47
19	Inmersión de octavos de piña en tratamiento antioxidante (A), escurrimiento (B) y envasado (C).	47
20	Aplicación de tratamientos con irradiación UV-C	48
21	Diagrama de bloques para la elaboración de piña mínimamente procesada	49
22	Refractómetro manual	52
23	Potenciómetro manual	52
24	Penetrómetro manual	53
25	Colorímetro Minolta	54
26	Determinación de la respiración con analizador de gases	54
27	Espectrofotómetro	56
28	Análisis microbiológico de los octavos de piña	57
29	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el índice de deterioro del producto refrigerado mínimamente procesado	62
30	Efecto de la aplicación de agentes antioxidantes e irradiación UV-C en la calidad de octavos mínimamente procesados de piña 100% verde a 5°C y 85% HR	64
31	Efecto de la aplicación de agentes antioxidantes e irradiación UV-C en la calidad de octavos mínimamente procesados de piña 100% amarilla a 5°C y 85% HR	65
32	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la acidez del producto refrigerado mínimamente procesado	68



33	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en los sólidos solubles del producto refrigerado mínimamente procesado	71
34	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el pH del producto refrigerado mínimamente procesado	74
35	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la firmeza del producto refrigerado mínimamente procesado	77
36	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el contenido de ácido ascórbico del producto refrigerado mínimamente procesado	81
37	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la luminosidad del producto refrigerado mínimamente procesado	86
38	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el tono del producto refrigerado mínimamente procesado	90
39	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el croma del producto refrigerado mínimamente procesado	93
40	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la pérdida de peso del producto refrigerado mínimamente procesado	96
41	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el porcentaje de jugo desprendido del producto refrigerado mínimamente procesado	101
42	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la respiración del producto refrigerado mínimamente procesado	105
43	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la actividad residual de la polifenol oxidasa del producto refrigerado mínimamente procesado	109
44	Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la actividad residual de la peroxidasa del producto refrigerado mínimamente procesado	114



ABREVIATURAS

- °Bx:** Grados Brix
- 1-MCP:** 1-Metilciclopropeno
- AA-AC:** Ácido ascórbico-ácido cítrico
- AC:** Atmósferas controladas
- ADN:** Ácido desoxirribonucleico
- AM:** Atmósfera Modificada
- Aw:** Actividad de agua
- BPM:** Buenas Prácticas de Manufactura
- C₂H₄:** Etileno
- CaCl₂:** Cloruro de calcio
- EAM:** Envasado en Atmósferas Modificadas
- EDTA:** Ácido etilendiaminotetraacético
- FAO:** Food and Agriculture Organization
- ID:** Índice de deterioro
- m.o:** microorganismo(s)
- MAP:** Atmósfera Modificada Pasiva
- MCE:** Mancha Café Endógena
- MP:** Mínimamente procesado(a)s
- OMS:** Organización Mundial de la Salud
- pH:** Potencial de Hidrógeno
- PRMP:** Productos Refrigerados Mínimamente Procesados
- POD:** Peroxidasa
- ppm:** Partes por millón
- PPO:** Polifenol oxidasa
- UFC:** Unidades Formadoras de Colonia
- UV-C:** Radiación ultravioleta tipo C



Resumen



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo preservar la calidad de piña refrigerada mínimamente procesada utilizando tratamientos por irradiación ultravioleta (UV-C) que aumenten su vida útil y garanticen la inocuidad del producto.

Se trabajó con piña de la variedad 'Cayena lisa' procedente de Veracruz. Los frutos fueron seleccionados por color en dos estados de madurez 100% verde y 100% amarilla. Las piñas se lavaron, desinfectaron, descoronaron, se volvieron a desinfectar y se cortaron en rodajas de 1 cm de espesor. Posteriormente las rodajas se trocearon en ocho partes, tratándolas por inmersión con una solución antioxidante de ácido ascórbico (AA) y ácido cítrico (AC) en dos concentraciones 0.5 y 1%, durante 5 minutos. Se envasaron en charolas PET y se sometieron a irradiación UV-C por 3 y 10 minutos. El producto fue almacenado a 5°C durante 15 días y se le evaluaron: acidez titulable, sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$), pH, firmeza, vitamina 'C', color, pérdida de peso, desprendimiento de jugo, respiración, índice de deterioro y actividad enzimática. El análisis microbiológico del producto mínimamente procesado se realizó el primer y décimo día del almacenamiento.

El producto refrigerado mínimamente procesado en estado de madurez 100% verde liberó 50% menos líquido, que el elaborado con piñas 100% amarillas. Mientras que, la pérdida de peso fue menor al 2% para todos los tratamientos. La mayor firmeza se presentó para los productos de piña 100% verde. Sin embargo, no hubo cambios significativos en acidez titulable, sólidos solubles, pH, color y respiración. El producto elaborado a partir de piñas 100% amarillas presentó niveles superiores de vitamina 'C' que las piñas 100% verdes. Los hongos y levaduras fueron de 4100 UFC/g para los productos control y disminuyeron alrededor de 2.2 veces para el tratamiento 1% de AA/AC y 10 minutos de irradiación UV-C.

Se concluyó que la piña en estado de madurez 100% verde y tratada con solución de agentes antioxidantes al 1% y 10 minutos de irradiación UV-C fue la mejor condición para obtener piña cortada refrigerada lista para consumir.



Introducción



I. INTRODUCCIÓN

La piña es considerada como una de las frutas tropicales más exquisitas no sólo de México, sino del mundo, su cultivo ocupa el segundo lugar de importancia mundial después del plátano. En lo que respecta al año 2006 entre los principales países productores figuraron en orden de importancia: Tailandia (15%), Brasil (14%), Filipinas (10%), China (8 %), India (7%) y Costa Rica (7%). La República Mexicana ha ocupado por cerca de 20 años, el séptimo lugar mundial con un volumen de producción de 600,000 ton anuales de fruta fresca, de las cuales el 70% de la producción la aporta Veracruz, principalmente en la Cuenca Baja del Papaloapan; siguiéndole los Estados de: Oaxaca, Tabasco, Nayarit, Jalisco y Quintana Roo (Crespo, 2005; Díaz, 2004; FAO, 2005; IMA-SIPAN, 2007; SAGARPA-INIFAP, 2005).

Como todos los cultivos frutícolas antiguamente establecidos, se han producido innumerables variedades de piña por todo el mundo. Sin embargo, están reconocidos principalmente tres tipos de variedades: 'Las Spanish' de carne blanca, 'las Queens' y 'las Cayenne' con pulpa amarilla. De las variedades de piña que se cultivan en nuestro país, es decir, 'Cayena lisa', 'Criolla', 'Esmeralda' y 'Española roja', la principal es la 'Cayena lisa' (Crespo, 2005; CVCA, 2006; Lemoine y Solis, 1980; Ochse *et al.*, 1982; Rodríguez, 1980).

La piña ha sido considerada a través de los tiempos como el "rey de los frutos", no sólo por su gran belleza y espectacular presencia, sino por sus características organolépticas, cuyos valores la han situado como el más completo y de mejor sabor entre todos los frutos del mundo. Su consumo aporta propiedades digestivas debido a una enzima proteolítica que contiene, la cual es conocida como "bromelina", siendo un fruto altamente energético, muy rico en potasio y vitaminas (principalmente A y C), además de fibra (CVCA, 2006; INFOASERCA, 1996; Samson, 1992).

Entre los principales métodos de conservación de la piña, así como de otros frutos, se encuentran el empleo de atmósferas controladas, atmósferas modificadas, el uso de aditivos y recubrimientos, la utilización de radiaciones ionizantes y no ionizantes, bajas y altas temperaturas; la combinación de algunos de estos métodos ha derivado en la obtención de



productos con una mínima intervención los cuales se conocen como frescos cortados o mínimamente procesados.

Las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas, se definen como las preparadas mediante una o varias operaciones unitarias, tales como pelado, cortado en rodajas y/o fragmentación, asociadas a un tratamiento de conservación no definitivo que puede incluir el uso del calentamiento mínimo, un conservador o radiación, envasadas, conservadas, distribuidas y comercializadas en condiciones de refrigeración y listas para ser consumidas sin ningún tipo de operación adicional durante un periodo de vida útil de unos 7–10 días, según el producto y técnica de conservación utilizada. Este tipo de productos, además de ofrecer al consumidor un producto hortofrutícola u hortícola muy parecido al fresco con una vida útil prolongada, brinda otras ventajas como: su conveniencia por la facilidad de su preparación y consumo, por aprovecharse en su totalidad, debido a que los envases únicamente contienen producto comestible, muestran una buena calidad uniforme y consistente, a un precio razonable, facilitan el consumo de productos saludables, requieren poco espacio de almacenamiento y son fáciles de guardar (Ártes *et al.*, 2000; Lobo y González, 2003; Robles *et al.*, 2007; Wiley, 1997).

Sin embargo, en su forma fresca-cortada, los fenómenos de deterioro se incrementan significativamente disminuyéndose la calidad organoléptica y nutritiva. La rotura celular, producida durante las operaciones de elaboración, permite que las enzimas reaccionen con los sustratos y que se acelere los cambios en la calidad. Además de eso, los cortes y daños físicos permiten la contaminación, el incremento de la tasa respiratoria, modificaciones en el color, el sabor y la textura, así como aumento en la pérdida de humedad. Estas modificaciones son debidas a la desorganización celular promovida por los cortes, lo que aumenta la actividad enzimática y resulta en la aparición de reacciones indeseables, como la formación de pigmentos oscuros, cambios en la coloración y pérdida de la firmeza por la acción de enzimas (Hernández *et al.*, 2007; González - Aguilar, 2007; Souza *et al.*, 2007).

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 tan solo el 0.6% fue consumido como mínimamente procesado. Sin embargo, esto representa una tendencia a



consumir dichos productos, ya que el consumidor esta cada vez más consiente de la importancia de consumir frutos y vegetales ya que nos proporcionan más del 90% de vitamina 'C', son excelentes fuentes de fibra, vitaminas y minerales (González-Aguilar *et al.*, 2004).

Productos de piña cortada en fresco son ya comercializados en supermercados y cadenas de distribución de alimentos en otros países, pero muy pocos estudios han sido publicados con respecto a las condiciones óptimas para mantener la calidad de estos productos (Marrero y Kader, 2006).

Tomando en cuenta las consideraciones hechas con anterioridad y con el interés de proponer nuevas alternativas para el uso de una fruta tropical de tan extraordinarias características organolépticas, como lo es la piña, el objetivo del presente trabajo es preservar la calidad de piña mínimamente procesada lista para el consumo, utilizando tratamientos por irradiación ultravioleta (UV-C) que aumenten su vida útil y garanticen la inocuidad del producto.



Antecedentes



II. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de la piña

2.1.1 Origen

Originaria de Centro y Suramérica, algunos autores la ubican entre la cuenca superior del Paraná, esto entre Brasil, Paraguay y Argentina (EARTH, 2004).

La piña es conocida en México desde tiempos prehispánicos, los indígenas de nuestro país llamaban a esta fruta “Matzatlí” y los de la región del Caribe “Anana”, que en lengua guanára quería decir “fruta exquisita” (Díaz, 2004; SAGARPA-INIFAP, 2005; Rodríguez, 1980).

Los españoles se encontraron por primera vez con este fruto en el año de 1493, en la isla de Guadalupe, bautizando tan distinguido alimento con el nombre de “piña” por su gran parecido, con el fruto de los pinos (Díaz, 2004; Lemoine y Solis, 1980).

La fruta fue introducida en Europa durante la colonización española. A principio del siglo XVIII, se logran los primeros cultivos en Holanda e Inglaterra y poco a poco se extienden por casi toda Europa, empleando en muchos lugares invernaderos con el fin de adecuar la temperatura y así facilitar su cultivo (CEI-RD, 2006; IICA, 2004).

En el siglo XIX, sus cultivos se propagaron por Australia, Sudáfrica y Hawai (IICA, 2004).

2.2 Importancia económica

La piña es el segundo cultivo tropical de importancia mundial después del plátano aportando más del 20% del volumen mundial de frutos tropicales. A nivel mundial la producción se inicia desde año 1500 cuando se propagó por Europa y se distribuyó en las regiones tropicales del resto del mundo (FAO, 2005).

Este fruto tiene amplia adaptación en las regiones tropicales y se cultiva en diversos países, aunque en algunos de ellos la superficie cultivada y la producción son insignificantes, a pesar



de su condición de tropical. La gran producción mundial de esta fruta se ha concentrado en unos cuantos países (Sánchez y Caraveo, 1996).

2.2.1 Producción mundial

En el año de 2006, la producción mundial de piña fue de 18, 181,616.90 toneladas. Ubicándose Tailandia como el principal productor de este fruto con el 15% de la producción mundial siguiéndole en orden de importancia Brasil (14%), Filipinas (10%), China (8%), India (7%) y Costa Rica (7%) (IMA-SIPAN, 2007).

La India junto con Nigeria, Costa Rica, México, Kenya e Indonesia son algunos de los países restantes que producen las mayores cosechas de piña (IMA-SIPAN, 2007; FAO, 2005).

2.3 Producción de piña en México

2.3.1 Distribución nacional de la producción

En la República Mexicana los volúmenes de producción se concentran en cinco estados: Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Nayarit y Jalisco los cuales reúnen el 99% de la superficie sembrada y cosechada. Es precisamente en los dos primeros estados, donde se ubica la principal zona productora de piña, conocida como la zona del Bajo Papaloapan o Cuenca del Papaloapan, en dicha zona se encuentran los principales municipios piñeros, que concentran el 89.7% de la producción de piña (CEFP, 2002; Martner *et al.*, 2005).

Los municipios que forman parte de esta región son:

- a) Medellín, Alvarado y Tlaxiucoyan, pertenecientes al Distrito de Desarrollo Rural de Veracruz. Así como Villa Isla, Juan Rodríguez Clara, Villa Azueta y Chacaltianguis, que pertenecen al Distrito de Desarrollo Rural de Los Tuxtlas, en el estado de Veracruz.
- b) Loma Bonita y Tuxtepec, que se ubican en el Distrito de Desarrollo Rural de Tuxtepec, en el estado de Oaxaca (CEFP, 2002).

Otra zona importante es el municipio de Huimanguillo, Tabasco, que tiene una participación considerable de la producción nacional (CEFP, 2002).



2.3.2 Estructura de la producción

La mayor producción de piña en nuestro país se logra durante el primer semestre del año, concentrándose el mayor volumen durante los meses de mayo y junio, mientras que la etapa de menor producción se presenta desde mediados de julio hasta noviembre y de acuerdo a las condiciones climáticas se llega a extender hasta diciembre (CEFP, 2002; Crespo, 2005; Landaverde, 1941).

Para el año 2008 la producción mexicana de piña fue de 685 mil 805 toneladas, distribuyéndose principalmente en cinco estados, encontrándose en orden de importancia Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Nayarit (Fig. 1) (SIAP-SAGARPA, 2008).

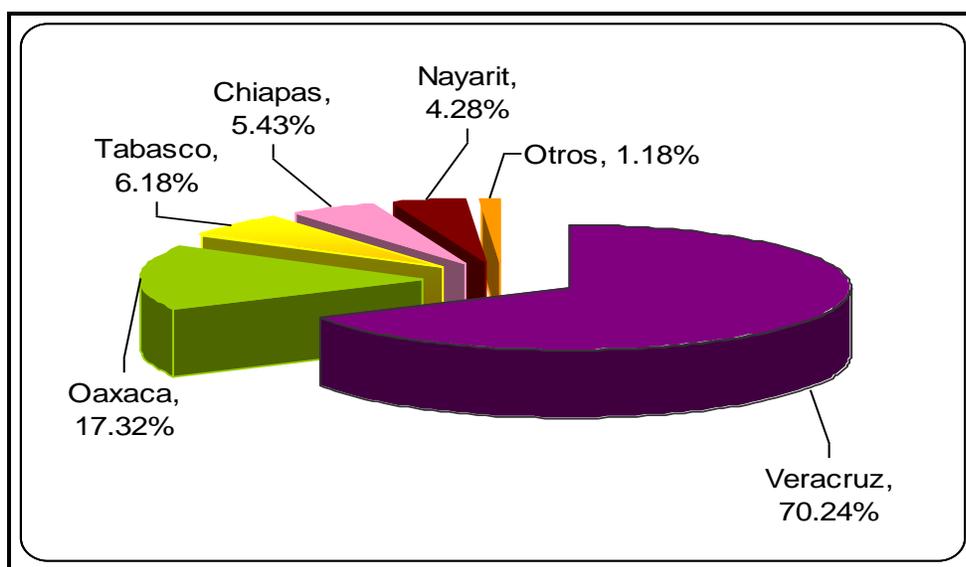


Figura 1. Distribución de la producción mexicana de piña año 2008

Fuente: Elaborado con información de SIAP-SAGARPA (2008)

De las variedades de piña que se cultivan en el país, es decir, 'Cayena lisa', 'Criolla', 'Esmeralda' y 'Roja española', la principal es la 'Cayena lisa', siendo los principales estados productores de esta variedad los estados de Veracruz, Oaxaca, Nayarit y Jalisco, de los cuales Veracruz ha ocupado el primer lugar en los últimos cinco años con una superficie cosechada de 9,708 hectáreas y una producción de de 356,473 toneladas para el año 2005 (CVCA, 2006).



2.4 Aspectos fisiológicos de la piña

2.4.1 Clasificación taxonómica

De acuerdo con la FAO la clasificación taxonómica de la piña es la que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la piña.

Categoría	Grupo
Reino	Vegetal
Clase	Angiosperma
Subclase	Monocotiledonea
Orden	Farinosae
Familia	Bromeliaceae
Género	<i>Ananas</i>
Especie	<i>Comosus</i>

Fuente: FAO (2005).

2.4.2 Descripción botánica y morfológica



Figura 2. Planta de piña

La planta. Es vivaz con una base formada por la unión compacta de varias hojas formando una roseta (Fig. 2). De las axilas de las hojas pueden surgir retoños con pequeñas rosetas basales, que facilitan la reproducción vegetativa de la planta (CVCA, 2006).

Tallo. Crece longitudinalmente después de 1-2 años, el cual forma un pedúnculo grueso de 30–60 cm de altura, con un ancho de 6.5 cm en la base y 3.5 cm en el centro. La piña se forma como una inflorescencia en la parte superior del tallo (Castañeda, 2003; CVCA, 2006; Ochse *et al.*, 1982).

Hojas. Son espinosas, miden 30-100 cm de largo, presentan una forma cóncava, lo cual permite que la planta recolecte agua en la roseta para su absorción a través de la epidermis.



El color de las hojas puede presentar varios tonos en función del cultivar, aunque en general domina el color verde, rojo y púrpura. Las hojas están compuestas de un polvo blancuzco que las protege de la pérdida de agua (Castañeda, 2003; COVECA, 2002; CVCA, 2006).



Figura 3. Inflorescencia de piña
Fuente: AGRONET (2005)

Las flores. De color rosa, azul, violeta y tres pétalos, crecen en las axilas de unas brácteas apuntadas, de ovario hipógino (Fig. 3). Son numerosas y se agrupan en inflorescencias en espiga de unos 30 cm de longitud y de tallo engrosado (CVCA, 2006).

El fruto. La piña es un fruto múltiple, compuesto de 100 o más flores fusionadas; de forma alargada o cilíndrica, posee una corteza escamosa y leñosa, formada por las hojillas secas y las partes florales externas, a modo de nódulos pentagonales o hexagonales, adherida a la carne (cada ojo o nódulo es un pequeño fruto). Los frutos de piña alcanzan la madurez necesaria para cosecharse, cuando el color en la base de la corteza empieza a ceder o a volverse amarillo-anaranjado. Las piñas son frutas no climatéricas por lo que se les debe cosechar cuando están listas para consumirse. Un contenido mínimo de sólidos solubles de 12% y una acidez máxima de 1% asegurarán un sabor mínimo aceptable a los consumidores (Díaz, 2004; INFOAGRO, 2007; Ochse *et al.*, 1982).

Sobre la infrutescencia se encuentra situada una corona compuesta por numerosas y amplias hojas, que los productores suelen reducir y acortar su tamaño natural para hacerle más comercial evitando con ello un peso inútil para su ulterior transporte (INFOAGRO, 2007).

El interior del fruto desde la corona hasta el pedúnculo está constituido por un corazón leñoso que es el eje sobre el que se fusionan todos los frutos (Fig. 4). La pulpa es de color blanco o amarillento, dulce o ligeramente acidúlenla según el cultivar (Díaz, 2004).

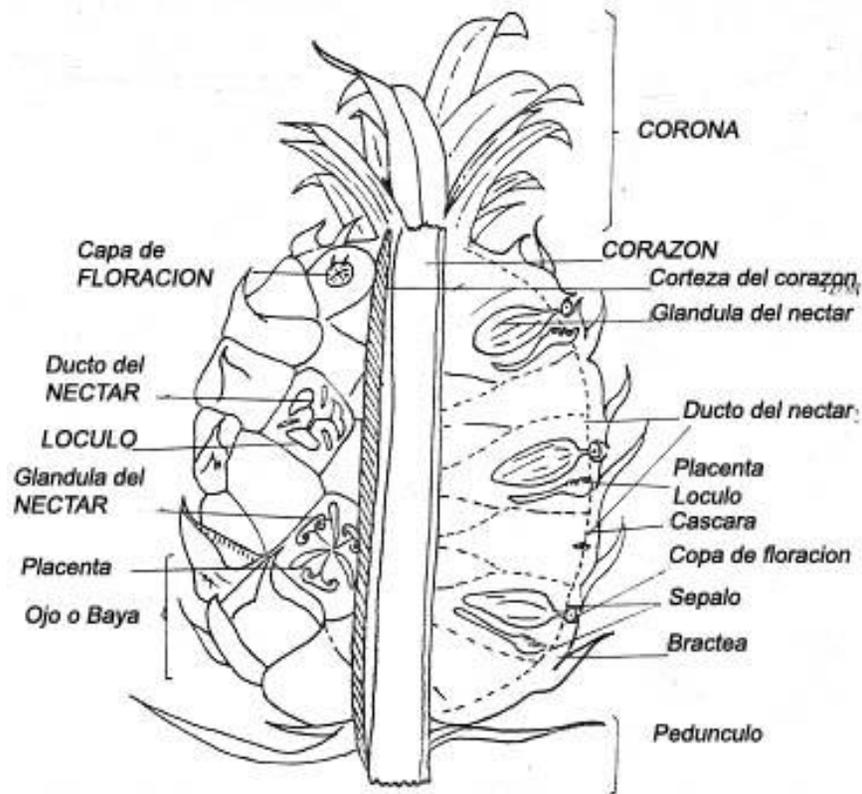


Figura 4. Morfología general y anatomía de la piña

Fuente: Lemoine y Solís (1980)

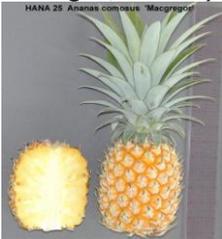
2.4.2.1 Variedades

Como todos los cultivos frutícolas antiguamente establecidos, se han producido innumerables variedades de piña por todo el mundo, para su consumo doméstico. Sin embargo, solo están reconocidos tres tipos principales de variedades: Las Queens y las Cavenne con pulpa amarilla y las Spanish de carne blanca. Unos cuantos de los miembros más importantes de estos grupos, junto con una breve descripción se indican en la Tabla 2 (Ochse *et al.*, 1982).



ANTECEDENTES

Tabla 2. Principales variedades de piña.

Variedad	Fruto	Pulpa	Observaciones
A. Queens			
Abakka (Abachi, Abacaxi) 	Piramidal, las hojas de la corona son hojas ligeramente espinosas, su peso promedio oscila entre 1.4–1.8 llegando a alcanzar hasta 2.7 Kg.	De sabor rico y dulce.	—
Natal Queen (MacGregor, Queen) 	Su peso promedio se encuentra entre 0.45 y 0.9 Kg. aunque puede llegar a pesar hasta 1.6 Kg	De color amarillo dorado, con un alto contenido de azúcar de 14–18 °Bx con aroma notorio y sabor delicioso pero no tan jugosa.	Posee fuerte tolerancia al estrés, plagas, enfermedades, etc., sin embargo es susceptible al frío y al oscurecimiento interno.
Eleuthera (Pernambuco, Perola) 	La piel del fruto cuando madura es de color amarillo naranja, con ojos profundos y forma cilíndrica, el fruto es pequeño (de 0.9 a 1Kg).	Tiene un alto contenido de azúcar (13-16 °Bx) y ácido ascórbico.	El fruto es muy fuerte resiste a la sequía, piojo arenoso, nemátodos y al transporte, sin embargo es altamente sensible a la fusariosis.
B. Cayenne			
Smooth Cayenne (Cayenne lisa) 	Grandes, cilíndricos, su peso promedio de 2.3 a 3.6 Kg; las hojas son de tamaño variado, de color verde oscuro anchas y largas sin espinas con manchas pardas rojizas.	De sabor excelente, el color de la pulpa va del amarillo pálido al dorado con un alto contenido de azúcar (13 a 19 °Bx)	La mejor de todas para el enlatado, el fruto es vulnerable a plagas y enfermedades.



ANTECEDENTES

Tabla 2. Principales variedades de piña (continuación).

Variedad	Fruto	Pulpa	Observaciones
C. Spanish			
	Los frutos tienen un peso promedio de 0.7 a 0.9 Kg.	De las más dulces y de mejor sabor.	Mala para embarcar y difícil de manejar.
Red Spanish 	Redondo de color amarillo anaranjado, las hojas de la corona son largas, estrechas y espinosas, su peso promedio va de 0.9 a 1.4 Kg.	Ácida, de aroma penetrante, con un contenido medio de azúcar (12 °Bx).	Excelente para embarcar pero de segunda clase, no es especialmente buena para el enlatado.

Fuente: información recopilada a partir de Díaz (2004); FAO (2005); IICA (2004); Lemoine y Solís (1980); Ochse et al. (1982); Rodríguez (1980); Velasco (1986).

2.4.2.2 Principales plagas y enfermedades del cultivo de piña

a) Ataque por plagas

Las pérdidas anuales ocasionadas por plagas en el cultivo de piña ascienden a sumas muy considerables. Principalmente la afectan algunas especies de insectos, tanto de forma directa, como por ser vectores de enfermedades; la cochinilla harinosa, el gusano barrenador del fruto (tecla), los roedores y otros agentes constituyen un peligro potencial (Castañeda, 2003).

b) Enfermedades del fruto

La presencia y proliferación de las enfermedades en la piña causadas por mohos, bacterias y virus tienen un efecto determinante sobre el rendimiento y costos de producción. Entre las principales enfermedades que afectan al fruto se encuentran la Antracnosis, pudrición negra del fruto, pudrición café, Encarecimiento o Mancha Café Endógena (MCE) y podredumbre parda de las bayas (Castañeda, 2003).



2.5 Composición química y valor nutritivo

a) Composición química

La piña como la mayoría de los frutos tiene un alto contenido de humedad (80-85%), su porcentaje de sólidos totales se considera elevado con un total de 12.3% pudiendo tener un valor máximo de 18.5% y un mínimo de 7.5% constituidos principalmente por glucosa (2.32%), fructuosa (1.42%) y sacarosa (7.89%). Los carbohidratos representan hasta el 85% de los sólidos totales y la fibra del 2-3% (FAO, 2007; Rodríguez, 1980; Samson, 1992; Velasco, 1986). Los ácidos predominantes constituyen el 0.6% (de los cuáles 87% es ácido cítrico, el resto es ácido málico), la pulpa se caracteriza por la presencia de bajas cantidades de cenizas, compuestos nitrogenados y grasa en 0.1%. Del 25-30% de los compuestos nitrogenados corresponden a la proteína. De esta proporción casi el 80% tiene actividad enzimática proteolítica conocida como bromelina (FAO, 2007; Samson, 1992).

La composición de la piña ha sido investigada en su porción comestible por varias instituciones, sin embargo, los rangos que se reportan tienen un grado de variación debido principalmente a que existen múltiples factores como los climáticos, agronómicos y estado fisiológico, que afectan el contenido de cada componente en el fruto (Cipriano, 1995; FAO, 2007). En la Tabla 3 se muestra la composición química promedio de la pulpa de la piña.

Tabla 3. Composición química de pulpa de piña.
(Contenido en 100g de porción comestible)

Compuesto	%
Humedad	90
Proteínas	0.62
Grasa	0.12
Fibra dietética	0.39
Carbohidratos	8.37
Cenizas	0.50

Fuente: FAO (2007)



b) Valor nutritivo de la piña

La piña es un fruto altamente energético, y que almacena una gran mayoría de las vitaminas (en su mayoría A y C). La vitamina 'C' contenida varía de 8-30 mg /100 g (Tabla 4) (Díaz, 2004; Samson, 1992).

El consumo de este fruto aporta propiedades digestivas debido a una enzima proteolítica que contiene, la cual es conocida por 'bromelina', está enzima aunque no posee valor nutritivo alguno tiene numerosas propiedades, como son: ayuda a digerir las proteínas, mejora la digestión y destruye a los parásitos intestinales. Sin embargo, la 'bromelina' se desactiva con la temperatura, por lo que es difícil que esté presente en la piña conservada o enlatada, que han sido sometidas a la acción del calor (Díaz, 2004; IICA, 2004).

Tabla 4. Valor nutritivo promedio de la piña.

Compuesto (mg)	Cantidad
Potasio	113
Calcio	35
Fósforo	7
Hierro	0.5
Vitamina A	12
Tiamina	0.09
Riboflavina	0.04
Niacina	0.40
Vitamina 'C'	15

Fuente: FAO (2007)

2.6 Métodos de conservación de la piña

La magnitud de las pérdidas en postcosecha tanto cuantitativas como caritativas han sido estimadas para la piña fresca, entre un 5 a un 25% en países avanzados y de un 20 a un 50% en países en vías de desarrollo, siendo esto referido con respecto a su envío y llegada al mercado de destino (Salunkhe y Kadam, 1995).



ANTECEDENTES

En la Tabla 5 se indican algunos de los principales métodos de conservación postcosecha aplicados a los frutos de piña, con el fin de minimizar la pérdida de la calidad y alargar la vida útil de los frutos.

Tabla 5. Tratamientos postcosecha aplicados a la piña.

Tecnología	Condiciones	Efecto
Vapor de agua	-	Se utiliza para la desinfección de los frutos
Tratamiento con calor	Almacenamiento de los frutos con un 20% de color amarillo a $T = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ por $t = 6$ días y posterior almacenamiento a $T = 37^{\circ}\text{C}$ por $t = 24$ h	Reducción del oscurecimiento interno en los frutos y disminución de pérdidas después de la refrigeración.
Atmósferas controladas (AC)	Concentraciones: 3-5% O_2 y 5-8% CO_2	Los beneficios de la AC incluyen retraso de la senescencia y reducción de la tasa de respiración, aumentando su vida postcosecha 2-4 semanas a 10°C dependiendo del cultivar y grado de madurez. Debe de evitarse la exposición a concentraciones de O_2 inferiores al 2%, y/o de CO_2 superiores al 10% ya que pueden desarrollarse olores desagradables.
	Concentraciones: 20–21% O_2 , 0.3% CO_2 , 79% N_2 $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Se emplea durante el almacenamiento temporal o prolongado, para retrasar la senescencia y el retardo de los procesos fisiológicos, reduce la incidencia y severidad del manchado por pardeamiento interno.
Recubrimiento de la superficie	-	La piña se trata con cera para impedir que se marchite, además su aplicación ayuda a controlar la mancha parda endógena que es una enfermedad fisiológica.
Encerado	Frutos cubiertos con cera comercial marca Prolong a concentración de 0.5 y 1.5%	A temperatura de almacenamiento los frutos de piña retardaron algunos cambios relativos al proceso de maduración en dos semanas con respecto a los productos almacenados a temperatura ambiente, alargándose en consecuencia su periodo de comercialización.



Tabla 5. Tratamientos postcosecha aplicados a la piña (continuación).

Tecnología	Condiciones	Efecto
Encerado	—	Se aplica para modificar las concentraciones internas de O ₂ y CO ₂ de la fruta en forma suficiente como para reducir la incidencia y severidad del daño por frío. Además de controlar la deshidratación, maduración y mejorar la apariencia de los frutos de piña.
Reguladores del crecimiento	Inmersión de la fruta en solución de 100 ppm de ácido 2,4,5-T Triclorofenoxiacético (2,4,5-T)	Extensión de la vida útil del fruto de 6–14 días cuando la fruta es almacenada a temperatura ambiente. Esta hormona funciona como un inhibidor de la senescencia del fruto.
	Solución de 500 ppm de 2,4,5-T	Extensión de la vida útil del fruto de 12–30 días a 21 °C.
Refrigeración	T = 10-13°C (50-55°F) para piñas parcialmente maduras	La exposición de las piñas a temperaturas inferiores a 7°C puede producir daño por frío ("chilling injury") pudiéndose presentar síntomas tales como: desverdizado de la cáscara inapropiado, áreas translucidas o de apariencia acuosa en la pulpa, oscurecimiento del tejido del corazón, mayor susceptibilidad a pudriciones, marchitamiento y pérdida de color de las hojas.
	T = 7-10°C (45-50°C) para piñas maduras.	
	HR = 85–90%	
Fungicidas	T = 7 – 13 °C, HR = 85–90 %	Disminución del crecimiento de microorganismos patógenos y reducción de la desecación del producto, sin causar daño por frío ("chilling injury").
	-	Se aplican después del lavado para el control de enfermedades.
Irradiación gamma	Dosis de 50 krad, T = 7.2–12.8 °C, H.R. = 90%	Extienden la vida útil de las piñas, sin embargo los efectos incluyen cambios físicos y químicos en las características organolépticas de la fruta.

Fuente: Elaborado a partir de información obtenida de Cipriano (1995); Hernández *et al.* (2006); INFOAGRO (2007); Pérez *et al.* (1997); Ruiz-Cruz y González-Aguilar (2004); Salunkhe y Kadam (1995).



2.7 Productos Refrigerados Mínimamente Procesados (PRMP)

2.7.1 Definición

Los productos refrigerados mínimamente procesados son productos pertenecientes a la IV Gama de la alimentación, los cuales son denominados así por venir dentro de la secuencia histórica de tratamiento y presentación de los productos hortofrutícolas, tras los tradicionales productos frescos (I Gamma), las conservas (II Gamma), y los congelados (III Gamma) (Lobo y González, 2003).

Existen numerosos términos para referirse a esta clase de productos como: dispuestos para consumir o utilizar, precortados, frescos cortados o recién cortados, dependiendo del país o área en que se elaboren, sin embargo, de acuerdo con Lobo y González (2003), en el presente trabajo se referirá a ellos como mínimamente procesados, debido a que este término denota de forma fidedigna su modo de preparación.

Los productos procesados en fresco aparecieron en el mercado de EE.UU. a mediados de los años 70, para satisfacer la necesidad de los restaurantes de comida rápida y de los denominados bares de ensaladas. El producto básico fue la lechuga, al que se le exigía una supervivencia comercial de 3 a 4 días. Hacia 1980 se inicio su consumo en Europa, comenzando por Suiza y Alemania para, a mediados de esa década, extenderse a Inglaterra, Francia, Países Bajos e Italia. En España comenzaron a parecer a partir de la década pasada. En estas fases incipientes de su desarrollo comercial en Europa se les exigió una vida comercial entre 4 y 7 días, para atender las exigencias de la distribución en instituciones y consumos colectivos (comedores de empresas y organismos públicos) (Artés-Calero y Artés-Hernández, 2008).

En los 90's se sugiere ampliar el mercado mediante la producción de frutas frescas listas para consumir (Teullado *et al.*, 2005). En la Tabla 6 se presentan algunas definiciones relativas al procesado mínimo en fresco de productos vegetales.

**Tabla 6.** Definiciones del procesamiento mínimo.

Autores	Año	Definición
Rolle y Chism	1987	Incluye todas las operaciones (lavado, selección, pelado, cortado, etc.) que deben de realizarse antes de someter al producto vegetal a un procesado convencional que lo mantenga vivo.
Wiley	1994	Productos que contienen tejidos vivos o que han sufrido modificaciones insignificantes respecto a su condición de alimentos frescos, pero que conservan su calidad y carácter similar a los frescos.
Ohlsson	1994	Elaborados con procedimientos que causan los menores cambios posibles en la calidad del alimento (que mantiene la apariencia de fresco) y al mismo tiempo le provee suficiente vida útil para su transporte desde la producción hasta el consumidor.
Cantwell	1996	Vegetales cortados en fresco a baja temperatura acondicionados para la venta mediante tratamientos suaves que modifican la presentación del tejido fresco (partido, rallado, pelado, lavado, etc.), encaminados a mantener la calidad inicial y la frescura.
Ártes <i>et al.</i>	2000	Elaborados bajo refrigeración con vegetales, aplicando tratamientos suaves que facilitan su consumo. Están constituidos por tejidos vivos, conservan sus atributos sensoriales y valor nutritivo similares al fresco, y se mantienen refrigerados en atmósferas modificadas.
Robles	2007	Cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco.

Fuente: Modificado de Lobo y González (2003)

2.7.2 Principales operaciones unitarias en el procesamiento de frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas deben de someterse a una serie de operaciones desde su recolección en el campo hasta que llegan a manos del consumidor (Horticom, 2008). En la Figura 5 se muestran las principales operaciones involucradas en la elaboración de frutas y vegetales procesadas en fresco.

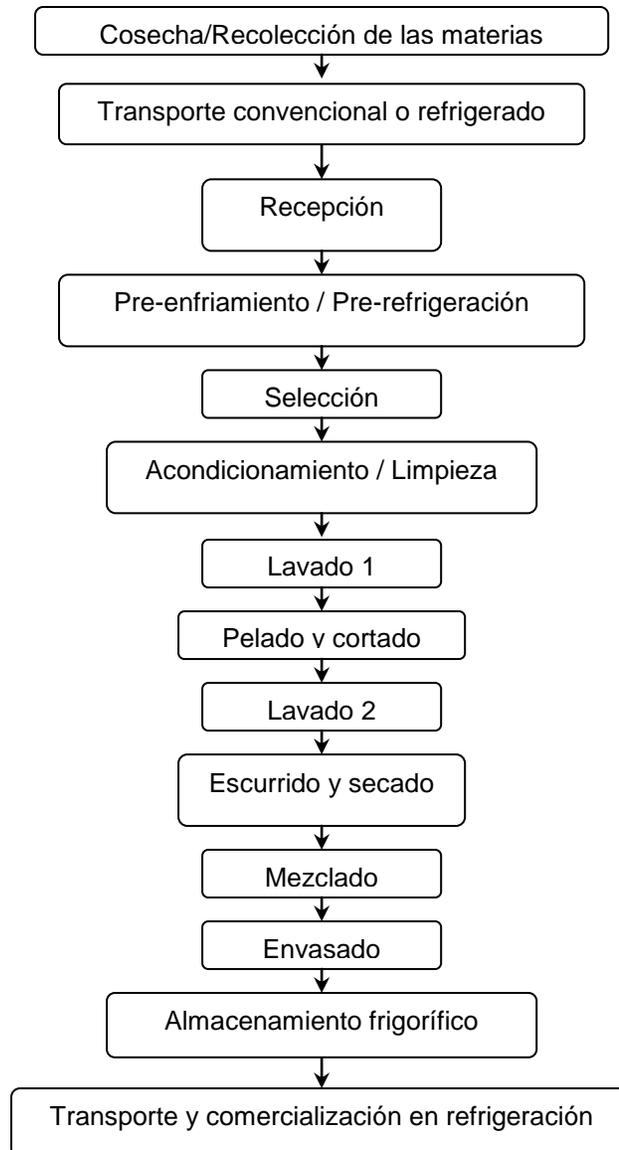


Figura 5. Esquema general de las operaciones de procesado en fresco de frutas y hortalizas

Fuente: Elaborado a partir de datos obtenidos de Pérez et al. (2002); Lobo y González (2003)

1. **Cosecha y/o recolección.** Para garantizar la seguridad alimentaria al consumidor, la producción de cualquiera de las frutas y hortalizas dispuestas para el procesado mínimo debe de llevarse a cabo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrícolas (Lobo y González, 2003).



Figura 6. Recolección de la materia prima

La recolección de los productos hortofrutícolas (Fig. 6) se puede realizar de manera mecánica como manual, esta operación debe de llevarse a cabo en condiciones de higiene óptimas, cuidando que las frutas y hortalizas estén sanas y sin defectos, minimizando al máximo los daños mecánicos, puesto que la rotura de la parte superficial del tejido facilita la entrada de microorganismos y cuerpos extraños en el alimento.

La cosecha se realiza a la temperatura lo más baja posible (durante la noche o primeras horas de la mañana) ya que es más favorable para mantener la calidad de la frutas y hortalizas durante la manipulación y el almacenamiento (González-Aguilar *et al.*, 2005; Horticom, 2008; Teullado *et al.*, 2005; Wiley, 1997). La recolección de los frutos frecuentemente se realiza antes de alcanzar la plena madurez organoléptica, ya que de este modo la textura del fruto es mas firme y se producen menos daños mecánicos en la manipulación (Lobo y González, 2003; Horticom, 2008; Teullado *et al.*, 2005).

- 2. Transporte.** En el transporte de productos hortofrutícolas debe de utilizarse contenedores que eviten cualquier daño mecánico de los productos entre si o por el contacto producto–contenedor, por corrimiento de la carga, shock, sobrepeso y vibraciones. El transporte a la industria debe de realizarse en condiciones higiénicas que impidan posibles contaminaciones microbiológicas y en el menor tiempo posible, en remolques o en camiones pequeños a temperatura ambiente, cuando la distancia recorrida es corta, o en camiones frigoríficos si dura varias horas (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González 2003; Teullado *et al.*, 2005; Wiley, 1997).
- 3. Recepción.** Los productos a procesar se suelen recibir en la industria directamente del campo, donde se ha efectuado una selección previa. En esta etapa se efectúa un control de calidad (sólidos solubles, acidez titulable, pH, color, textura, peso, longitud, diámetro, índice de madurez, etc.) sobre muestras tomadas aleatoriamente, para lo



que la industria deberá de disponer de un laboratorio idóneo (Lobo y González, 2003).

- 4. Pre-enfriamiento.** Los productos se pre-enfrían para reducir en minutos o en un par de horas la temperatura de campo y el calor que se genera a consecuencia de la respiración, hasta 2-5 °C (González-Aguilar *et al.*, 2005; Wiley, 1997). El pre-enfriamiento debe de efectuarse lo más rápidamente posible puesto que constituye un paso importante en la obtención de un producto final de calidad, ya que permite ralentizar los procesos metabólicos y reducir el proceso de la senescencia y el desarrollo de daños y alteraciones, además de impedir el desarrollo y multiplicación de microorganismos patógenos (Horticom, 2008; González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003; Teullado *et al.*, 2005).

En el caso de algunas frutas es conveniente realizar un pre-acondicionamiento o curado, que es mantener el producto a una temperatura moderada durante un periodo de tiempo antes de almacenarlo a bajas temperaturas, es eficaz para prevenir la alteración por el frío (Wiley, 1997). Así mismo, puede convenir efectuar uno o varios lavados de las materias primas, con agua ligeramente clorada, para eliminar la tierra, suciedad, plagas, restos de plaguicidas y otros materiales extraños, además de disminuir la carga microbiana (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003).

El pre-enfriado puede realizarse en el campo o en el almacén sobre el producto a granel, en cajas paletizadas o en contenedores de transporte. Esta operación se realiza mediante (1) aire forzado, (2) agua, (3) aire y agua (enfriamiento por pulverización de una fina niebla combinado con aire forzado) o (4) vacío; según proceda. El producto se introduce en una cámara frigorífica adecuada, según las exigencias de temperatura (generalmente entre 0 y 5°C), humedad relativa y sensibilidad al etileno, donde suele permanecer unas horas o hasta que se introduce en la línea de procesado (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003; Teullado *et al.*, 2005; Wiley, 1997).



5. **Selección / Clasificación.** El objetivo de la selección y clasificación es asegurar la homogeneidad y calidad de la materia prima de manera que esta posea las mejores aptitudes al procesamiento al que posteriormente va a ser sometida. La materia prima ha de seleccionarse desde dos puntos de vista: la variedad dentro de cada especie y el estado de madurez (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003).

La homogeneidad de la materia prima se consigue separando toda fruta u hortaliza que no presente uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, peso o presencia de daño mecánico o microbiológico. La selección se realiza comúnmente en mesas de selección cuya función es transportar lentamente a la fruta u hortaliza sobre rodillos giratorios donde los trabajadores pueden visualizar fácilmente algún defecto (Lobo y González, 2003).

6. **Acondicionamiento / Limpieza.** En el acondicionamiento se procede a eliminar la parte del producto no comestible (hojas, pedúnculos, etc.), normalmente esta operación se realiza a mano, con cuchillos muy afilados que deben de higienizarse periódicamente por inmersión en un desinfectante (González-Aguilar *et al.*, 2005).



Fig 7. Limpieza de la materia prima

Fuente: Afhorla (2009)

La limpieza busca la eliminación de los materiales extraños adheridos a la piel, como lo son restos de tierra, mohos, bacterias, insectos, pesticidas y residuos de fertilizantes de las frutas y hortalizas así como procedentes de los contenedores y equipos, esta operación implica separación de materiales ligeros de los pesados mediante gravedad, flotación, inmersión separación, escurrido y otros (Fig. 7) (Teullado *et al.*, 2005; Wiley, 1997).

El uso de agua implica la añadidura de algún desinfectante como hipoclorito sódico en una concentración de 100 a 150 ppm) (Teullado *et al.*, 2005).



7. **Lavado 1.** El lavado tiene como finalidad que el producto quede libre de restos de tallos, hojas o tierra que pudieran encontrarse adheridos a su superficie (Fig. 8). Esta operación se hace generalmente en una línea aislada con restricción de entradas, de forma que el contacto humano con los productos esté limitado (González-Aguilar *et al.*, 2005; Wiley, 1997).

El producto se lava con agua entre 1 y 5 °C con hipoclorito sódico (entre 50 y 150 ppm) y, en su caso, ácido cítrico o ascórbico o algunas de sus sales (entre 250 y 300 ppm), para regular el pH a valores entre 6.5 y 7.5, rango en el que la eficacia bactericida del cloro es óptima. Estando solo autorizados como aditivos químicos para productos procesados en fresco, con límites diferentes según los países, el ácido ascórbico y sus derivados, el ácido cítrico y los cloruros de sodio y potasio (Lobo y González, 2003).



Figura 8. Sistema de lavado

Fuente: Silveira (2009)

El producto se sumerge en un baño donde se mantiene burbujeándole aire a través de una boquilla, esta turbulencia permite la eliminación de prácticamente todas las trazas de tierra y sustancias extrañas sin producir magulladura del producto. Para el lavado de los productos también se utilizan duchas a presión, cadenas de arrastre, tambores rotatorios o lavadores vibratorios (Lobo y González, 2003; Wiley, 1997).



El producto lavado pasa a una balsa de enjuague, también de acero inoxidable con agua desprovista de cloro y a igual o inferior temperatura (1–2 °C), combinada o no con duchas, para eliminar los restos de aditivos químicos. Es importante asegurar que no queden más de 5 ppm de cloro activo como residuo. El consumo aproximado de agua de lavado y de enjuague suele ser de 6 a 12 L/Kg de producto (Lobo y González, 2003).

En esta etapa del proceso, el agua constituye un elemento esencial en la calidad de los productos, por lo que su calidad (microbiológica y sensorial) y procedencia deben de tomarse en cuenta. Básicamente en el lavado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se controlan tres parámetros (González-Aguilar *et al.*, 2005; Wiley, 1997):

- i. Cantidad de agua utilizada: 5–10 L/Kg de producto
- ii. Temperatura del agua: 4 °C para enfriar el producto
- iii. Concentración de cloro activo: 100 mg/L

Generalmente para la cloración de las aguas de lavado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se utilizan fundamentalmente los hipocloritos de calcio y sodio. Los hipocloritos sódicos se expenden como líquidos, mientras que el hipoclorito cálcico se comercializa en forma de polvo (Wiley, 1997).

- 8. Pelado y cortado.** Estas operaciones forman parte del proceso de elaboración del producto hortofrutícola mínimamente procesado y tienen una influencia determinante en la calidad del producto fresco cortado; deben de llevarse a cabo produciendo los mínimos daños que sea posible, con el fin de reducir al máximo las consecuencias fisiológicas, bioquímicas y microbiológicas que implican (Lobo y González, 2003).

El pelado se refiere a la eliminación de la capa más externa de la fruta u hortaliza (Fig. 9); para llevar a cabo esta operación no están autorizados ácidos, álcalis o sales, ni elevadas temperaturas (Wiley, 1997; Lobo y González, 2003).



El cortado o reducción de tamaño de los productos se refiere a los procedimientos que cortan o fraccionan las frutas y hortalizas en trozos más pequeños y uniformes dándole un tamaño y forma definida (Wiley, 1997).

Para realizar esta operación las frutas y hortalizas se hacen llegar en bandas transportadoras o de forma centrifuga, a las cuchillas en acero inoxidable de corte, dispuestas en posición horizontal o vertical que giran a gran velocidad (Lobo y González, 2003; Wiley, 1997).

Las cortadoras generalmente operan con cuatro tipos de fuerzas: (1) compresión, (2) impacto, (3) rozamiento y (4) corte. Los productos hortofrutícolas frescos se cortan en rodajas, en cubitos y en tiras (Wiley, 1997).

Con las operaciones de pelado y cortado se acelera la respiración y se provocan daños mecánicos (se ponen en contacto las enzimas con los sustratos dando lugar a reacciones bioquímicas), el tejido vegetal se ablanda y aumenta la probabilidad de contaminación microbiana, por tal motivo con el fin de reducir al máximo estos efectos indeseables, se aconseja que la temperatura del producto se mantenga como máximo a 4 °C (Lobo y González, 2003).

- 9. Lavado 2.** Los lavados después del pelado y del corte eliminan parte de los microorganismos y de los fluidos celulares, lo que incide positivamente en la reducción del crecimiento microbiano y de las oxidaciones enzimáticas posteriores durante el almacenamiento de los productos procesados. El agua debe de tener las condiciones higiénicas adecuadas para su aplicación y su temperatura debe de ser preferiblemente inferior a los 4 °C en cantidad de unos 3 L/Kg de producto. Esta agua de lavado debe servir como vehículo de los tratamientos antioxidantes, que no deben de afectar al aroma ni al sabor del producto, ni perjudicar su seguridad (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003). Están permitidos el ácido ascórbico y



Figura 9. Peladora mecánica

Fuente: Silveira (2009)



sus sales, y el ácido cítrico y sus sales, hasta una dosis máxima de 300 ppm (Wiley, 1997).

La etapa de lavado y aplicación de los tratamientos es la única del proceso capaz de reducir la carga microbiana del producto, por lo que es una fase crítica para el mantenimiento óptimo de la calidad de los productos procesados (González-Aguilar *et al.*, 2005). Una vez aplicados los tratamientos, el producto se lava en una balsa de enjuague con agua a 1-2 °C desprovista de cloro para eliminar los restos de aditivos químicos (González-Aguilar *et al.*, 2005).

10. Ecurrido y secado. El escurrido final permite eliminar el exceso de agua del lavado y envasar el producto seco, factor muy importante para prolongar la vida útil del producto fresco cortado (González-Aguilar *et al.*, 2005; Horticom, 2008; Lobo y González, 2003).

Tras el escurrido se efectúa el secado, que se lleva a cabo por centrifugación semiautomática (lo más frecuente) o automática. El secado del producto depende de la velocidad y tiempo de rotación de la centrifuga, siendo suficiente para la mayoría de los productos, pocos minutos de centrifugación (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003; Wiley, 1997).

Es importante que estas condiciones se seleccionen de forma cuidadosa ya que esta operación solo debe de eliminar el exceso de agua y no provocar daños en los tejidos; además de las centrifugas se pueden utilizar otros equipos para eliminar el exceso del agua de la superficie del producto como lo son tambores de escurrido, parecidos a los tamices rotatorios (González-Aguilar *et al.*, 2005).

El escurrido y el secado del producto hortofrutícola son etapas muy importantes en el procesado ya que prolongan la vida del producto hortofrutícola mínimamente procesado (González-Aguilar *et al.*, 2005).



11. Mezclado. Algunos productos frescos cortados se comercializan mezclados, como es el caso de las ensaladas, por lo que es importante asegurar la homogeneidad de la mezcla. El mezclado en el procesado de frutas y hortalizas tiene como objetivo asegurar una mezcla uniforme de variedades de producto seco la cual se conduce mediante elevadores de cangilones hasta la pesadora–asociadora electrónica. En ella, un microprocesador establece en cada instante la combinación óptima de unas celdas de pesado, para alcanzar el peso programado para el envase (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003; Wiley, 1997).

El mezclado de las frutas y/o hortalizas, según sea el caso se lleva a cabo después de que cada uno de sus componentes hayan seguido el tratamiento adecuado a sus características (González-Aguilar *et al.*, 2005).

Envasado. Es una zona crítica en la cadena de procesado, en donde se utilizan procedimientos asépticos (Wiley, 1997). Esta etapa es decisiva en el procesamiento mínimo, ya que lo que se busca es prolongar la conservación del producto y asegurar la inocuidad del alimento al consumidor. El envasado se puede realizar en atmósfera modificada (EAM) activa o pasiva, generalmente en flujo continuo (“flow pack”) vertical para bolsas, y horizontal para barquetas o tarrinas o cuencos (“bolw”) (Fig. 10) (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003).



Figura 10. Envasado en atmósfera modificada

Fuente: Silveira (2009)



Los materiales de envasado están constituidos por polímeros plásticos de características idóneas y uso alimentario para cada producto. Debe prestarse especial atención a la permeabilidad de los gases permanentes en el aire ya que de ello (y de la intensidad respiratoria del producto) dependerá la atmósfera modificada en el interior del envase (Lobo y González, 2003). Una vez envasado, el producto tiene que permanecer durante toda la cadena de distribución hasta su consumo en refrigeración. Comercialmente el rango de temperatura más frecuente es entre 4 y 7 °C (Lobo y González, 2003).

12. Almacenamiento. El almacenamiento refrigerado durante la distribución y venta al por menor es una etapa necesaria y exigible en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Esto se basa en que las temperaturas de refrigeración lentifican el crecimiento de la mayoría de los microorganismos y son eficaces para reducir la actividad enzimática (Wiley, 1997).

2.7.3 Tratamientos de conservación de los productos refrigerados mínimamente procesados

Para intentar disminuir los efectos indeseables, inherentes al procesado mínimo, es necesario el empleo de ciertas técnicas que nos aseguren la estabilidad y durabilidad del producto durante su comercialización. Los tratamientos de conservación más utilizados, para extender la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados se resumen en la Tabla 7. Son tratamientos: *a)* químicos, usos de aditivos alimentarios sintéticos y naturales así como coadyuvantes alimentarios, *b)* físicos, entre los que se pueden destacar las radiaciones ionizantes y no ionizantes, el uso de atmósferas modificadas y la utilización de bajas temperaturas de almacenamiento (González-Aguilar *et al.*, 2005; Quevedo-Preciado *et al.*, 2005; Wiley, 1997).



Tabla 7. Tratamientos de conservación de los productos mínimamente procesados.

Tratamientos químicos		Tratamientos físicos
-	Inhibidores del oscurecimiento enzimático	Radiaciones Ionizantes
* Antioxidantes	<ul style="list-style-type: none"> Sulfito, metabisulfito Ácido ascórbico Ácido eritórbico Ácido isoascórbico 4-Hexilresorcinol 	Radiaciones UV-C Atmósferas modificadas Refrigeración
* Correctores de acidez	<ul style="list-style-type: none"> Ácido cítrico Ácido málico 	
* Secuestrantes	<ul style="list-style-type: none"> Ácido cítrico EDTA 	
* Aminoácidos	<ul style="list-style-type: none"> L-cisteína N-acetilcisteína 	
* Agentes de recubrimiento		
-	Texturizantes	
	<ul style="list-style-type: none"> Sales de calcio Diluciones salinas 	
-	Higienizantes	
	<ul style="list-style-type: none"> Cloro: gas, hipoclorito Peróxido de hidrógeno Ácido peroxiacético Ozono 	
-	Conservantes	
	<ul style="list-style-type: none"> Ácido benzoico Ácido sórbico 	
-	Reductores de actividad de agua	
-	Controladores del etileno	
	<ul style="list-style-type: none"> 1-Metilciclopropeno 	

Fuente: Modificado de González-Aguilar *et al.* (2005)



2.7.3.1 Tratamientos químicos

a) Aplicación de inhibidores del oscurecimiento enzimático. Entre los tratamientos químicos, destacan los inhibidores del oscurecimiento enzimático que evitan la aparición del pardeamiento (González-Aguilar *et al.*, 2005).

Sin embargo de los varios inhibidores conocidos, sólo algunos son aceptables en términos de seguridad y costo; los de uso más frecuente son los ácidos ascórbico y cítrico. El ácido ascórbico y sus derivados, solo o combinado con ácido cítrico, es ampliamente utilizado en el pre-tratamiento de frutas peladas y rebanadas. El ácido ascórbico posee la capacidad de reducir las quinonas a compuestos fenólicos, antes de que estas formen pigmentos oscuros, mientras que el ácido cítrico inactiva a la enzima PPO de algunas frutas y hortalizas al disminuir el pH del sistema a un valor inferior a tres; además forma un complejo con el cobre ubicado en el grupo prostético y así bloquea el sitio activo de la enzima (Quevedo-Preciado *et al.*, 2005). Aparte de el ácido ascórbico y cítrico también se utilizan los ácidos eritórbito e isoascórbico y el 4-Hexilresorcinol (González-Aguilar *et al.*, 2005).

Otro grupo de aditivos que actúa frente al pardeamiento son los correctores de acidez y los secuestrantes de metales, ya que inhiben la actividad de la polifenoloxidasas (PPO). Así mismo aminoácidos como la L-cisteína y la N-acetilcisteína presentan efectos antipardeamiento (González-Aguilar *et al.*, 2005).

b) Aplicación de agentes de recubrimiento. La aplicación de agentes de recubrimiento o películas comestibles impiden el acceso de la polifenoloxidasas (PPO) al oxígeno, inhibiendo el pardeamiento enzimático. Estas consisten en combinaciones de lípidos, polisacáridos y/o proteínas a los que se añaden agentes plastificantes para mejorar su flexibilidad. Las películas comestibles deben de poseer una permeabilidad selectiva a los distintos gases de lo contrario se pueden producir condiciones anaeróbicas en el interior del producto que pueden conducir al deterioro de su calidad. En general, los recubrimientos comestibles protegen al alimento fresco cortado del deterioro microbiano y disminuyen las pérdidas de agua por transpiración (González-Aguilar *et al.*, 2005).



- c) Empleo de sales de calcio.** La pérdida de la firmeza, es un cambio muy evidente del deterioro de la calidad de los productos mínimamente procesados. Para evitar este ablandamiento, se aplican tratamientos estabilizantes compuestos principalmente por sales de calcio como el cloruro de calcio (CaCl_2). De igual forma, el empleo de otras sales de calcio, como el lactato, tartato o propionato y disoluciones salinas, se encuentra ampliamente extendido para prevenir o disminuir cambios de textura en productos mínimamente procesados (González-Aguilar *et al.*, 2005).
- d) Higienizantes.** Los higienizantes previenen la contaminación microbiana y/o eliminan los microorganismos ya presentes en los productos. El cloro, tanto en su forma gaseosa o como hipoclorito sódico, es uno de los desinfectantes más utilizado para la desinfección de productos hortofrutícolas mínimamente procesados, debido a su bajo coste y facilidad de uso. El hipoclorito sódico se añade al agua de lavado a una concentración entre 50-150 $\mu\text{L/L}$, y su efectividad está en función del pH. Sin embargo el cloro puede reaccionar con la materia orgánica formando productos como cloroformo y trihalometanos, que son compuestos tóxicos para el hombre, llegando incluso a ser cancerígenos; algunos productos tratados con cloro, incluso a bajas concentraciones pueden desarrollar olores y sabores extraños. Existen otras alternativas químicas para la higienización de los productos cortados como lo son el uso de peróxido de hidrógeno, ácido peroxiacético y ozono (González-Aguilar *et al.*, 2005).
- e) Reductores de Actividad de agua (A_w).** La utilización de baños en jarabes de sacarosa concentrados disminuye la actividad de agua del producto haciendo que éste sea menos susceptible a la acción perjudicial de los microorganismos (González-Aguilar *et al.*, 2005). Sin embargo, la disminución de la A_w como procedimiento de conservación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas debe de controlarse cuidadosamente para conservar la frescura demandada en estos productos (Wiley, 1997).

Existen pocas aplicaciones sobre el uso de la reducción de A_w en frutas y hortalizas mínimamente procesadas debido a los problemas adversos en las características de frescura de los productos (sobre todo consistencia y turgencia), por lo que este método de conservación no se utiliza mucho en esta clase de productos y probablemente no se



mantenga con un futuro prometedor a causa de la pérdida del estado de frescura (Wiley, 1997).

- f) Controladores del etileno: 1-Metilciclopropeno.** Los efectos fisiológicos naturales causados por la liberación del etileno (C_2H_4) en productos mínimamente procesados, cuando no son controlados, causan pérdida de calidad y reducción de la vida útil de los mismos. Una de las alternativas para controlar la acción de este gas es la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) (González-Aguilar *et al.*, 2005).

El 1-MCP es un gas que bloquea la acción del etileno al ligarse a su receptor en la membrana, éste retrasa la maduración por la inhibición competitiva de los receptores del etileno. De manera general, los efectos más observados: retención de la firmeza y color, reducción y/o retraso en la actividad y en la producción de etileno, menor pérdida de materia fresca, mayor reducción en la síntesis de compuestos volátiles, y menor susceptibilidad a desórdenes fisiológicos (González-Aguilar *et al.*, 2005).

2.7.3.2 Tratamientos físicos

Entre los tratamientos físicos que se pueden utilizar para la conservación de los productos hortofrutícolas cortados en fresco están las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes con luz ultravioleta (UV) tipo C. Estos tratamientos reducen la carga microbiana e inactivan las enzimas responsables del deterioro de los productos (González-Aguilar *et al.*, 2005).

- a) Radiaciones ionizantes.** La radiación ionizante es un tipo de radiación cuya energía es capaz de originar cambios químicos en la materia irradiada equiparables a los de cualquier otro método de conservación de alimentos, sin que se altere físicamente la apariencia, forma ni temperatura del producto (Rodríguez *et al.*, 2002). La energía radiante emitida produce ionizaciones (rupturas y pérdida de la “estabilidad” de los átomos y/o moléculas) en el alimento con el que interacciona; a este proceso se le denomina “efecto primario”. Como consecuencia del efecto primario (desestabilización) se deriva un “efecto secundario” en el cual aparecen iones y radicales libres que se



combinan entre sí o con otras moléculas para formar sustancias químicamente estables ajenas a la composición inicial del producto (Ordoñez *et al.*, 2004; Herrero y Romero, 2006; Nutrinfo, 2000).

En el caso de los productos mínimamente procesados la radiación gamma es la más ampliamente aplicada y estudiada; está radiación en el espectro de radiación electromagnética se sitúa en la zona de altas frecuencias y energías.

b) Radiaciones UV-C. El uso de la luz UV-C como técnica de conservación de productos alimenticios se conoce desde principios del siglo pasado y muchos han sido los estudios sobre su efecto en el crecimiento de microorganismos (González-Aguilar *et al.*, 2005).

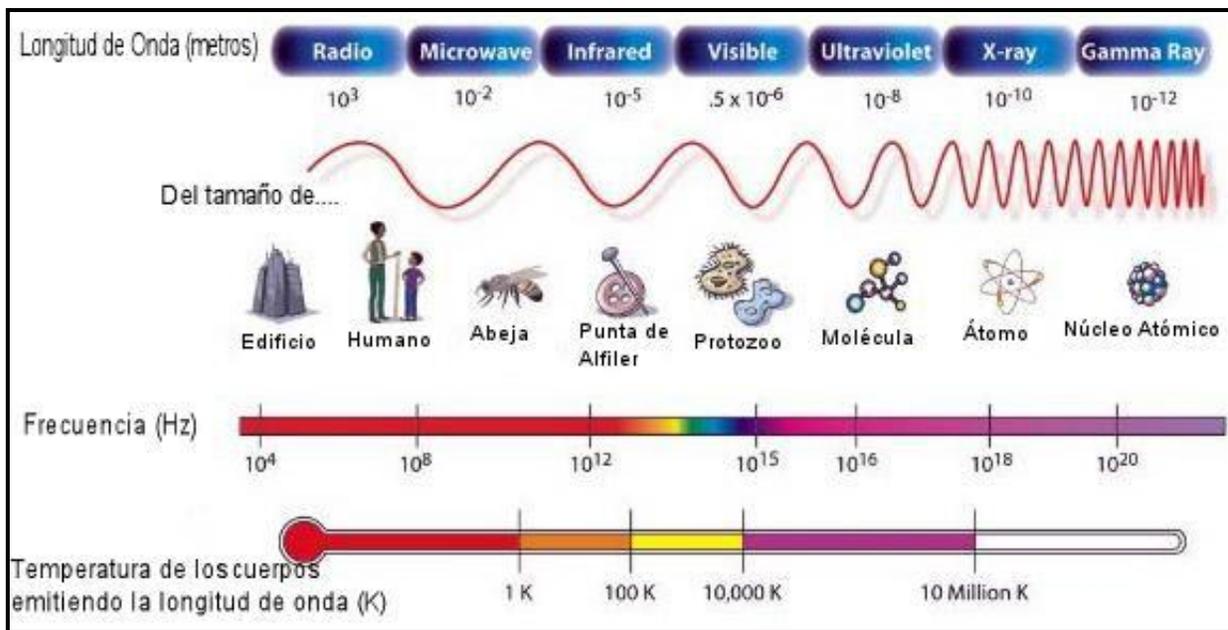


Figura 11. Espectro electromagnético de radiación

Fuente: SETI (2008)

La luz ultravioleta es parte de la región no ionizante del espectro electromagnético de radiación, está situada entre las bandas de rayos X y la luz visible (Fig. 11), con longitudes de onda que van desde los 100 hasta los 400 nm, clasificándose con fines



prácticos como se muestra en la Tabla 8 (Díaz y Serrano, 2008; González-Aguilar *et al.*, 2005).

Tabla 8. Clasificación de la luz ultravioleta.

Tipo	Longitud de onda (nm)
Luz UV de onda corta (UV-C)	100 – 280
Luz UV de onda media (UV-B)	280 – 315
Luz UV de onda larga (UV-A)	315 – 400

Fuente: Elaborado a partir de información obtenida de Rivas (2009).

La radiación UV-C es, de las tres, la que mayor acción germicida posee, debido a que su pico de emisión se encuentra a 254 nm punto en el cual proporciona la máxima efectividad germicida, inactivando los cinco principales grupos de microorganismos -virus, bacterias, mohos, algas, y protozoos- (Díaz y Serrano, 2008; González-Aguilar *et al.*, 2005).

El modo de acción de la radiación UV-C reside en el daño que la irradiación provoca en el ADN microbiano, es decir, cuando estos organismos se exponen a la radiación UV, ésta penetra la pared celular llegando hasta el núcleo donde se encuentra la información genética afectándose las bases púricas y pirimídicas de los ácidos nucleicos del ADN.

La luz crea un enlace covalente con las moléculas de tiamina adyacentes, creando un estado conocido como un dímero de tiamina, bloqueando de esta forma las posteriores replications de ADN. Si el daño en el ADN no es reparado, se produce la muerte celular (Fig. 12) (Adams y Moss, 1997; Díaz y Serrano, 2008; González-Aguilar *et al.*, 2005, Pérez, 2008).

En general la resistencia a la irradiación UV-C sigue el siguiente patrón: bacterias Gram-negativas < bacterias Gram-positivas < levaduras < esporas bacterianas < mohos < virus (Maris, 2008).

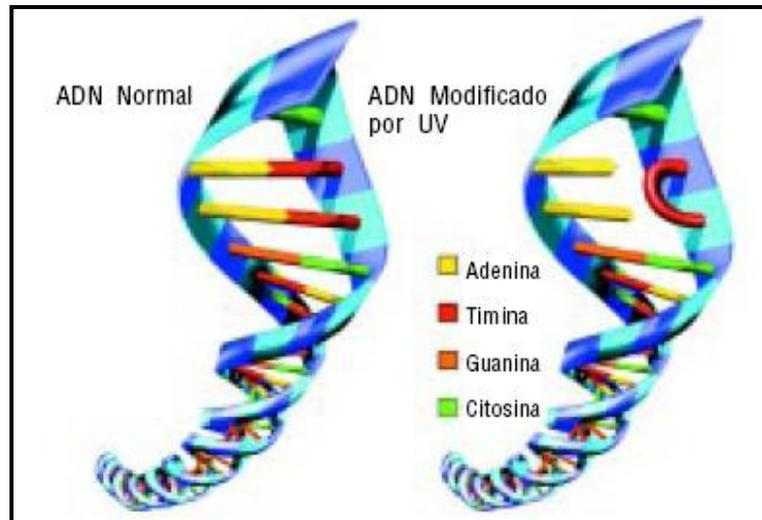


Figura 12. Secuencia de ADN normal y modificado por luz UV

Fuente: Díaz y Serrano (2008)

En el caso de los productos mínimamente procesados, se ha observado una reducción de la alteración con dosis pequeñas de irradiación UV-C debidas al desarrollo de mecanismos de resistencia basados en la acumulación de compuestos antifúngicos. Por lo tanto, la irradiación UV-C actúa directamente causando daño en las células bacterianas, e indirectamente estimulando mecanismos de defensa de los productos hortofrutícolas (González-Aguilar *et al.*, 2005).

La irradiación UV-C ofrece varias ventajas ya que no deja residuos en el producto y es letal para la mayoría de los microorganismos, el equipamiento no resulta caro y no esta sujeto a restricciones legales. Sin embargo, de momento la irradiación ultravioleta solo esta siendo utilizada de forma general en la industria de zumos, para la desinfección de aguas o para higienizar las superficies de contacto con los productos alimenticios (González-Aguilar *et al.*, 2005).

c) Atmosferas Modificadas. El envasado bajo atmosfera modificada (AM) se considera después de la disminucion de la temperatura del producto, la etapa determinante para establecer la vida comercial de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas. El



envasado bajo AM implica la modificación de la atmósfera en el entorno del alimento dentro del envase, para prolongar la vida útil del mismo.

Esta modificación se produce por la acción conjunta del producto hortofrutícola (el cual respira) que consume el oxígeno presente en el aire produciendo dióxido de carbono y vapor de agua, y el intercambio de gases con la atmósfera exterior del envase a través del film, de forma que se establece un equilibrio dinámico a través de la película, hasta que se alcanza una atmósfera estacionaria (Brody, 1996; González-Aguilar *et al.*, 2005). La modificación de la atmósfera en el interior del envase puede realizarse de dos formas:

i) Envasado en Atmósfera Modificada Pasiva (MAP). Consiste en envasar el producto en una película plástica de permeabilidad adecuada (Fig. 13).

Durante su permanencia en el envase, entre el producto (que respira) y el entorno en que se encuentra el envase (aire), se establece un equilibrio dinámico a través de la película, hasta que se alcanza un equilibrio entre la concentración de O_2 y CO_2 y se consigue una atmósfera en equilibrio. En este tipo de envasado es importante la selección del film, por lo que es necesario conocer la actividad respiratoria del producto a conservar, la composición óptima de la atmósfera para su conservación y las características de permeabilidad del plástico a esa temperatura (García *et al.*, 1995; Lobo y González, 2003).



Figura 13. Envasado en Atmósfera Modificada Pasiva

ii) Envasado en Atmósfera Modificada Activa. Implica la colocación del producto en un envase permeable a los gases, evacuación del aire y sustitución mediante una corriente con una mezcla preseleccionada de los gases O_2 , CO_2 y N_2 seguido de un rápido cierre del envase (Horticom, 2008). El envasado con modificación activa de la atmósfera puede incluir la incorporación de ciertos aditivos en el envase o contenedor para modificar el medio ambiente interno y prolongarla vida media del producto. Estos aditivos pueden ser



absorbedores de oxígeno, dióxido de carbono o etileno o bien emisores de dióxido de carbono o vapores de etanol y la utilización de agentes antimicrobianos como el CO (Horticom, 2008; García *et al.*, 1995).

La utilización del envasado en atmósferas modificadas de frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas disminuye la actividad respiratoria, conserva los componentes nutricionales reduce la pérdida de peso, retrasa la maduración y el ablandamiento, y puede minimizar la incidencia de oscurecimiento y daño por frío del producto (González-Aguilar *et al.*, 2005; Quevedo-Preciado *et al.*, 2005).

d) Refrigeración. La refrigeración como método de conservación minimiza la pérdida de humedad en los alimentos, inhibe el crecimiento de los microorganismos por la disminución de las velocidades de reacción del metabolismo de los mismos y reduce la formación de mohos (Warren y Thomas, 1992; Rodríguez *et al.*, 2002). La eficacia de este método de conservación radica en su aplicación continua desde el momento en que se somete a él producto hasta aquél en que el consumidor lo va a consumir (Sánchez, 1998).

2.7.4 Causas de deterioro de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados

La vida útil de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados depende en gran medida de los factores intrínsecos y extrínsecos que afecta su calidad comercial y organoléptica (Lobo y González, 2003). En la Tabla 9 se muestran los principales factores que atañen a esta clase de productos y se da una breve explicación de la importancia de su consideración.

Tabla 9. Factores que afectan la calidad de los productos mínimamente procesados.

Factores intrínsecos	Factores extrínsecos
Respiración. Al seguir respirando el producto la atmósfera se modifica por la acumulación de CO ₂ .	Recolección. Si se lleva a cabo demasiado pronto el producto hortofrutícola mínimamente procesado no tendrá la calidad deseada, sin embargo, si se realiza más tarde la vida media será más corta.



Tabla 9. Factores que afectan la calidad de los productos mínimamente procesados (continuación).

Factores intrínsecos	Factores extrínsecos
Producción de etileno. Acelera la maduración del producto.	Manipulación. El mal manejo del producto puede traer consigo pérdidas en la calidad del mismo.
pH. Condiciona el desarrollo de microorganismos de alteración y patógenos.	Higiene. Evitando que se produzcan contaminaciones, se consigue aumentar la vida del producto.
Actividad de agua (Aw). Si es elevada constituye un medio ideal para el crecimiento de microorganismos.	Temperatura. El desarrollo microbiano aumenta exponencialmente con la temperatura y la duración de la vida. Humedad. La pérdida de humedad del producto lleva al deterioro de la calidad, en tanto que condensación de agua en el interior del envase es un medio favorable para el desarrollo de microorganismos.
	Envase. Determina el equilibrio de la atmósfera del envase con el producto.

Fuente: Elaborado a partir de información recopilada de García et al. (1995); Lobo y González, (2003).

2.7.5 Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Las principales alteraciones que afectan negativamente a la calidad y seguridad de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, son las que se presentan en la Tabla 10 (Horticom, 2008; Teullado et al., 2005).

Tabla 10. Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

Tipo de deterioro	Características
Pérdida de agua	En la operación de pelado y de cortado aumenta la superficie de contacto de la fruta con el ambiente y, por tanto, se incrementa la pérdida de agua, y por tanto la pérdida de peso del producto.

**Tabla 10.** Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (continuación).

Tipo de deterioro	Características
Pardeamiento enzimático	El oscurecimiento es uno de los problemas más importantes que se produce en las frutas y hortalizas MP y una de las causas más importantes de la pérdida de su calidad. Este deterioro perjudica la aceptación sensorial, la calidad comercial, ocasiona malos olores, reduce el valor nutrimental de frutas y hortalizas al destruirse vitaminas A, C, D, o E; y acorta la vida útil de los mismos. El oscurecimiento enzimático se presenta en la superficie de corte y heridas, es causado por la acción de la enzima polifenoloxidasas (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.
Ablandamiento	Las operaciones de pelado y troceado de los productos vegetales pueden provocar pérdidas muy significativas en la firmeza de los tejidos. Las enzimas pectinolíticas y proteolíticas que se difunden como consecuencia de la ruptura celular provocada en el troceado del producto, pueden difundirse en el interior del tejido y provocar ablandamiento. Esta difusión de los enzimas de degradación de las paredes celulares puede tener lugar a velocidades muy elevadas dependiendo del tipo de tejido y del proceso. Sin embargo, el ablandamiento en los trozos de frutos, puede ser también, debido a los cambios físicos y químicos de los tejidos.
Alteraciones microbianas	El crecimiento de los microorganismos se ve favorecido por la ruptura de las paredes celulares en las operaciones como el pelado, cortado, troceado, laminado, etc., y la consiguiente liberación de nutrientes al exterior. Los géneros y especies, así como la cantidad de microorganismos presentes en los PMP varía con la fruta y hortaliza de que se trate, las prácticas de cultivo y la higiene durante la manipulación y procesado, siendo clave el correcto manejo de la temperatura. Las frutas de la IV gama suelen almacenarse a temperaturas inferiores a 5°C, donde no se desarrollan bacterias mesófilas, pero sí psicrófilas como <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> , constituyendo un riesgo en productos mínimamente procesados comercializados a bajas temperaturas. Otros géneros como <i>Pseudomonas sp.</i> y <i>Erwinia sp.</i> , que no se consideran peligrosos para el consumidor, son más habituales en productos procesados en fresco, provocando la llamada podredumbre blanda bacteriana.

**Tabla 10.** Alteraciones en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (continuación).

Tipo de deterioro	Características
Sabores y aromas extraños	Los productos procesados en fresco son habitualmente envasados en bolsas de polímeros plásticos de permeabilidad selectiva al CO ₂ y O ₂ , donde se genera una AM activa o pasiva. Cuando la atmósfera de equilibrio no es la adecuada, puede producirse el desarrollo de sabores o aromas extraños, resultantes del metabolismo fermentativo o debido a los agentes antiparadeantes.

Fuente: Elaborado a partir de Artés et al. (2000); González-Aguilar et al. (2005); Horticom (2008); Lobo y González (2003); Quevedo-Preciado et al. (2005); Teullado et al. (2005); Villegas-Ochoa et al. (2005); Wiley (1997).

2.7.6 Ventajas y desventajas del procesado mínimo

Así como otros alimentos los productos hortofrutícolas mínimamente procesados presentan diversas ventajas y desventajas que se presentan a continuación:

Ventajas de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados:

- Presentan características casi idénticas a las de los productos de los que proceden.
- Contienen exclusivamente productos naturales.
- Muestran una buena calidad uniforme y estable.
- Facilitan el consumo de productos saludables, pues se trata de productos frescos ricos en nutrientes.
- Requieren poco espacio de almacenamiento y son fáciles de guardar.
- Están dispuestos para el consumo inmediato.
- El aprovechamiento es óptimo generando pocos o ningún residuo al ser generalmente comestibles en su totalidad.
- No se generan residuos orgánicos, debido a que los envases únicamente contienen al producto comestible (Artés et al., 2000; Lobo y González, 2003; Viña y Chávez, 2005).



Desventajas de los productos hortofrutícolas mínimamente procesados:

- Al consumidor le preocupa que no siempre cumplen las normas de seguridad microbiológica.
- En ocasiones el precio es elevado para economías modestas.
- Se pueden llegar a producir variaciones en la calidad y vida útil sobre lo esperado.
- Exigen estrictos requerimientos higiénicos y sanitarios.
- Resulta imprescindible una gran calidad (en especial aroma, sabor y valor nutritivo) del producto original, lo que no siempre se consigue.
- Es fundamental que los productos se procesen y comercialicen bajo condiciones refrigeradas
- Necesitan un riguroso control de la temperatura durante toda la vida comercial (Artés *et al.*, 2000; Lobo y González, 2003).

2.7.7 Legislación para los productos mínimamente procesados

Bajo el programa conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias, la Comisión del Codex Alimentarius ha elaborado el Código Internacional Recomendado de Prácticas–Principios Generales de los Alimentos, que constituye una sólida base para garantizar un control eficaz de la inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta el consumidor, y resalta los controles esenciales de cada etapa mediante las BPM incorporadas en los Códigos de Prácticas del Codex (González-Aguilar *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista legislativo, hay varios aspectos que deben de regularse en este tipo de productos. La seguridad microbiológica del alimento y su trazabilidad son esenciales para mantener la inocuidad del mismo y reaccionar a tiempo en caso de que se produzca alguna alarma sanitaria. En nuestro país desafortunadamente no existe una normatividad que regule los aspectos higiénico-sanitarios de esta clase de productos

En España existen disposiciones y códigos de buenas prácticas de fabricación concernientes a las condiciones que deben de cumplir los productos mínimamente procesados; dichas



normativas están reguladas en el Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene, elaboración, distribución y comercialización de comidas preparadas, entre otros conceptos establece la necesidad de mantener la cadena de refrigeración ininterrumpidamente, desde la distribución hasta el punto de venta. Debe de constar en la etiqueta del producto, la fecha de caducidad y la temperatura a respetar, que será establecida bajo responsabilidad del fabricante y donde la vida comercial dependerá de la temperatura de almacenamiento, transporte y venta (Lobo y González, 2003). Asimismo esta normativa recomienda una vida útil para los productos mínimamente procesados igual o menor a 7 días; y establece que el producto terminado debe de ser inspeccionado periódicamente para asegurar que este libre de microorganismos patógenos y que mantenga adecuadamente las características organolépticas e higiénicas, hasta el final de la vida útil del producto (Lobo y González, 2003).

Con lo que respecta a los límites mínimos y máximos permisibles para el recuento de microorganismos indicadores de la calidad microbiológica de los alimentos mínimamente procesados no existe una norma en México y en la legislación Europea, que regule los límites máximos tolerados de bacterias en esta clase de productos. En Francia el límite máximo está establecido en 107 UFC/g, siendo 104.7 UFC/g a nivel de producción y de 107.7 UFC/g a nivel del consumidor (Teullado *et al.*, 2005).

En España, el Real Decreto 3484/2000 establece los límites que deben de cumplir las comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos. En el recuento total de aerobios mesófilos, en la cual para una muestra de 5 unidades, solo dos de ellas pueden tener un valor de entre 105 y 106 UFC/g en el día de fabricación y entre 106 y 107 UFC/g en el de la caducidad. Ninguna de las muestras podrá superar 106 UFC/g en el primer caso y 107 UFC/g en el segundo (Teullado *et al.*, 2005). Asimismo se establecen límites para *E. coli*, considerando como testigo falta de higiene, admitiéndose solo dos muestras de un total de cinco lecturas entre 101 y 102 UFC/g los mismos valores se utilizan para *Listeria monocitogenes*. En *Salmonella*, se especifica que debe de estar ausente en 25 g (Teullado *et al.*, 2005).

En el continente Americano, Argentina en su artículo 1º incorporado al artículo 925 del Código Alimentario Argentino refiere la legislación correspondiente a la elaboración de



ANTECEDENTES

hortalizas y frutas mínimamente procesadas resaltando las operaciones básicas a las que serán sometidos los productos hortofrutícolas, las exigencias que deberán de cumplir tanto la materia prima como el producto terminado, las condiciones que debe presentar el establecimiento encargado de la producción de esta clase de productos, así como las condiciones y controles que se deben seguir durante el proceso. Con lo que respecta al artículo 2º de esta misma legislación, se estipulan las exigencias microbiológicas que deberán de cumplir las frutas y hortalizas frescas que reciben o no un tratamiento adicional capaz de de reducir la flora microbiana (Ministerio de Salud, 2007).



Objetivos



III. OBJETIVOS

■ **Objetivo general**

Preservar la calidad de piña refrigerada mínimamente procesada utilizando tratamientos por irradiación ultravioleta (UV-C) que aumenten su vida útil y garanticen la inocuidad del producto.

Objetivos particulares

• **Objetivo particular 1**

Seleccionar el grado de madurez óptimo de piña variedad '*Cayena lisa*' para elaborar un producto refrigerado mínimamente procesado (PRMP) almacenado a 5°C y 85% de H.R.

• **Objetivo particular 2**

Evaluar el efecto de la concentración (0.5 y 1%) de diferentes antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) en el control del pardeamiento de piña refrigerada mínimamente procesada.

• **Objetivo particular 3**

Determinar el efecto de la radiación UV-C (0, 3, 10 min) sobre la inocuidad (coliformes, mesófilos, mohos y levaduras) y parámetros de calidad (acidez titulable, sólidos solubles, pH, Vitamina 'C', desprendimiento de jugo, pérdida de peso e índice de deterioro) de la piña refrigerada mínimamente procesada.



Materiales y métodos



IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Secuencia metodológica

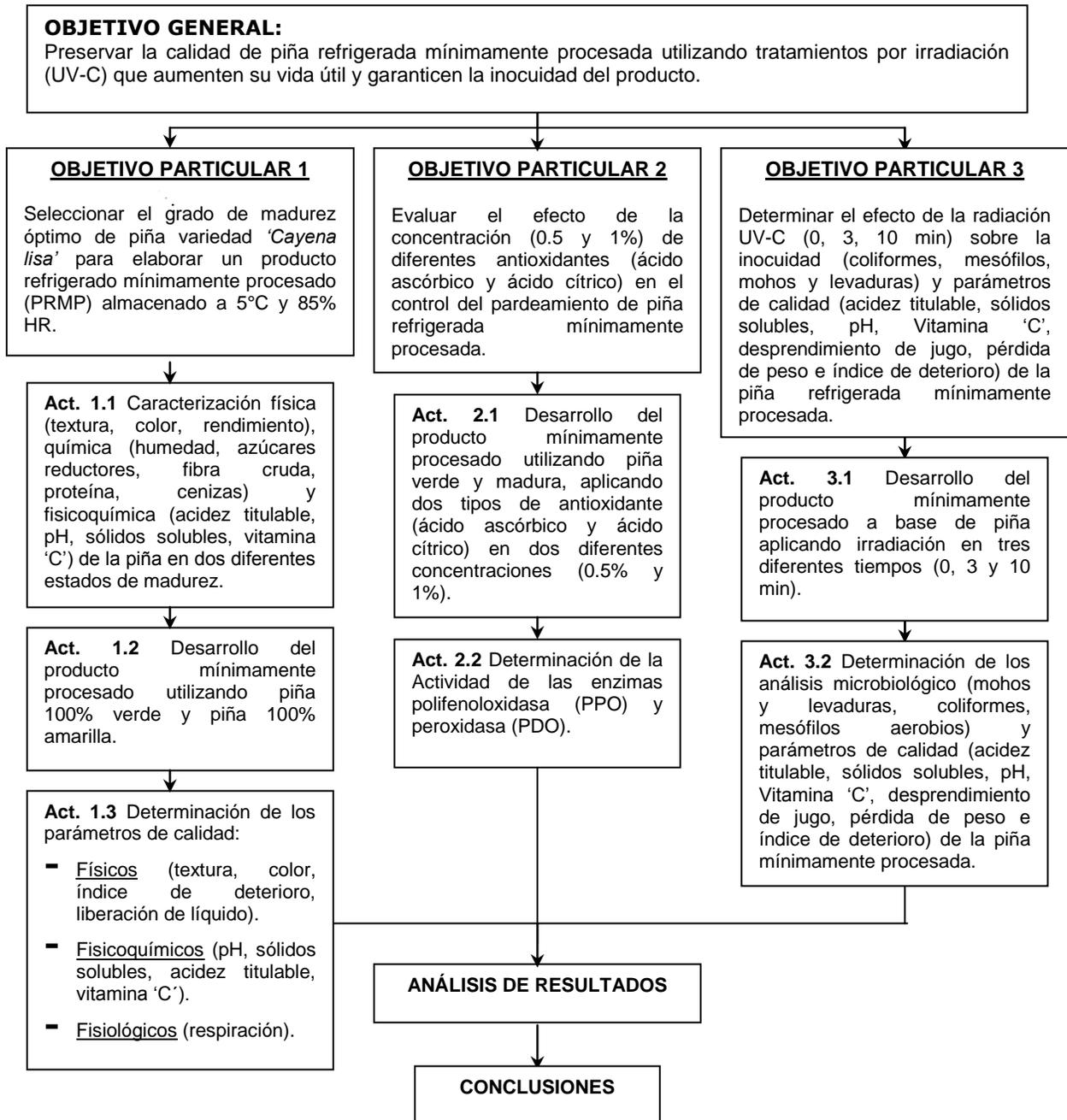


Figura 14. Cuadro Metodológico



4.2 Material biológico

Piñas (*Ananas comosus*) de la variedad 'Cayena lisa' cultivadas en plantaciones comerciales ubicadas en el Estado de Veracruz, recolectadas una vez que han alcanzado un grado apropiado de desarrollo y de madurez, transportadas por vía terrestre, adquiridas al por mayor en la Central de Abastos de la Ciudad de México, fueron trasladadas al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM para su estudio (Fig. 15).



Figura 15. Material biológico para experimentación

4.3 Tratamiento de muestras

Las piñas se seleccionaron de acuerdo a los requisitos mínimos establecidos en las disposiciones de la Norma del CODEX STAN 182-1993 (Codex Alimentarius, 2005), para asegurar la obtención de un producto de calidad; clasificándose de acuerdo a su tamaño, color y estado fisiológico (Fig. 16).



Figura 16. Selección y clasificación de piña para su estudio



Los estados de madurez que se tomaron en cuenta para este estudio fueron piña 100% verde y piña 100% amarilla (madura), de acuerdo a lo señalado en el Pliego de Condiciones para el Uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema (SAGARPA-BANCOMEXT-SE, 2005).

Los frutos se lavaron durante 3 minutos (ya que poseen una carga microbiana considerable en su superficie, al crecer muy cerca del suelo y poseer una estructura irregular), con una solución de jabón neutro y agua corriente en una concentración de 1mL /L de agua, enseguida se enjugaron y sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% por 10 minutos. Las piñas se descoronaron manualmente y sumergieron en una solución desinfectante de Mycrodin (8 gotas/ L de agua) por 10 minutos, para posteriormente realizar su procesamiento (Fig. 17).

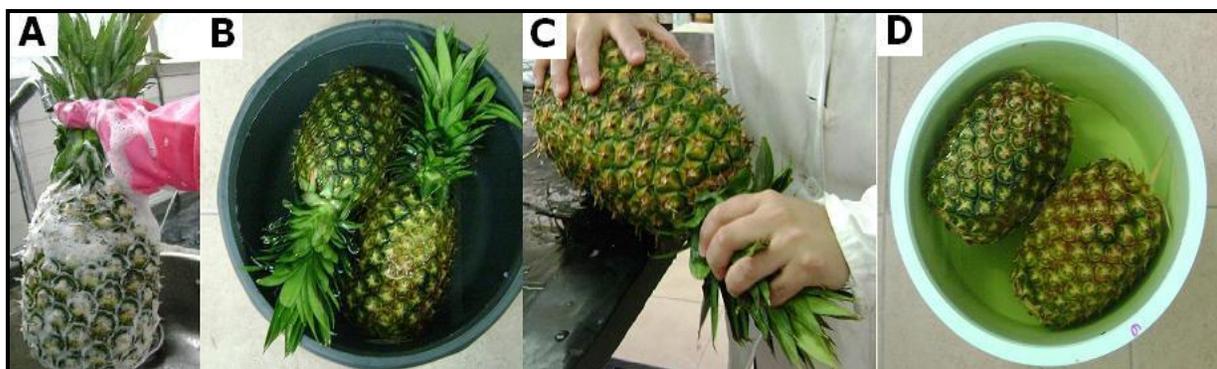


Figura 17. Lavado (A), desinfección (B), descoronado (C) y 2ª desinfección de los frutos (D).

4.4 Proceso de elaboración de piña mínimamente procesada

El procesamiento de los frutos se realizó manualmente a temperatura ambiente, en un área higienizada con una solución de hipoclorito de sodio al 70%, los utensilios (cuchillos, tabla para picar, contenedores, recipientes, escurridores, etc.) fueron previamente desinfectados con una solución de Microdyn (1 gota / litro de agua) por 15 minutos. Los frutos se pelaron con un cuchillo con hoja de acero inoxidable, se cortaron en rebanadas de 1 cm de espesor con la ayuda de una cortadora industrial (marca Rheninghau, modelo Tecmal) y se trocearon en octavos (Fig. 18).

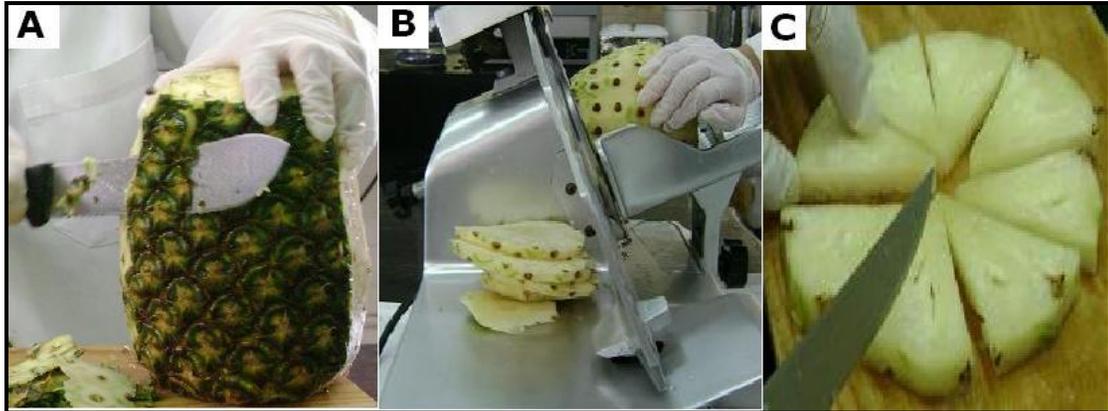


Figura 18. Pelado (A), cortado (B) y troceado de piña (C)

Los octavos se sumergieron en un tratamiento antioxidante frío por un tiempo de 5 minutos, enseguida se drenó el exceso de las soluciones por escurrimiento durante 10 minutos. Los octavos de piña se envasaron en porciones de 80g (Fig. 19).



Figura 19. Inmersión de octavos de piña en tratamiento antioxidante (A), escurrimiento (B) y envasado (C).

4.5 Aplicación de tratamiento por irradiación UV-C

Los envases con piña fueron expuestos a irradiación UV-C, en una cámara de 80 x 100 x 80 cm, provista de una lámpara germicida (marca Sankyo Denki, modelo G15 T18). Los envases con el producto se colocaron a una distancia de 17 cm de la lámpara, por los tiempos expuestos en la Tabla 11.



Tabla 11. Tratamientos aplicados a los octavos de piña.

Estado de madurez	Concentración antioxidantes (%)	Tiempo de exposición a irradiación UV-C (min)	
CONTROL →	-	-	
	100% verde	0.5% AA / 0.5% AC	0
			3
			10
		0	0
		1% AA / 1% AC	3
		10	
CONTROL →	-	-	
	100% amarilla	0.5% AA / 0.5% AC	0
			3
			10
		0	0
		1% AA / 1% AC	3
		10	

AA: ácido ascórbico; AC: ácido cítrico

Al concluir el tratamiento se dejaron abiertas las puertas de la cámara para la disipación del ozono que pudiera generarse por la exposición del oxígeno a la radiación UV-C (Fig. 20).

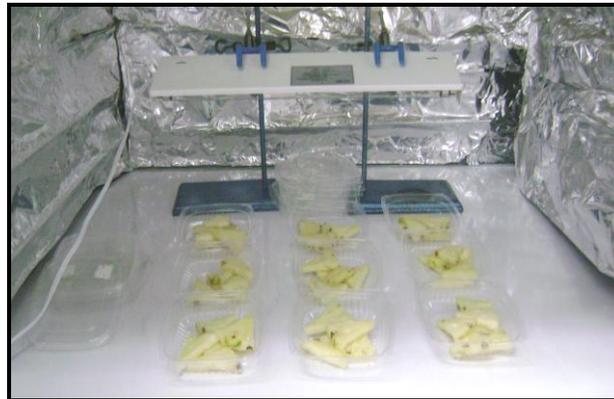


Figura 20. Aplicación de tratamientos con irradiación UV-C

Finalmente los envases fueron almacenados en una cámara frigorífica (marca Ojeda, modelo CDP-10128) a una temperatura de 5°C con una HR = 85 %, por un periodo de 15 días.

En la Figura 21 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración del producto.



MATERIALES Y MÉTODOS

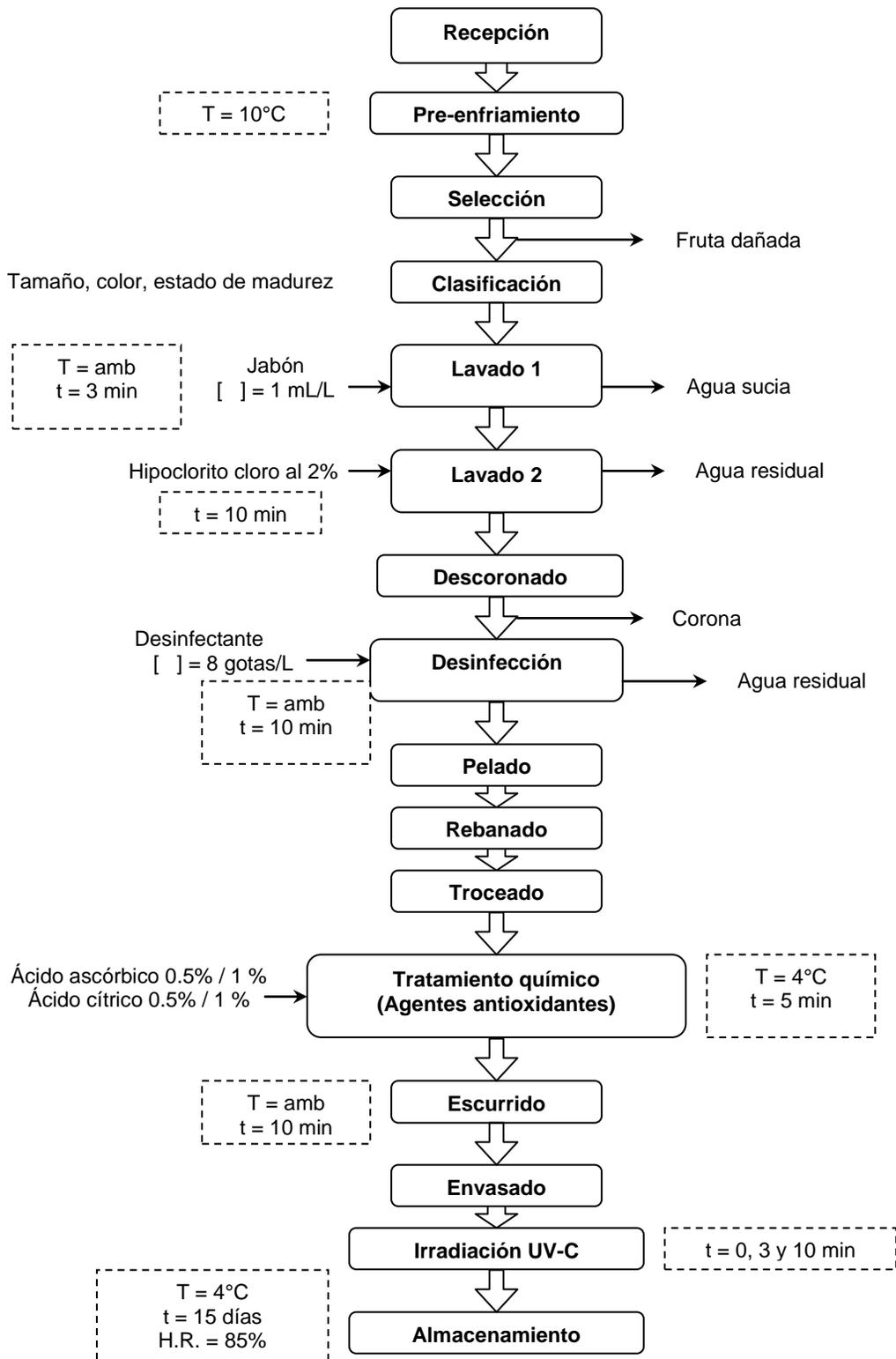


Figura 21. Diagrama de bloques para la elaboración de piña mínimamente procesada



4.6. Evaluación del efecto de diferentes antioxidantes en el control del pardeamiento de piña refrigerada mínimamente procesada

Para evaluar el efecto de antioxidantes en el control del pardeamiento de piña mínimamente procesada se aplicaron en diferentes concentraciones ácido ascórbico y ácido cítrico de acuerdo a la Tabla 11. Posteriormente se evaluaron las actividades de polifenoloxidasas y peroxidasa de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el punto 4.9.3. en diferentes días de almacenamiento.

4.7 Selección del mejor estado de madurez de piña

Para determinar el mejor estado de madurez para la elaboración de un producto mínimamente procesado refrigerado a base de piña variedad 'Cayena lisa' se realizó la evaluación de los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza, color, pérdida de peso, vitamina 'C' y % desprendimiento de líquido) y fisiológicos (respiración), de los octavos en ambos estados de madurez los días 1°, 5°, 10° y 15° del almacenamiento, de acuerdo a los métodos analíticos descritos en el apartado 4.9.

4.8. Determinar el efecto de la irradiación UV-C sobre la inocuidad de piña mínimamente procesada

Una vez seleccionado el mejor estado de madurez de la piña para la elaboración del producto, se realizaron los análisis microbiológicos del producto terminado. Para evaluar el efecto del tratamiento de irradiación sobre la inocuidad del producto, se determinó la presencia de coliformes, mesófilos, mohos y levaduras en piña mínimamente procesada de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 4.9.4.

4.9 Métodos analíticos

4.9.1 Parámetros químicos

- **Determinación de Humedad.** Se realizó por el método estufa, el cual se basa en la pérdida de agua de la muestra por medio de su eliminación por evaporación, mediante la aplicación de calor (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g/ 100g de muestra.



- **Determinación de Fibra cruda.** Se realizó de acuerdo al método de Kennedy-Wendy, el cual se basa en la hidrólisis ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales. El contenido de fibra cruda se tomó a partir del residuo obtenido del filtrado de estas hidrólisis menos el contenido de cenizas presentes en la muestra, los resultados se expresaron en g/100g de muestra (Pearson, 1998).
- **Determinación de Proteína.** La cantidad de proteína fue determinada por el método de Lowry *et al.* (1951), donde las proteínas reaccionan con cobre en solución alcalina (pH 10-10.5), mediante la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu, a heteropolibdeno azul, debido a la oxidación de aminoácidos aromáticos; reacción catalizada por cobre. Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón de albúmina sérica bovina 0.1% obtenida a una longitud de onda de 720 nm. Los resultados se expresaron en mg proteína / ml de extracto.
- **Determinación de Cenizas.** Se realizó por el método de Klemm. El método se basa en la obtención del residuo inorgánico que queda después de la incineración de la materia orgánica a 550 °C. Los resultados se expresaron en g / 100 g de muestra.
- **Determinación de Carbohidratos.** Se calculó por diferencia entre la suma de los porcentajes de los componente químicos mayoritarios (humedad, fibra, proteína y cenizas) y el cien por ciento.

4.9.2 Parámetros de calidad

- **Determinación de acidez titulable.** La acidez titulable es el % de peso de los ácidos contenidos en el producto. La determinación de este parámetro se realizó por medio del análisis conocido como titulación directa, que es la neutralización de los iones hidrógeno del ácido con una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida. El cambio de acidez a la alcalinidad se determina utilizando fenoftaleína como indicador (Meyer, 1982). Los resultados se expresaron como % de ácido cítrico.



- **Determinación de ácido ascórbico (Vitamina 'C').** Se determinó por método volumétrico, el cual se fundamenta en la propiedad del ácido ascórbico de reaccionar con el indofenol (2, 6 dicloro fenol indofenol), decolorando el color azul; la cantidad decolorada es proporcional a la cantidad de Vitamina 'C' presente en el alimento. La cantidad de ácido ascórbico se expresó como mg de Vitamina 'C' por 100g de alimento (Coutiño *et al.*, 1991).
- **Determinación de sólidos solubles (°Bx).** Basado en el principio de refracción (Meyer, 2002) la determinación de sólidos solubles se realizó con la ayuda de un refractómetro (marca ATAGO, mod. 2111) con una escala 0-32 % por medición directa del jugo de los octavos de piña de acuerdo con la NMX-FF-015-1982 (NORMEX, 1982b) (Fig. 22). Los resultados se expresaron como °Bx.



Figura 22. Refractómetro manual

- **Determinación de pH.** La escala de pH es una medida de los iones de hidrógeno que se encuentran en una sustancia; la evaluación en las muestras se realizó por medio de un potenciómetro manual marca HANNA instruments, por medición directa a temperatura ambiente (Fig. 23).



Figura 23. Potenciómetro manual



- **Determinación de la pérdida de peso (%PP).** Se evaluó mediante la diferencia entre la masa inicial y final de cada tratamiento. Los resultados se expresaron como % de pérdida de peso durante el almacenamiento (Sichmann *et al.*, 2006).
- **Determinación de liberación de líquido.** Se realizó de forma similar al método usado por González-Aguilar *et al.* (2004), en el cual cada octavo de piña fue colocado entre dos papeles filtro y sometido a la aplicación de un peso de 500g por 10 segundos. Los papeles filtros fueron pesados antes y después de la aplicación del peso, registrando la diferencia de peso. Los resultados obtenidos fueron expresados % de jugo desprendido.
- **Determinación de firmeza.** La firmeza fue determinada, por medio de la utilización de un penetrómetro manual (marca Tr, mod. FT327) con una sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro, los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para penetrar la pulpa de los octavos de piña mínimamente procesados en Kg/cm². La determinación de este parámetro se realizó de forma similar a lo establecido por la NMX-FF-014-1982 (NORMEX, 1982a) (Fig. 24).

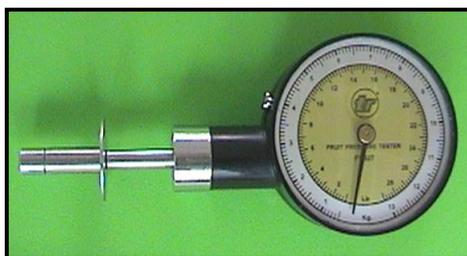


Figura 24. Penetrómetro manual

- **Determinación del color.** El color de la pulpa de los octavos de piña mínimamente procesados fue medido por medio de un colorímetro triestímulos (marca Minolta, modelo CR-300) utilizando los parámetros L, a y b (Fig. 25).

El parámetro 'L' representa la luminosidad o reflectancia, donde el color negro presenta un valor de L= 0 mientras que el blanco L= 100. Los valores 'a' representan la gama del color desde el verde hasta el rojo, los valores de 'b' representan la gama del color desde



el azul hasta el amarillo. Los valores de a y b se utilizaron para evaluar la saturación (Croma) que nos define la pureza del color y el tono ($^{\circ}$ Hue) que define el color.

Estos valores se calcularon de la siguiente manera (McGuire, 1992):

$$\begin{aligned}^{\circ}\text{Hue} &= \tan^{-1} b/a \\ \text{Croma} &= (a^2 + b^2)^{1/2}\end{aligned}$$



Figura 25. Colorímetro Minolta

- **Determinación de la respiración.** Se determinó tomando en cuenta la producción de CO_2 generado por los octavos; la medición se realizó de manera directa de los envases de 250 mL (Fig. 26), con un analizador de gas (marca ANALYZER Nitec, LLC). Los resultados de la producción de CO_2 se expresaron en $\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.



Figura 26. Determinación de la respiración con analizador de gases



- **Evaluación del Índice de deterioro del producto.** Se realizó una evaluación visual, en donde se asignó una calificación al contenido de los envases mediante la escala subjetiva: 0= no hay daño o cambio; 1= muy ligero; 2= ligero; 3= moderado; 4= severo; 5= muy severo (Quevedo-Preciado *et al.*, 2005).

4.9.3 Parámetros bioquímicos

Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO)

- ✗ **Preparación del extracto crudo.** El extracto crudo fue preparado a una temperatura de 4°C de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997) con modificaciones en el pH del buffer de extracción, temperatura de incubación y sustrato utilizado de acuerdo del fruto en estudio. Se pesaron 400 mg de pulpa de los octavos de piña mínimamente procesada la cual fue macerada con nitrógeno líquido, colocándose después la muestra pulverizada y homogeneizada en microtubos a los que se les adicionó 1 mL de buffer fosfato frío 0.2 M, pH 6.5, los cuales fueron puestos en una microcentrifuga digital (marca DAIGGER, modelo 4350) a 12,000 rpm durante 20 minutos, extrayendo el sobrenadante y descartando el precipitado obteniéndose de esta forma el extracto crudo utilizado en las actividades enzimáticas de la PPO, PDO y en la determinación del contenido de proteína de las muestras.
- ✗ **Determinación de la Actividad de la Polifenol oxidasa (PPO).** La actividad enzimática de la Polifenol oxidasa (PPO) se determinó de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997) modificado, utilizando como sustrato para las determinaciones catecol (marca Sigma). Se hizo una disolución con buffer fosfato 0.2 M (pH 6.5) y catecol 0.07 M, la cual fue incubada a 30°C, posteriormente se colocaron en una celda 1.45 mL de la disolución y se añadió rápidamente 100 µL del extracto enzimático mezclando ligeramente; la celda se colocó en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10V) leyéndose los cambios de absorbancia a una longitud de 420 nm durante 3 minutos (Fig. 27).



Figura 27. Espectrofotómetro

- ✘ **Determinación de la Actividad de Peroxidasa (PDO).** La actividad enzimática de la Peroxidasa (PDO) se determinó al método descrito por Cano *et al.* (1997) modificado, utilizando como sustrato para las determinaciones *p*-fenilendiamina y agua oxigenada (H₂O₂). Para la lectura de la actividad de la Peroxidasa (PDO) se colocó en una celda 1.35 mL de buffer fosfato 0.04 M, 100 µL de *p*-fenildiamina (marca SIGMA) al 1%, 50 µL de H₂O₂ (previamente incubados a 30°C) y 100 µL de extracto enzimático. Los cambios de la absorbancia debidos a la oxidación de la *p*-fenilendiamina por la acción de la PDO se registraron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 485 nm durante 3 minutos.

La actividad de la PDO se calculó con base en la pendiente de la porción lineal de la curva a 485 nm en función del tiempo. La actividad de PDO se expresó como % de actividad residual, que compara la actividad del fruto con tratamiento con respecto al fruto control.

4.9.4 Análisis microbiológico

Se determinaron Mohos y levaduras, Coliformes totales y Mesófilos aerobios por medio del método siembra directa y conteo en placa expresados en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) (Fig. 28).



Figura 28. Análisis microbiológico de los octavos de piña

La evaluación de la calidad del producto se realizó al inicio y al final del almacenamiento, los análisis realizados fueron:

- **Coliformes totales:** se utilizó Agar Mac Conkey a una temperatura de incubación de 37°C por 24-48 horas de incubación. El recuento se realizó de acuerdo con lo establecido en la norma NOM-113-SSA-1994 (SSA, 1994c).
- **Mesófilos aerobios:** se utilizó Agar Nutritivo a una temperatura de incubación de 37°C por 24-48 horas de incubación (Lamikanra *et al.*, 2000; Pascual y Calderón, 1999).
- **Mohos y levaduras:** se utilizó Agar selectivo Papa Dextrosa a una temperatura de incubación de 25°C por cinco días de incubación de acuerdo a la norma NOM-111-SSA-1994 (SSA, 1994b).

En todos los análisis se realizaron diluciones de la muestra de 10^{-1} hasta 10^{-3} .

4.10 Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado para poder realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza y para determinar la diferencia estadística entre las medias se aplicaron pruebas de rango múltiple. Se utilizó el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 15.



Resultados y discusión



V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización química de la piña

La composición química de un fruto depende en gran medida de las condiciones de cultivo, variedades, clima y de su grado de maduración (Astiasarán y Martínez, 2000). Para conocer la composición química de la piña (*Anana comosus*) cultivar 'Cayena lisa' se realizó la determinación de los parámetros químicos en dos estados de madurez.

En la Tabla 12 se muestra que el componente mayoritario de piña fue el agua, la cual constituye cerca del 90% en la piña 100% verde, y del 86% en la piña 100% amarilla, seguida por los azúcares, observándose un mayor porcentaje de estos en la piña 100% amarilla, debido a que en la madurez del fruto los azúcares reductores (glucosa y fructuosa) continúan su incremento (Cipriano, 1995).

Tabla 12. Composición química de la piña en estado de madurez 100% verde y 100% amarilla.

Componente	Piña 100% verde (g / 100g muestra)	Piña 100% amarilla (g / 100g muestra)
Humedad	89.06 ± 0.10	85.27 ± 0.68
Azúcares totales	9.24 ± 0.00	12.70 ± 0.00
Fibra cruda	1.13 ± 0.06	1.59 ± 0.81
Proteína	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.01
Cenizas	0.52 ± 0.01	0.39 ± 0.01
Vitamina 'C' (mg / 100g muestra)	9.95 ± 0.28	10.92 ± 0.28

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

Cabe señalar que la pulpa de la piña se caracteriza por la presencia de bajas cantidades de fibra, compuestos nitrogenados y cenizas. En la piña el contenido de fibra dietética oscila entre 0.30-0.61% dependiendo de las condiciones de cultivo, variedades, clima y grado de maduración en el momento de su determinación. De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que la piña 100% amarilla presentó un porcentaje de fibra cruda ligeramente mayor al de la piña 100% verde. En la alimentación humana el aporte de fibra mejora el tránsito intestinal y desempeña una importante función para la prevención y el tratamiento de



algunas enfermedades crónicas. Desde el punto de vista de la nutrición proteica, las frutas tienen poco valor debido a que los compuestos nitrogenados se encuentran entre 0.1 y 1.3%, aproximadamente, el 50-70% son proteínas y el 60% del Nitrógeno soluble, es de aminoácidos (Primo, 1997). Las cenizas representan el contenido de minerales presentes en el fruto, siendo el potasio el principal micro elemento presente en la piña seguido por el yodo.

Las frutas y hortalizas proporcionan más del 90% de vitamina 'C' en la alimentación humana; el ácido ascórbico (Vitamina 'C') colabora en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos, y también favorece la absorción del hierro de los alimentos así como la resistencia a las infecciones, además dicha vitamina posee acción antioxidante (Yahia *et al.*, 1992). Como puede observarse en la Tabla 14 el contenido de ácido ascórbico fue mayor en la piña 100% amarilla que en la piña 100% verde.

5.2 Características físico-químicas

La calidad se ha definido como el grado de excelencia que reúnen las características que tienen importancia y contribuyen a la aceptación del producto. La calidad de los alimentos se distingue por los parámetros de color, textura, sabor y aroma. En la Tabla 13 se muestran los parámetros físicos y fisicoquímicos de la piña.

Tabla 13. Parámetros físicos y fisicoquímicos de la piña.

Componente	Piña 100% verde	Piña 100% amarilla
pH	4.09 ± 0.08	3.98 ± 0.04
Sólidos solubles (°Brix)	8.53 ± 0.33	13.03 ± 0.65
Acidez (% ácido cítrico)	0.13 ± 0.02	0.17 ± 0.01
Firmeza (Kg/cm ²)	6.36 ± 0.19	4.44 ± 0.45
Color		
Luminosidad	66.24 ± 2.36	57.25 ± 1.12
Tono (°Hue)	81.49 ± 2.67	81.39 ± 0.76
Croma	19.04 ± 3.75	28.54 ± 1.21

Los valores muestran la media de tres réplicas ± desviación estándar



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de los alimentos. En la Tabla 15 se puede apreciar que el valor de esta medida fue mayor en el caso de la piña 100% verde que en la piña 100% amarilla, lo cual se debe a que conforme aumenta la madurez del fruto el pH sufre una disminución en su valor.

Los sólidos solubles están constituidos en mayor proporción por azúcares reductores y no reductores seguidos por compuestos como ácidos, vitamina 'C', aminoácidos y algunas pectinas presentes en el fruto, en la piña el mayor cambio de los carbohidratos ocurre durante los últimos cuarenta días de la maduración, cuando los azúcares simples aumentan drásticamente pasando de 7 a 17°Bx, si el fruto está sujeto a la planta los azúcares aumentan durante la senescencia. En la madurez, la sacarosa alcanza una concentración máxima (aprox. 9% w/v) y entonces declina, pero los azúcares reductores (glucosa y fructuosa) continúan su incremento (Cipriano, 1995). Lo anterior se ve reflejado en los resultados obtenidos ya que el mayor contenido de sólidos solubles lo presentaron los frutos 100% amarillos.

Los principales ácidos contenidos en la piña son el ácido cítrico y el ácido málico y en menor proporción el ácido ascórbico, la acidez total aumenta conforme aumenta el grado de madurez del fruto y disminuye con la senescencia. Los niveles de ácido cítrico se comportan de manera similar a la acidez total, aumentando en los últimos cuarenta días de la maduración del fruto, pasando de 0.1% w/v hasta 0.7% w/v para después disminuir (Cipriano, 1995). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos ya que la mayor acidez la presentó la piña 100% amarilla.

La textura es una característica física de la piel de los frutos, que representa la resistencia de la piel al someterla a una fuerza externa (Pérez, 2008). Las variaciones que experimentan los frutos, en su textura, están íntimamente relacionadas con las modificaciones que experimentan las pectinas. Las sustancias pécticas insolubles, principalmente la protopectina, son degradadas a formas solubles, y éstas a su vez, se despolimerizan por acción enzimática (Primo, 1997). En el presente trabajo la mayor firmeza la presentó la piña 100% verde en comparación con la piña 100% amarilla debido a que en la maduración los frutos presentan una depreciación en su textura.



De acuerdo con la medición del color, se observó una mayor luminosidad y menor valor de croma en la piña 100% verde que en la piña 100% amarilla, con respecto al tono que es el color propiamente dicho ambos estados de madurez presentaron un valor de 81.

El rendimiento expresa la utilidad de la parte de un producto, como puede observarse en la Tabla 14, la piña 100% verde presentó ligeramente un mayor rendimiento de pulpa que la piña 100% amarilla.

Tabla 14. Porcentaje de cada porción comestible y subproductos de la piña.

Rendimiento	Piña 100% verde	Piña 100% amarilla
Corona (%)	19.18 ± 5.65	23.85 ± 10.18
Cáscara (%)	20.60 ± 2.75	18.13 ± 0.97
Pulpa (%)	60.20 ± 2.89	58.00 ± 9.21

Los valores muestran la media de tres réplicas ± desviación estándar

5.3 Efecto del estado de madurez sobre el desarrollo de un PRMP (Producto Refrigerado Mínimamente Procesado) a base de piña.

Para elaborar un producto mínimamente procesado la materia prima ha de seleccionarse teniendo en cuenta dos aspectos: el cultivar y el estado de madurez de la fruta. La correcta elección del cultivar puede simplificar las etapas y tratamientos de conservación que han de ser aplicados con posterioridad, en tanto que la selección del estado de madurez de la fruta en el momento de ser procesada determina la vida útil del producto, ya que las operaciones tecnológicas que requiere la elaboración del producto afectan a su calidad durante la comercialización (Hernández *et al.*, 2007).

Para establecer cual era el grado de madurez óptimo de piña variedad 'Cayena lisa', para elaborar un producto refrigerado mínimamente procesado (almacenado a 5°C y 85% de H.R.), se evaluó el efecto de la concentración (0.5 y 1%) de diferentes antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) en los parámetros de calidad y el control del pardeamiento del producto.



5.3.1 Índice de deterioro

La calidad de la fruta se establece en función de criterios de apreciación visual, como tamaño, forma, color, carencia de defectos y enfermedades (Pérez y Ramos, 2006).

En la Figura 27 se pueden observar los cambios en la apariencia de los octavos de piña sin tratamiento, así como de los octavos tratados por inmersión con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, almacenados a 5°C y 85% H.R. por 15 días. Los resultados se expresaron en función a una escala subjetiva de 5 puntos, la cual describió una apreciación visual del producto (ver materiales y métodos, apartado 4.9.2).

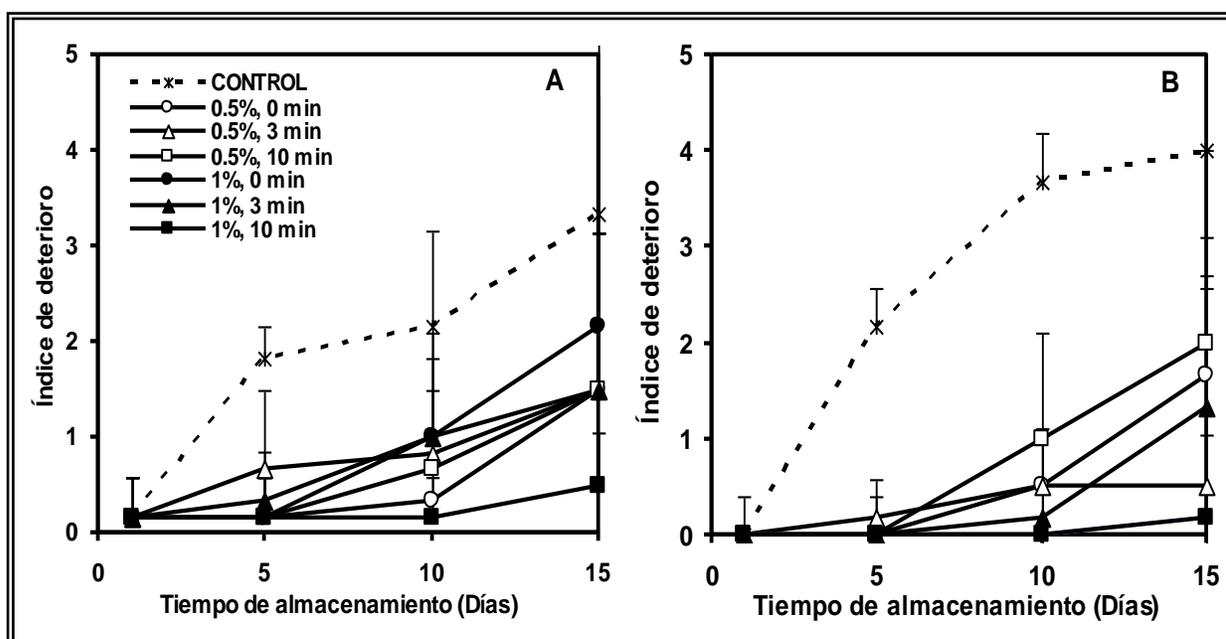


Figura 29. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el índice de deterioro del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

En la Figura 29A se puede observar que el primer día del almacenamiento los octavos de piña 100% verde presentaron en general un buen aspecto, ya que no se observó daño en la superficie del producto (Fig. 30), por lo que en este día de la conservación tanto el control,



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

como los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C registraron un índice de deterioro de 0.

En el quinto día del almacenamiento el control mostró un valor de índice de deterioro de 1.8 (daño ligero) debido a que el producto comenzó a presentar una ligera coloración café en su superficie, en tanto que los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron un menor índice de deterioro que los octavos sin tratamiento, observándose un valor de $ID=0.2$ para los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, mientras que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron valores de 0.7 y 0.3, respectivamente. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

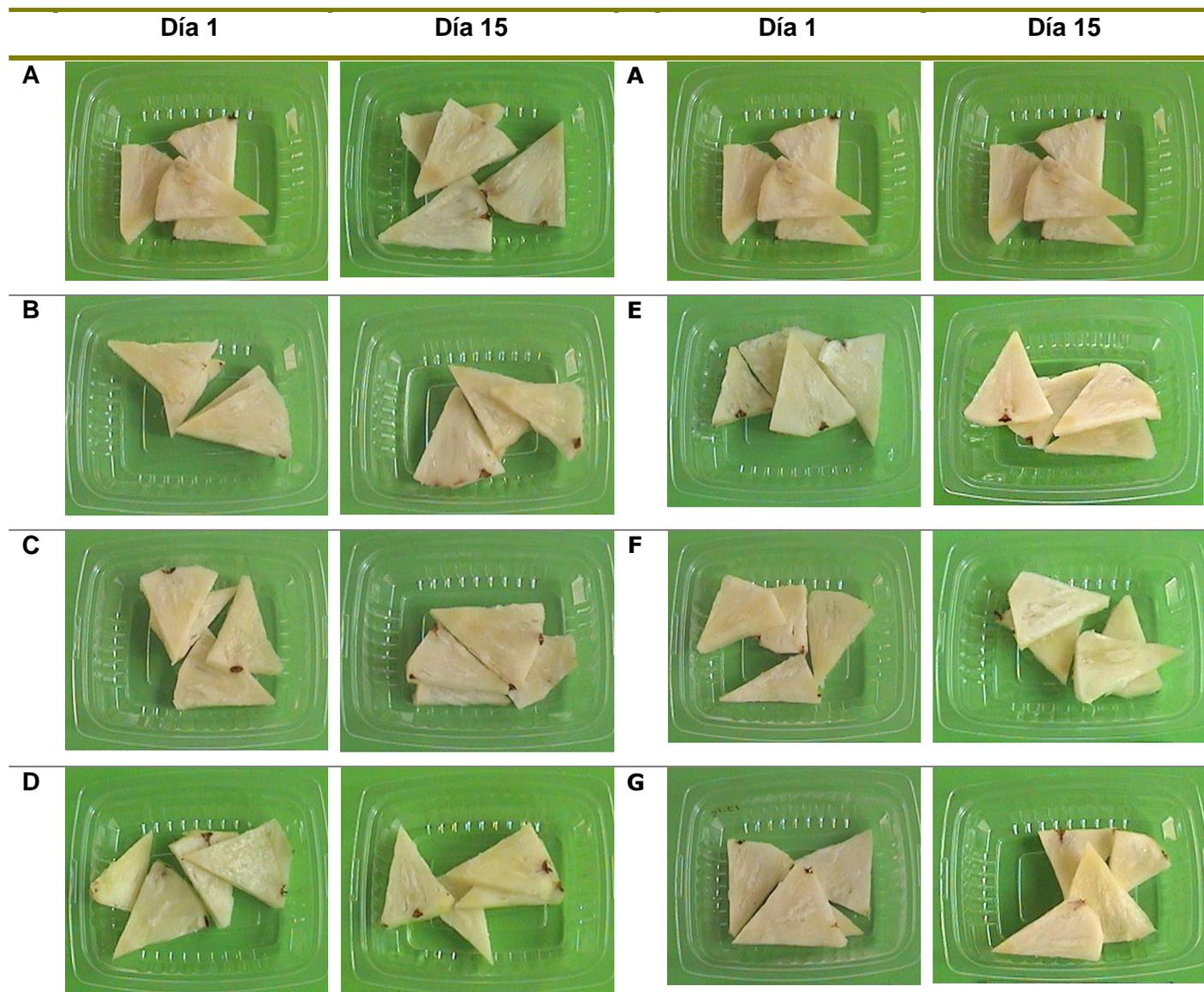
Para el décimo día de la conservación el control mostró un mayor deterioro, por lo que en este día de almacenamiento registró un valor de $ID=2.2$, lo que indicó un daño ligero en la superficie del producto, seguido por los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación, los cuales presentaron un valor de $ID=1$, lo que indicó que el daño exhibido fue muy ligero, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min mostraron un valor de alrededor de $ID=0.75$, siendo los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación los que presentaron el menor índice de deterioro con un valor de $ID=0.25$. Estadísticamente los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

El último día del almacenamiento los octavos control de piña 100% verde presentaron un evidente deterioro al mostrar pequeños puntos de color blanco, así como oscurecimiento enzimático en la superficie, olor a fermentado y ligera turbidez del jugo (Fig. 30), registrándose un valor de índice de deterioro de 3.3, seguidos por los octavos del tratamiento 1% AA-AC/0 minutos con un valor de $ID=2.2$, en tanto que los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación exhibieron un valor de $ID=1.5$, lo que indicó un daño muy ligero a ligero en la superficie, siendo los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos los que presentaron el menor valor



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de índice de deterioro con 0.5. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los tratamientos.



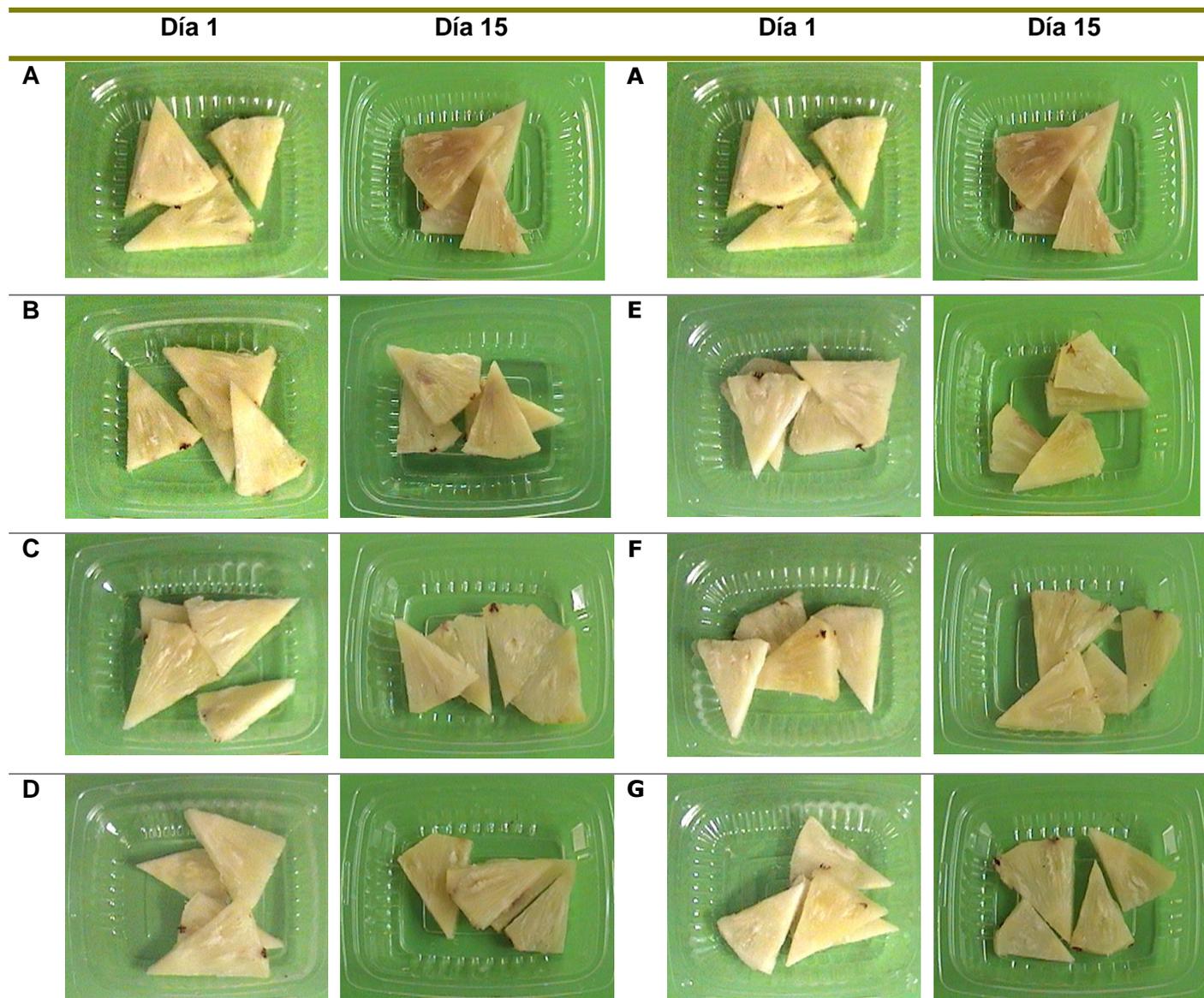
A) Control; **B)** 0.5% AA-AC, $t_i = 0$ min; **C)** 0.5% AA-AC, $t_i = 3$ min; **D)** 0.5% AA-AC, $t_i = 10$ min, **E)** 1% AA-AC, $t_i = 0$ min; **F)** 1% AA-AC, $t_i = 3$ min; **G)** 1% AA-AC, $t_i = 10$ min.

Figura 30. Efecto de la aplicación de agentes antioxidantes e irradiación UV-C en la calidad de octavos mínimamente procesados de piña 100% verde a 5°C y 85% H.R.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 29B) estos presentaron al inicio de la conservación un valor de ID= 0, cabe señalar que los octavos de piña 100% amarilla mostraron visualmente una mayor intensidad del color y una menor firmeza que los octavos de piña 100% verde (Fig. 31).



A) Control; **B)** 0.5% AA-AC, $t_i = 0$ min; **C)** 0.5% AA-AC, $t_i = 3$ min; **D)** 0.5% AA-AA, $t_i = 10$ min, **E)** 1% AA-AC, $t_i = 0$ min; **F)** 1% AA-AC, $t_i = 3$ min; **G)** 1% AA-AC, $t_i = 10$ min.

Figura 31. Efecto de la aplicación de agentes antioxidantes e irradiación UV-C en la calidad de octavos mínimamente procesados de piña 100% amarilla almacenados a 5°C y 85% H.R.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El quinto día de almacenamiento el control registró un valor de índice de deterioro de 2.2 al presentar una evidente coloración café en la superficie de los octavos, en tanto que los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación mostraron un valor de 0.2 al presentar solo una manchita de color café, mientras que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación no presentaron daño o cambio alguno. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

El décimo día de la conservación el control mostró un mayor deterioro al presentar un mayor oscurecimiento en la superficie, evaluándose con un valor de índice de deterioro de 3.7, en tanto que los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes mostraron un mayor deterioro que los octavos tratados al 1% de AA y AC. Observándose un valor de ID=0.5 para los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación y valor de ID=1 para los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos, mientras que los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron un valor de ID=0.2, siendo los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 min, los que no presentaron daño alguno mostrándose como el día de su elaboración con un valor de 0. Estadísticamente los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control, pero no se presentó en los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación.

Al finalizar el tiempo de almacenamiento el control presentó una mayor coloración café en la superficie de los octavos, además mostró un evidente ablandamiento y un ligero olor a fermentado, otorgándosele un valor de ID=4 en este día de la conservación, lo que indicó un daño severo, en tanto que los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC / 10 minutos presentaron un daño ligero en su superficie registrado un valor de índice de deterioro de 2, seguidos por los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min, los cuales exhibieron un valor de alrededor de ID=1.5 al presentar ligeras manchas pardas en su superficie, mientras que los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación mostraron un valor de ID=0.5 al exhibir el producto una apariencia cristalina propia de la fruta sobremadura y un olor dulzón,



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

siendo los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación los que presentaron el menor daño con un índice de deterioro de 0.2, cabe señalar que los octavos de estos tratamientos presentaron un olor característico penetrante. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/3, 1% AA-AC/0 min y 1 AA-AC/10 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los tratamientos.

Hernández *et al.* (2007) sugirieron que desde el punto de vista tecnológico el procesado de papaya 'Maradol' ha de realizarse al 80% de madurez, ya que cuando se procesa 100% madura la translucidez y otros signos de deterioro se aceleran durante la conservación, acortándose la vida comercial del producto. En trozos de mango 'Keitt' 100% maduros se observó una vida comercial menor que cuando se procesaron al 80% ya que los trozos de mango procesados al 100% de madurez presentaron mayor pérdida de la firmeza y una modificación del color, adquiriendo un aspecto sobremaduro. En el caso de la piña 'Roja Española' el estado de madurez no influyó de forma importante en la calidad del producto final, cuando se procesó al 100% de madurez las medias rodajas presentaron, en general, menores valores de luminosidad y cromaticidad, siendo más aceptadas las rodajas procedentes de piñas con la piel en un 60-80% de color anaranjado.

Al igual que en el presente trabajo Soliva-Fortuny *et al.* (2004) encontraron un ligero aumento en la susceptibilidad al pardeamiento de peras 'Conference' entre los diferentes estados de madurez utilizados para el procesamiento. Peras maduras exhibieron las mayores tasas de degradación del color.

En trabajos con este fruto Martínez-Ferrer *et al.* (2002) demostraron que la mezcla de gases (10% CO₂, 4% O₂ y 86% N₂) fue la más eficiente para extender la vida útil de piña 'Española roja' almacenadas 5°C durante 25 días, al retrasar la tasa de deterioro.

En tanto que O'Connor-Shaw *et al.* (1994) informaron que cubos de piña 'Cayena lisa' almacenados en contenedores de polipropileno a 4°C, mantenían sus atributos de sensoriales durante 7 días, pero después de 11 mostraban una coloración marrón y después de 14 días fueron evidentes malos olores y ablandamiento.



5.3.2 Cambios en la acidez

En la Figura 32 se muestra el efecto que tuvo la aplicación de agentes antioxidantes y la irradiación UV-C en la acidez de los octavos de piña expresada en porcentaje de ácido cítrico.

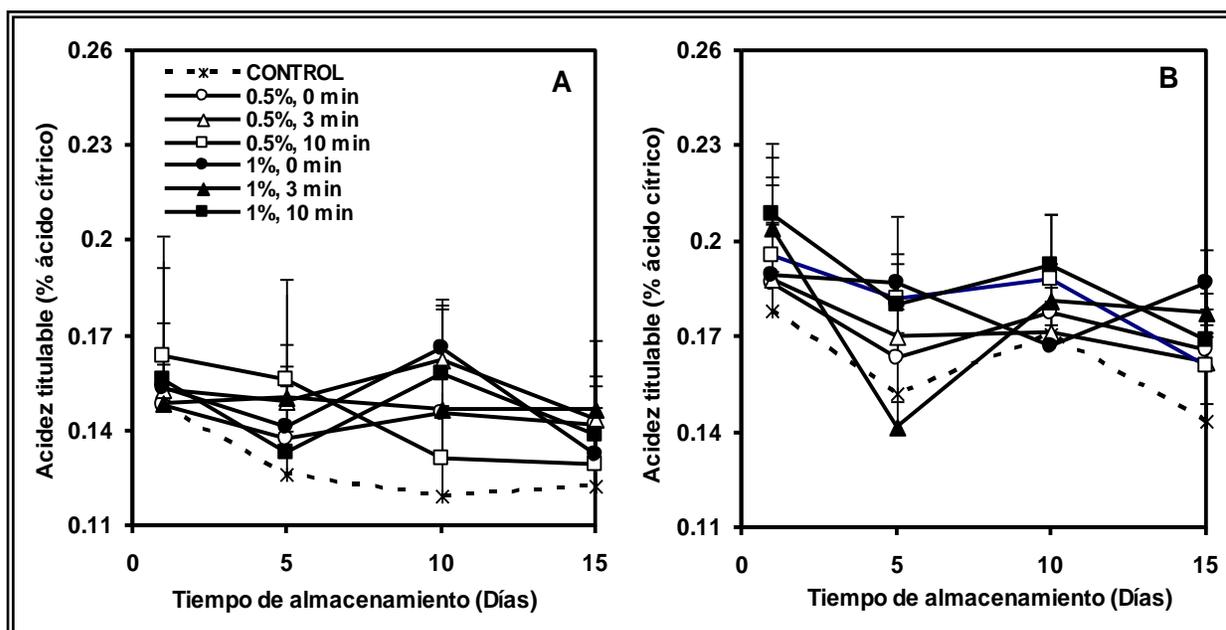


Figura 32. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la acidez del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

El primer día del almacenamiento los octavos control de piña 100% verde presentaron valores de aproximadamente 0.15% de ácido cítrico, al igual que los octavos de los diferentes tratamientos (Figura 32A). No presentándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos tratados y el control.

Posteriormente en el quinto día de la conservación los octavos control junto con los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron una disminución de la acidez con respecto al primer día del almacenamiento del 14.5%. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C. El décimo día del almacenamiento el control mostró una



disminución en su acidez del 5.5% al presentar un porcentaje de ácido cítrico de 0.12%. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 minutos de irradiación, pero no entre el resto de los octavos tratados.

Al final del tiempo de almacenamiento los octavos control de piña 100% verde presentaron un porcentaje de ácido cítrico de 0.12%, observándose en los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C una leve disminución en su valor de acidez. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos de los tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C.

Con lo que respecta a los octavos sin tratamiento de piña 100% amarilla (Fig. 32B) estos presentaron un valor de acidez de 0.18%, lo cual constituyó un incremento del 20% con respecto a los octavos sin tratamiento de piña 100% verde. Estadísticamente los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

En el en el quinto día del almacenamiento se presentó una disminución de la acidez de los octavos control de piña 100% amarilla, así como de los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, registrándose una acidez de 0.15% para los octavos control. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, pero sí se encontró entre los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación y el control.

En el décimo día de la conservación los octavos de piña 100% amarilla mostraron un aumento en la acidez del alrededor del 7%, registrándose una acidez de 0.17% los octavos control y los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación, en tanto que el resto de los octavos tratados con AA y AC e irradiación UV-C presentaron una acidez mayor a la exhibida por los octavos sin tratamiento. En este día del almacenamiento los octavos tratados al 0.5% (0, 3 y 10 min) y el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, no presentaron diferencia significativa



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

($p \geq 0.05$) entre sí y con respecto al control. Al término del almacenamiento, el control de piña 100% amarilla redujo su contenido en ácido cítrico en un 22% respecto al primer día del almacenamiento, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos por efecto natural de la maduración y los cambios que desencadena la etapa de senescencia en frutos no climatéricos. Cabe señalar que la mayor reducción de la acidez la presentaron los octavos control y los octavos irradiados por 10 minutos (0.5% AA-AC y 1% AA-AC), ya que presentaron una disminución de alrededor del 18.7% de su valor inicial de acidez. Estadísticamente el control presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los octavos tratados con AA-AC e irradiación UV-C.

Al finalizar la experimentación se pudo observar un efecto sobre los octavos de piña en ambos estados de madurez por la adición de los agentes antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) utilizados, presentándose mayores valores de acidez en los octavos tratados con la concentración al 1%; además de la adición de AA y AC, la disminución de la acidez titulable de los octavos durante el almacenamiento se debió a que los ácidos orgánicos al ser utilizados como sustratos respirables son consumidos durante el proceso de respiración debido a que el fruto tiene que hacer uso de sus reservas para continuar viviendo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con el trabajo realizado por Sichmann *et al.* (2006) quienes registraron al final de la conservación una disminución en la acidez de kiwi mínimamente procesado almacenado en envase PET a 1°C y 65% H.R. La reducción en la acidez titulable, durante el almacenamiento también fue observada por Souza *et al.* (2007) y Robles-Sánchez *et al.* (2008) en tajadas de mango 'Keitt' y 'Kent'. La disminución de los valores de acidez se atribuyeron al daño tisular ocasionado por los operaciones de pelado y cortado en el procesado mínimo, el cual desencadenó una mayor actividad celular; exigiendo un mayor consumo de energía metabólica siendo esta resultante de la quema de azúcares, proteínas y ácidos en el proceso respiratorio (Sichmann *et al.*, 2006).

En contraste al presente trabajo Hernández *et al.* (2007) reportaron que la acidez titulable inicial de medias rodajas piña 'Roja Española', fue superior en las rodajas de piña al 80% de madurez. Sin embargo, la acidez titulable de las rodajas 100% maduras, fue aumentando y



al final del ensayo resultó ser la misma para los dos estados de madurez. Tovar *et al.* (2000) encontraron un aumento en la acidez titulable de rebanadas de mango 'Kent', causado por la acumulación de ácidos orgánicos en los tejidos del fruto debido a la inmersión en ácido cítrico (20 g/L) y posteriormente en metabisulfito de sodio (300 mg/L) y finalmente en benzoato de sodio (20 g/L), resultados que concuerdan con el presente trabajo.

5.3.3 Cambios en el contenido de sólidos solubles

En la piña como en la mayoría de los frutos, los principales carbohidratos, son los azúcares simples como la sacarosa, glucosa y fructuosa. Estos azúcares son considerados como un primer factor de calidad en la aceptación del producto fresco (Cipriano, 1995). En la Figura 33 se muestra el efecto del estado de madurez sobre el contenido de sólidos solubles del producto mínimamente procesado a lo largo de 15 días de almacenamiento. Observándose que el estado de madurez tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el contenido de sólidos solubles en el producto elaborado.

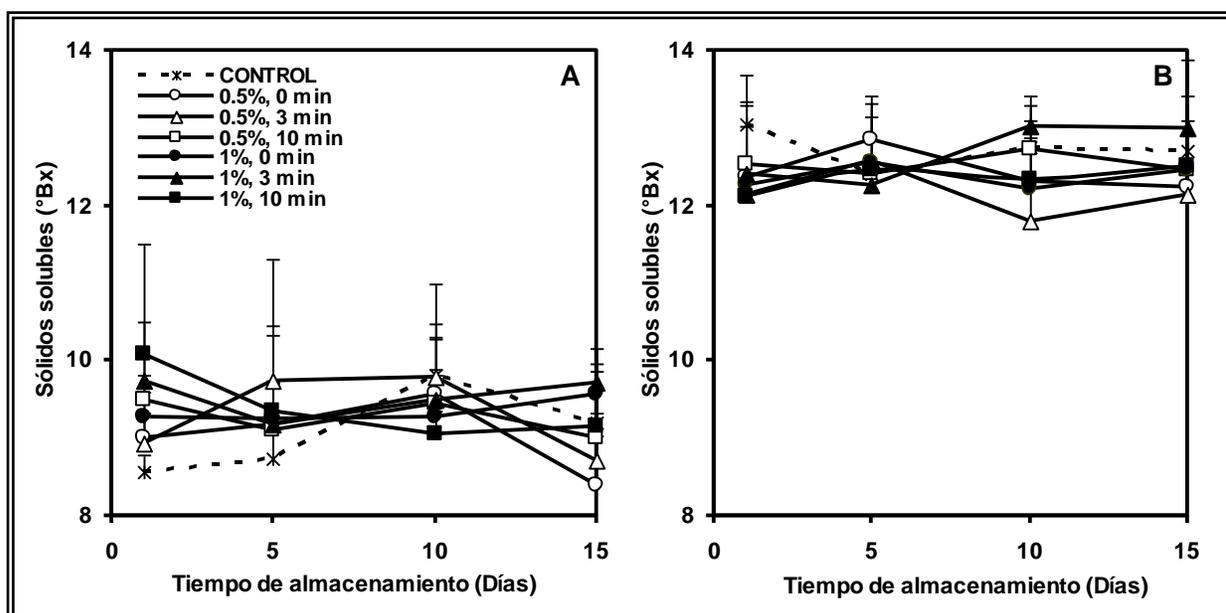


Figura 33. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en los sólidos solubles del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la Figura 33A al inicio del almacenamiento, los octavos control de piña 100% verde presentaron el menor contenido de sólidos solubles (8.6°Bx) en comparación con los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C. Estadísticamente el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control, no presentándose en el resto de los octavos tratados.

En el quinto día de la conservación los octavos tratados con AA y AC e irradiación UV-C mostraron un aumento del contenido de sólidos solubles de alrededor del 6.5% con respecto a los octavos control. En tanto que en el décimo día del almacenamiento el control presentó un aumento en el contenido de sólidos solubles de 12.4%, al registrar un valor de 9.8°Bx . No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados por inmersión con AA-AC e irradiación UV-C en estos días del almacenamiento.

Al final de la conservación los octavos sin tratamiento de piña 100% verde presentaron un valor de 9.2°Bx , lo que significó una disminución del 6.3% con respecto al décimo día de la conservación. Estadísticamente los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control.

Los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 33B), presentaron un contenido de sólidos solubles 34% mayor al exhibido por los octavos de piña 100% verde debido a que conforme aumentó el estado de madurez del fruto aumentó el contenido de sólidos solubles. En el primer día de la conservación los octavos control presentaron un contenido de sólidos solubles de 13°Bx , en tanto que los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron un valor de sólidos solubles menor al mostrado por los octavos sin tratamiento. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con AA-AC e irradiación UV-C.

En el quinto día del almacenamiento los octavos control presentaron un valor de 12.4°Bx , lo cual significó una reducción del 4.9%, con respecto al primer día del almacenamiento. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con AA y AC e irradiación UV-C. Posteriormente en el décimo día de la



conservación los octavos control presentaron un aumento del contenido de sólidos solubles del 2.8% con respecto al quinto día del almacenamiento, mostrando la misma tendencia los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación al exhibir incrementos del 2.6% y 6.3%, respectivamente. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos tratados por 3 minutos de irradiación (0.5% AA-AC y 1% AA-AC).

Al final del almacenamiento el control presentó un contenido de sólidos solubles de 12.7 °Bx. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C.

De acuerdo con lo anterior se infiere que la dulzura de los octavos de piña por efecto directo del tratamiento no se afectó, ya que los octavos tratados no presentaron una disminución o aumento drástico respecto a los octavos control. Sin embargo, sí se aprecia un claro efecto sobre el contenido de sólidos solubles por los estados de madurez manejados en este estudio, observándose que los octavos de piña 100% verde presentaron valores que oscilan entre 8.4 y 10.1 °Bx a diferencia de los octavos de piña 100% amarilla los cuales alcanzan valores de 11.8 hasta 13 °Bx.

Al igual que en el presente trabajo Hernández *et al.* (2007) reportaron que medias rodajas de piña 'Roja Española' 100% madura mostraron mayor contenido en sólidos solubles totales que las rodajas al 80% de madurez hasta el décimo día de conservación, con valores de 9.5 ± 0.5 y 7.5 ± 0.5 °Brix, respectivamente. De la misma forma Robles-Sánchez *et al.* (2008), encontraron que conforme aumentó el estado de madurez de cubos de mango 'Ataulfo' tratados con ácido ascórbico, cítrico y CaCl_2 almacenados durante 20 días a 5°C se incrementó el contenido de sólidos solubles.

5.3.4 Cambios en el pH

El pH es uno de los más importantes factores de estrés en las frutas ya que determina el tipo de microorganismos que puede proliferar y su velocidad de crecimiento, la actividad de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

conservadores y la estabilidad de muchas vitaminas. En general, el pH de las frutas conservadas debe ser tan bajo como su palatabilidad lo permita. Afortunadamente, las frutas pueden tolerar reducciones significativas de pH sin alteración de su gusto y aroma (Weichmann, 1997).

En la Figura 34 se aprecia que la aplicación de los ácidos ascórbico y cítrico e irradiación UV-C presentó un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el pH de los octavos de piña refrigerada mínimamente procesados desde el inicio del almacenamiento, ya que el pH de los octavos tratados disminuyó con respecto al pH de los octavos control en ambos estados de madurez.

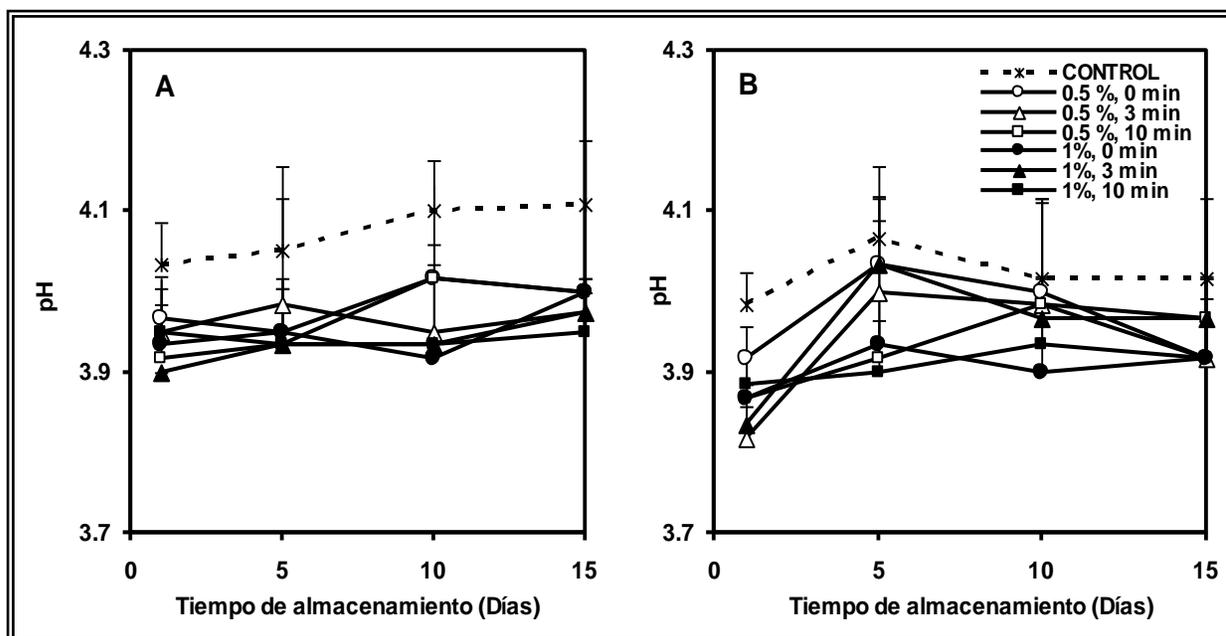


Figura 34. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el pH del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

La Figura 34A, muestra el pH de los octavos de piña 100% verde, en el primer día de almacenamiento las diferentes concentraciones de agentes antioxidantes aplicados por inmersión influyeron en los valores de pH que se registraron, ya que los octavos control presentaron un pH de 4.03, mientras que los octavos tratados presentaron una disminución de alrededor del 2.4% con respecto a los octavos control, al presentarse valores de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

alrededor de 3.9. Estadísticamente los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control.

Posteriormente en el quinto día de la conservación los octavos control presentaron un pH de 4.05, lo que significó un aumento del 0.5% con respecto al primer día del almacenamiento. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

En el décimo día del almacenamiento, los octavos control presentaron un aumento del 1.2% con respecto al quinto día de la conservación al presentar un pH de 4.1. Estadísticamente los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control, pero no la presentaron los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación. Al término del almacenamiento, el control de piña 100% verde mantuvo un valor de 4.1. Estadísticamente el control presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 34B), estos presentaron un menor pH que los octavos de piña 100% verde, apreciándose un valor de pH = 3.98 para los octavos control en el primer día de la conservación. Estadísticamente los octavos de los tratados al 0.5% de AA-AC por 0 y 3 minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con el resto de los octavos tratados y con respecto a los octavos control.

En el quinto día de la conservación se observó un aumento en el pH tanto de los octavos control como de los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, encontrándose un incremento del 2.1% para el control, al registrar un pH = 4.06. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos irradiados por 10 minutos (0.5% AA-AC y 1% AA-AC), pero no se encontró entre el resto de los octavos tratados. Posteriormente en el décimo día del almacenamiento el control presentó un descenso del pH del 1.2%. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.



Al final de la conservación los octavos control de piña 100% amarilla mostraron un pH de 4.02. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos sin tratamiento.

Aunque no se registró una disminución drástica en el pH de los octavos tratados, se infiere que sí existió un efecto sobre estos, por la aplicación de los agentes antioxidantes puesto que se observó una mayor reducción del pH en los octavos tratados con concentraciones de AA-AC al 1% con respecto al control. Esto indicó que se incrementó la susceptibilidad al ataque microbiano para los octavos sin tratamiento debido a que los valores de pH fueron mayores que los octavos tratados con AA-AC e irradiación UV-C almacenados a 5°C y 85% H.R.

Contrario a lo encontrado en el presente estudio Hernández *et al.* (2007) observaron que el pH de las medias rodajas de piña 'Roja Española' 100% maduras fue ligeramente superior que el de las rodajas al 80% al final del ensayo. En tanto que, Marrero y Kader (2006) no encontraron cambios significativos en el pH de trozos de piña selección 'SC3620', almacenada durante 15 días bajo atmósferas modificadas. De igual forma Sichmann *et al.* (2006) no encontraron diferencia significativa en el pH de kiwis mínimamente procesados almacenados a 1°C y 65% de H.R.

5.3.5 Cambios en la firmeza

La textura, conjuntamente con el sabor y aroma, constituyen la calidad gustativa del producto. En productos mínimamente procesados, la pérdida de la textura puede aparecer cuando la pared y la membrana celulares son degradadas por enzimas como la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y galactosidasa al entrar éstas en contacto con sus sustratos por la pérdida de la compartimentalización celular infundida por la acción de las operaciones de pelado, cortado y/o troceado (San Román, 1997).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La firmeza es medida con instrumentos que registran la fuerza necesaria para provocar una determinada deformación o la resistencia a la penetración de un émbolo de dimensiones conocidas.

La Figura 35 muestra el efecto de la aplicación del tratamiento sobre la firmeza de los octavos de piña almacenados a 5°C y 85% H.R., observándose en los octavos, cambios no deseados provocados por el tratamiento aplicado, aunado al proceso de maduración como el ablandamiento excesivo.

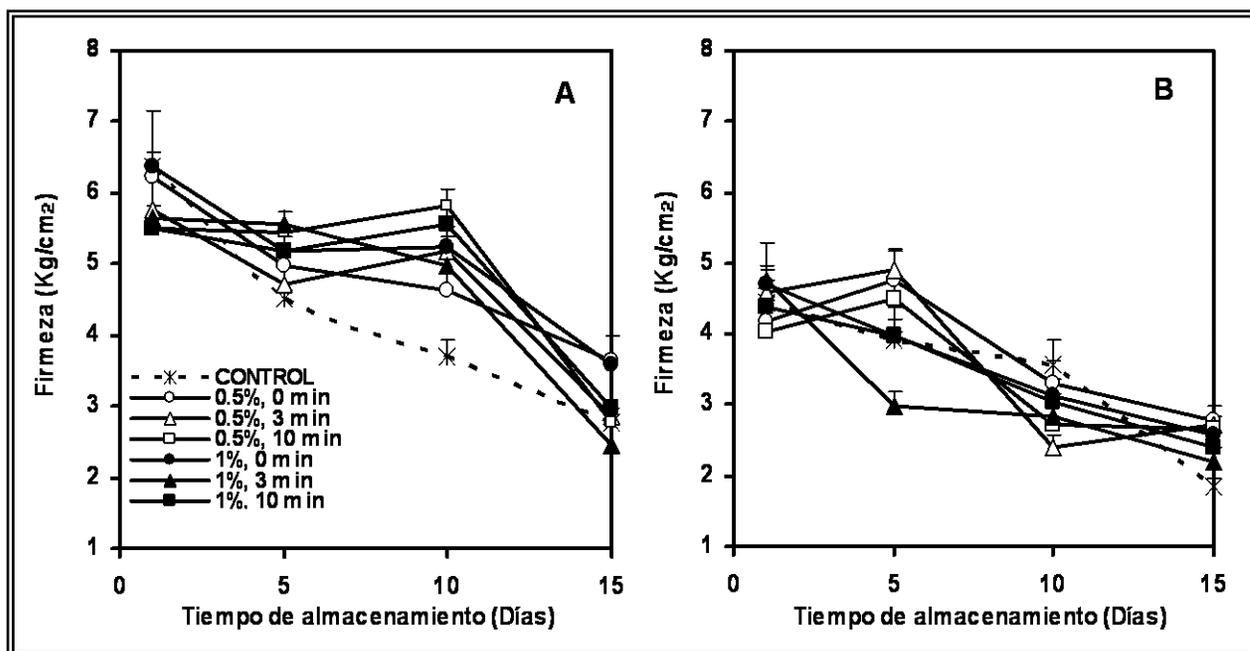


Figura 35. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la firmeza del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

Conforme transcurrió el tiempo del almacenamiento se presentó una disminución de la firmeza de los octavos de ambos estados de madurez, el primer día del almacenamiento, los octavos control de piña 100% verde (Fig. 35A) presentaron una firmeza de 6.4 Kg/cm². No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Posteriormente en el quinto día de conservación los octavos control presentaron una disminución de la firmeza del 29.2% con respecto al primer día del almacenamiento. Estadísticamente los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí, pero no la mostraron el resto de los tratamientos. En el décimo día del almacenamiento los octavos control presentaron una firmeza de 3.7 Kg/cm², mientras que los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron una mayor firmeza que la observada en los octavos sin tratamiento. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC por 0 y 10 minutos de irradiación y los octavos control.

Al final del almacenamiento se hizo presente una marcada pérdida de la firmeza presentándose valores de 2.8 Kg/cm². Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos de los tratamientos al 0.5% AA-AC/3 min y 10 minutos de irradiación, pero sí se encontró entre el resto de los octavos tratados.

Cabe señalar que los octavos control de piña 100% verde presentaron la mayor pérdida de la firmeza a lo largo del almacenamiento con una disminución de alrededor del 56.4% al igual que los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación, seguidos en orden decreciente por los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación los cuales mostraron una pérdida del 50%, siendo los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos los que presentaron la menor pérdida de la firmeza con valores del orden de 41.5, 43.8 y 45.8%, respectivamente.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 35B), estos presentaron una firmeza 24.8% menor a la mostrada por los octavos de piña 100% verde al inicio del almacenamiento. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

En el quinto día de la conservación los octavos control presentaron una firmeza de 3.9 Kg/cm², lo que significó una disminución del 12% con respecto al primer día del almacenamiento, en tanto que los octavos tratados mostraron una firmeza mayor a la de los



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

octavos control. Estadísticamente los octavos control y los tratamiento 0.5% AA-AC / 10 minutos no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$), pero sí la presentaron el resto de los tratamientos.

En el décimo día del almacenamiento los octavos control presentaron una mayor firmeza que los octavos tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C, registrando una firmeza de 3.58 Kg/cm^2 . Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los octavos tratados.

Al final de la conservación los octavos control de piña 100% amarilla presentaron una firmeza de 1.86 Kg/cm^2 , observándose una mayor firmeza en los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes (0, 3 y 10 min) con un incremento de la firmeza de alrededor del 46.4%, en tanto que los octavos tratados por inmersión con ácido ascórbico y ácido cítrico al 1% presentaron un aumento del 28.6% con respecto a los octavos sin tratamiento. Estadísticamente los octavos control presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los octavos tratados por inmersión con AA-AC e irradiación UV-C.

De acuerdo a los resultados mostrados con anterioridad se concluye que la firmeza de los octavos de piña mínimamente procesados se vio mayormente afectada por el estado de madurez en el que se procesaron los frutos, ya que como pudo observarse los octavos de piña 100% verde mantuvieron durante los quince días de almacenamiento una mayor firmeza que los octavos de piña 100% amarilla, esto debido a que en frutos no maduros la protopectina atrapa el agua formando una especie de malla, proporcionando una mayor firmeza. Con la maduración, esta sustancia disminuye y se va transformando en pectina soluble, que queda disuelta en el agua que contiene la fruta, produciéndose el ablandamiento de la fruta madura. No observándose un efecto de la concentración de antioxidantes o tiempo de exposición a irradiación UV-C.

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con trabajos de Hernández *et al.* (2007), quienes evaluaron en trozos de papaya y mango mínimamente procesados los cambios de firmeza en ambos estados de madurez (80 y 100%) atribuyéndolos



fundamentalmente al aumento de la actividad de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular, siendo la firmeza de los trozos de papaya y mango al 80% de madurez mayor a la de los trozos 100% de maduros. Contrario a lo observado para estos frutos, la firmeza de medias rodajas de piña 'Roja Española' mostraron una firmeza similar en dos estados de madurez y ligeramente superior al final del estudio en las rodajas con 80% de madurez (Hernández *et al.*, 2007). De igual forma Soliva-Fortuny *et al.* (2002) reportaron que las rodajas verde-maduras de manzana 'Golden delicious' mantuvieron mejor su firmeza inicial, seguidas por las parcialmente maduras y las maduras. Confirmando que la degradación de la textura esta estrechamente relacionada con el proceso de maduración.

Contrario a lo reportado en este estudio Lamikanra *et al.* (2005) encontraron en trozos de melón procesados bajo irradiación UV-C una mayor retención de la firmeza que en los frutos testigos, al parecer por un mecanismo relacionado con la inactivación de las enzimas de degradación de la pared celular, sin embargo, en el presente estudio no se observó un efecto por el tratamiento de irradiación. Según Barka *et al.* (2000) la exposición a UV-C reduce la degradación enzimática de la pared celular, por lo que estas enzimas pueden ser blanco de la irradiación UV-C para inducir proteólisis o disminuir su síntesis lo que explica el retraso en el proceso de maduración. Contrario a lo anteriormente descrito otros estudios señalan que el blanco de la irradiación UV-C son la membrana celular y la pared celular, ya que los componentes de estas absorben energía en el rango ultravioleta; y al mismo tiempo la UV-C, genera especies reactivas al oxígeno que causan estrés oxidativo que afecta la estabilidad de la pared y de la membrana celular (Rivera *et al.*, 2007).

En el trabajo realizado por González-Aguilar *et al.* (2004) se encontró que la firmeza de rodajas de piña 'Cayena lisa' disminuyó continuamente durante el almacenamiento a 10°C, durante 14 días. Observándose que el tratamiento con agentes antioxidantes (ácido isoascórbico, ácido ascórbico y N-acetilcisteína) redujo significativamente la pérdida de la firmeza y mantuvo la calidad de la piña en rebanadas en mayor medida; la reducción de la pérdida de la firmeza por los agentes antioxidantes se relacionó con la represión de los procesos de deterioro y la disminución del metabolismo de las rebanadas de piña 'Cayena lisa', que a su vez impidió la ruptura de tejidos, proponiendo que la pérdida de la firmeza



durante el almacenamiento se debió a la hidrólisis enzimática de los componentes de la pared celular.

5.3.6 Cambios en el contenido de ácido ascórbico

La vitamina 'C' ó ácido ascórbico es una cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y muy reductor, por lo que se oxida fácilmente (Badui, 1999). Durante el almacenamiento pueden presentarse pérdidas de esta vitamina dependiendo de la temperatura de almacenamiento, siendo mucho menor a temperatura de 0°C (Primo, 1997).

La Figura 36 muestra el efecto de la aplicación del tratamiento con agentes antioxidantes e irradiación UV-C sobre el contenido de ácido ascórbico de los octavos de piña mínimamente procesados, almacenados a 5°C y 85% H.R., observándose una disminución gradual en ambos estados de madurez conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento.

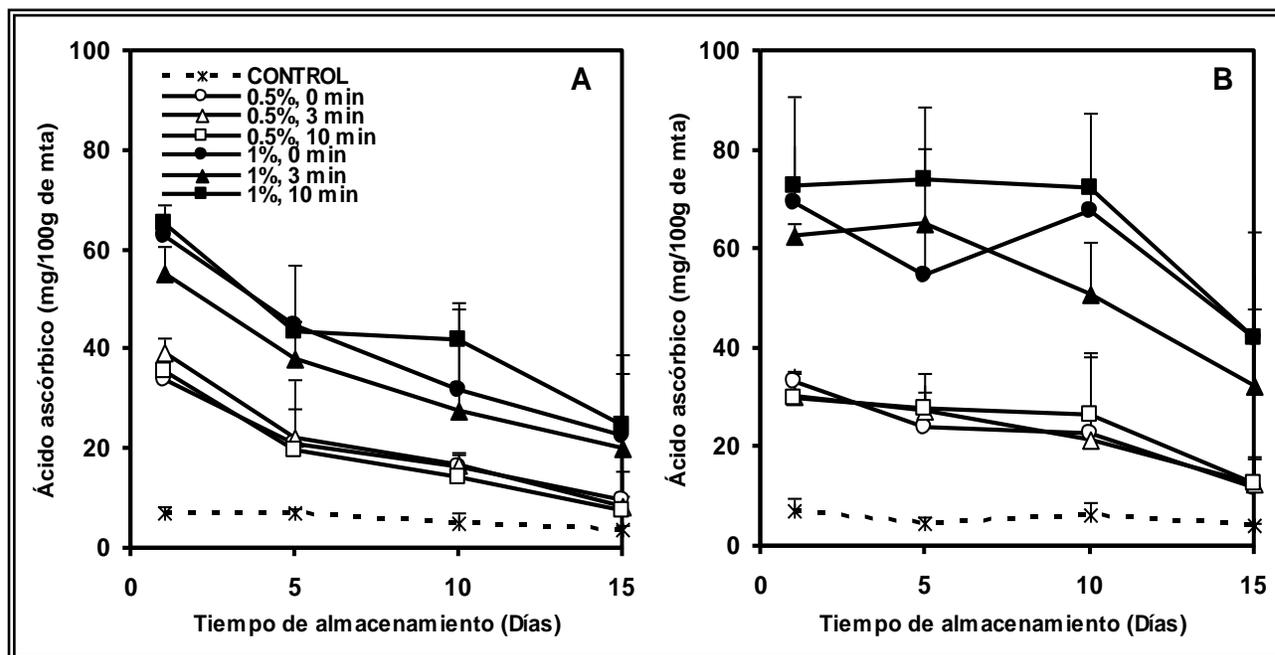


Figura 36. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el contenido de ácido ascórbico del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 36A muestra que la aplicación por inmersión de agentes antioxidantes influyó notoriamente en el contenido de ácido ascórbico del producto ya que el primer día de almacenamiento el control de piña 100% verde presentó un valor de 7.2 mg de vitamina 'C', mientras que los octavos tratados con la concentración al 0.5% de AA y AC presentaron un contenido de ácido ascórbico de entre 33.7–39.2 mg, en tanto que los octavos tratados con la concentración al 1% de agentes antioxidantes mostraron valores de 55.2-65.3 mg. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos tratamientos por inmersión con AA-AC e irradiación y el control.

En el quinto día de la conservación los octavos sin tratamiento de piña 100% verde no registraron cambios en su contenido ácido ascórbico al mantener un valor de 7.2 mg, en tanto que los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes presentaron contenidos de ácido ascórbico correspondientes de 20.7, 22.1 y 17.9 mg para los tratamientos de 0, 3 y 10 minutos de irradiación, respectivamente; mientras que los octavos tratados al 1% de AA-AC mostraron valores de 45, 38.9 y 43.7 mg, para 0, 3 y 10 minutos de irradiación, respectivamente. Estadísticamente los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control.

Posteriormente en el décimo día del almacenamiento los octavos control así como la mayoría de los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación registraron una disminución en su contenido de ácido ascórbico de alrededor del 26.5%, a excepción al tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, el cual presentó una disminución del 4.4%. En este día de la conservación el control registró un contenido de ácido ascórbico de 5 mg, en tanto que los octavos tratados al 0.5% de AA-AC mostraron un valor de alrededor de 15.9 mg, mientras que los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes presentaron un contenido de ácido de ascórbico de 31.9, 27.5 y 41.8 mg, en las piñas tratadas por 0, 3 y 10 minutos de irradiación, respectivamente. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos irradiados por 10 minutos (0.5% AA-AC y 1% AA-AC), pero no se encontró entre el resto de los octavos tratados.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al final de la conservación los octavos control presentaron un contenido de ácido ascórbico de 3.9 mg, en tanto que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC presentaron aproximadamente 6 veces más vitamina 'C' que los octavos control a diferencia de los tratamientos al 0.5% de AA-AC que tan solo presentaron aproximadamente 2 veces más vitamina 'C' que los octavos control, al término del almacenamiento los octavos control y los octavos tratados al 0.5% y 1% de agentes antioxidantes presentaron una disminución correspondiente del 46, 76.4 y 63.3% con respecto al primer día de conservación. Estadísticamente los tratamientos al 0.5% AA-AC / 3 min presentaron niveles de vitamina 'C' similar al control, y todos los demás tratamientos presentaron niveles significativamente superiores ($p \leq 0.05$) al control.

Con respecto a los octavos mínimamente procesados de piña 100% amarilla (Fig. 36B), estos presentaron un mayor contenido de ácido ascórbico a lo largo del almacenamiento en comparación con los octavos de piña 100% verde. Observándose un contenido de ácido ascórbico de 7.3 mg para los octavos control y valores de alrededor del 31.1 mg para los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes, en tanto que los octavos tratados al 1% de AA-AC presentaron valores de alrededor de 68.1 mg de vitamina 'C'. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes.

El quinto día de la conservación los octavos control presentaron una disminución del 38% al registrar un contenido de ácido ascórbico de 4.6 mg, en tanto que los octavos tratados al 0.5% de AA-AC mostraron un valor de alrededor de 26.4 mg vitamina 'C', el cual se tradujo en un incremento de 5.8 veces más ácido ascórbico que el presentado por los octavos control, mientras que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC presentaron un contenido de ácido ascórbico de 54.5, 65 y 73.8 mg, para los tratamientos por 0, 3 y 10 minutos de irradiación, respectivamente. Cabe señalar que en este día del almacenamiento los octavos control así como los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min) presentaron una fuerte disminución del contenido de ácido ascórbico al registrar disminuciones correspondientes del 38, 28 y 21.1%. Estadísticamente los octavos control y los octavos de los tratamientos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí, pero no la presentaron los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el décimo día del almacenamiento los octavos control presentaron un contenido de vitamina 'C' de 6.4 mg, mientras que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC presentaron valores de ácido ascórbico aproximadamente 4 veces mayores, en tanto que el contenido de vitamina 'C' registrado para los tratamientos al 1% AA-AC fue aproximadamente 10 veces mayor que el control. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 min.

Al término de la conservación se registró un valor de 4.06 mg de vitamina 'C' para los octavos sin tratamiento y de alrededor de 12.4 mg para los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes, mientras que los octavos tratados al 1% presentaron un contenido de ácido ascórbico correspondiente de 42, 32.5 y 42.1 mg para los tratamientos 0, 3 y 10 minutos de irradiación. Estadísticamente los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control, pero no la presentaron tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación.

Cabe mencionar que para este estado de madurez durante el tiempo de almacenamiento del producto mínimamente procesado se presentaron al igual que para los octavos de piña 100% verde las menores pérdidas de vitamina 'C' para los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes, encontrándose para los tratamientos 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3min y 1% AA-AC/10 minutos valores de pérdida del 39.4, 48.2 y 42%, mientras que los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 minutos presentaron valores de 64.3, 58.4 y 57.5%, respectivamente. Cabe señalar que octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes, presentaron alrededor de 9.6 veces más vitamina 'C' que los octavos control, mientras que los octavos tratados al 0.5% presentaron alrededor de 3 veces más vitamina 'C' que los octavos control. Observándose que la refrigeración ayudó a mantener los niveles de vitamina 'C'.

Fan *et al.* (2005) reportaron que con la adición ascorbato de calcio (7%) tajadas de manzana 'Gala' presentaron 70 veces más ácido ascórbico que las tajadas que no fueron tratadas, lo que indica que el ascorbato penetró en los tejidos de la fruta (y/o se unió a la superficie de la



tajada). Observándose al igual que en este trabajo una rápida disminución de los niveles de ácido ascórbico durante el almacenamiento. Al término del almacenamiento los niveles de ácido ascórbico de las tajadas de manzana tratadas presentaron todavía niveles de 30 a 45 veces superiores a las tajadas no tratadas después de 3 semanas de almacenamiento a 10°C. En tanto que González-Aguilar *et al.* (2008) reportaron una disminución significativa ($p \leq 0.05$) del contenido de ácido ascórbico en tajadas de mango 'Tommy Atkins' debida al tiempo de irradiación UV-C y al tiempo de almacenamiento del producto; el contenido más alto de ácido ascórbico se presentó en los frutos control, siendo las tajadas irradiadas por 10 minutos los que presentaron el contenido más bajo.

Contrario a lo observado en este trabajo Sichmann *et al.* (2006) encontraron que el contenido de ácido ascórbico de kiwi mínimamente procesado almacenado a 1°C y 65% de H.R., se mantuvo constante a lo largo del almacenamiento.

5.3.7 Cambios en el color

El color se define como la parte de la energía radiante que el humano percibe mediante las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo. Los alimentos, tanto en forma natural como procesada, presentan un color característico, y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica; cualquier cambio que éste sufra puede causar el rechazo de los productos (Badui, 1999). En la piña la coloración de la pulpa se debe a la presencia de sustancias, de tipo carotenoide como β caroteno y el 3, 3'-dihidroxi- α caroteno (Luteína) (Rodríguez, 1980).

5.3.7.1 Luminosidad

En la Figura 35 se puede observar el efecto del tratamiento con agentes antioxidantes e irradiación UV-C sobre la luminosidad de los octavos de piña mínimamente procesados almacenados a 5°C y 85% H.R. Observándose a lo largo del almacenamiento un incremento en la brillantez tanto de los octavos tratados como de los octavos control.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

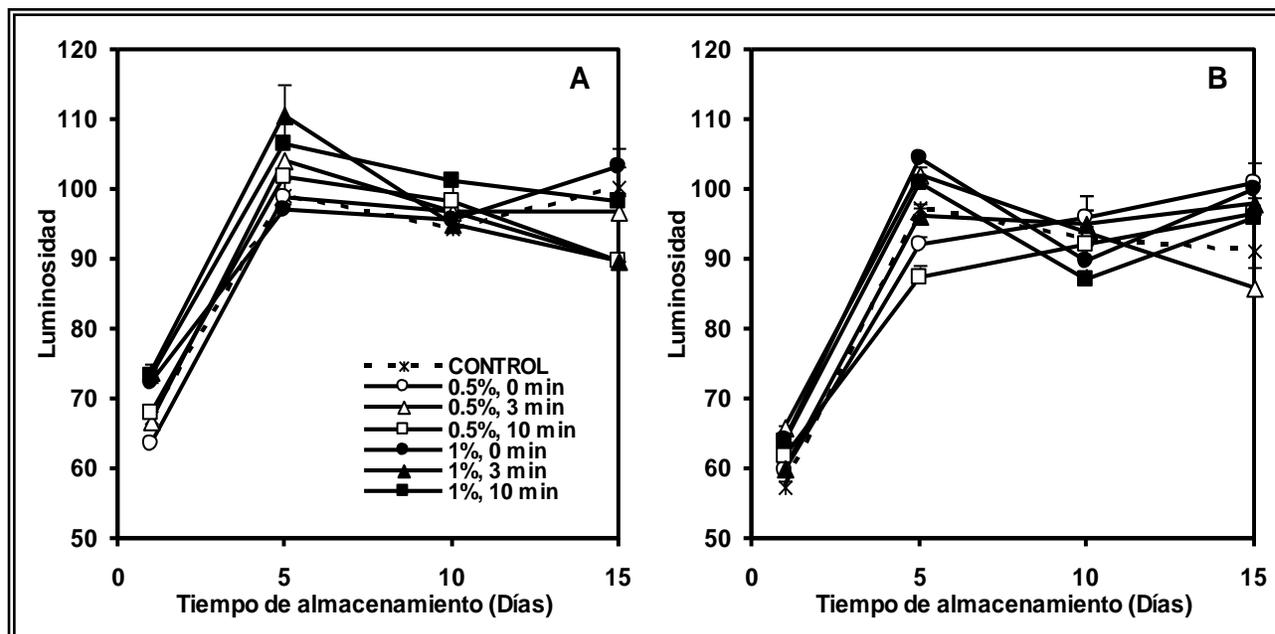


Figura 37. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la luminosidad del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

La Figura 37A indica que al inicio del almacenamiento el tratamiento no mostró un efecto en la luminosidad que va de una reflexión nula ($L=0$) a reflexión difusa perfecta ($L=100$). En este día de la conservación el control de piña 100% verde mostró un valor $L=67.4$. No encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min y el control.

En el quinto día de la conservación los octavos control presentaron un aumento en la luminosidad del 47.2%, al registrar un valor de $L=99.2$, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron un incremento del 55.5%, seguidos por los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación con 50%, mientras que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron un aumento con respecto al primer día del almacenamiento del 34.4 y 45.4%, respectivamente. Cabe señalar que en este día de la conservación los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min) presentaron una luminosidad 0.5 y 2% menor a la exhibida por los octavos control. En este



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

día de la conservación el control no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes (0, 3 y 10 min) y el tratamiento 1% AA-AC/3 min, pero sí la presentaron el resto de los tratamientos.

El décimo día del almacenamiento tanto los octavos control como los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron una disminución de la luminosidad, observándose un valor de $L = 94.5$ para los octavos control. En este día de la conservación los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí, pero no la presentaron el resto de los tratamientos.

Al final del almacenamiento el control presentó un valor de $L = 100.2$, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 min presentaron una luminosidad 10.4% a menor a la exhibida por los octavos control, seguidos por los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación con 2.7%, mientras que el tratamiento 1% AA-AC/0 minutos de irradiación mostró una luminosidad 3% mayor a la de los octavos control. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos con respecto al control.

Cabe señalar que durante los 15 días de almacenamiento los octavos control presentaron un incremento de la luminosidad del 48.6%, seguido de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 minutos con un aumento de alrededor del 43%, mientras que los octavos tratados por 10 minutos de irradiación (0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/10 min) mostraron un incremento del 33.1%, en comparación con el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos el cual mostró un aumento del 21.5% con respecto al primer día del almacenamiento.

Con respecto a los octavos de piña 100% amarilla estos exhibieron un comportamiento similar a los octavos de piña 100% verde (Fig. 37B). Al inicio del almacenamiento los octavos sin tratamiento presentaron un valor de $L = 57.3$, en tanto que los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron una luminosidad mayor a la de los octavos control. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control



y el tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos, sin embargo no la hubo entre los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos.

El quinto día de la conservación el control mostró un incremento del 70.3%, al registrar un valor de $L = 97.5$, en tanto que los octavos tratados presentaron un incremento de alrededor del 55%. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación, pero sí se encontró entre el resto de los tratamientos.

El décimo día del almacenamiento los octavos de piña 100% amarilla mostraron una reducción de la luminosidad del 4.7% con respecto al quinto día de la conservación. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/0 min, pero sí se halló entre el resto de los tratamientos.

Al concluir el tiempo de almacenamiento la mayoría de los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron una mayor luminosidad que los octavos control; encontrándose para los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 minutos) una luminosidad 10.4% mayor a la del control, 7.5% para el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos y 5.7% para los octavos tratados por 10 minutos de irradiación (0.5% AA-AC y 1% AA-AC), mientras que el tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos presentó una luminosidad 16.5% menor a la mostrada por los octavos control. Estadísticamente el control junto con los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 min minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí, pero no la presentaron los octavos tratados por 10 minutos de irradiación (0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/10 min) y el tratamiento 1% AA-AC/3 min.

La luminosidad es un parámetro utilizado como la medida subjetiva confiable del oscurecimiento enzimático que ocurre en diferentes frutos. Por lo general, una disminución en el valor de L significa un oscurecimiento en la superficie del tejido (Beirão-da-Costa *et al.*, 2006; Villegas-Ochoa *et al.*, 2005).



En el trabajo realizado por Hernández *et al.* (2007) se encontró que la luminosidad de los productos mínimamente procesados se ve afectada por el estado de madurez del fruto, observándose que trozos de mango 'Keitt' procesados al 80% de madurez presentaron siempre valores de L superiores al de los trozos 100% maduros, en tanto que rodajas de piña 'Española roja' procesadas al 80% de madurez exhibieron una luminosidad superior a la de las rodajas de piñas 100% maduras y aunque no presentaron diferencias importantes en la luminosidad de trozos de papaya 'Maradol' en los dos estados de madurez, los trozos al 80% de madurez siempre se encontraron por encima de los trozos 100% maduros durante los doce días de la conservación. De igual forma Tovar *et al.* (2000) reportaron que la luminosidad de tajadas de mango 'Kent' fue mayor en las tajadas con un menor estado de madurez. Así mismo Soliva-Fortuny *et al.* (2002) indicaron que el estado de madurez tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la calidad de rodajas de manzana 'Golden delicious' mínimamente procesadas. Resultados similares se encontraron en el presente trabajo, en el cual los octavos de piña 100% verde presentaron una mayor luminosidad al inicio y término de la conservación que los octavos de piña 100% amarilla.

Quevedo-Preciado *et al.* (2005) mostraron que los inhibidores del oscurecimiento tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en la luminosidad de cuadros de nopal mínimamente procesados, ya que el tratamiento con ácido cítrico (AC) mostró la mayor disminución en este parámetro en tanto que los tratados con ácido ascórbico (AA) la menor, es decir, los nopales tratados con AA se oscurecieron menos que los tratados con AC. Por otra parte Zarazúa-Escobar *et al.* (2005) informaron que al adicionar antioxidantes (0.6 g de β -tocoferol + 0.8 g de ácido ascórbico + 0.4 g de butilhidroxi-tolueno por litro) al aguacate mínimamente procesado se ve incrementado su brillo, con lo que el producto se conservó aceptable durante el período de almacenamiento (13 días) con las mismas características.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la experimentación se puede concluir que el tratamiento por inmersión con ácido ascórbico y ácido cítrico e irradiación UV-C no presentó un efecto benéfico en la luminosidad de los octavos de piña mínimamente procesados, ya que el control presentó el mismo comportamiento que los octavos tratados durante los quince días de almacenamiento en ambos estados de madurez.



5.3.7.2 Tono (°Hue)

En la Figura 38 se muestran los cambios en el tono (°Hue), donde 0= rojo-púrpura, 90= amarillo, 180= azul-verde y 270= azul. Observándose comportamientos muy similares para ambos estados de madurez.

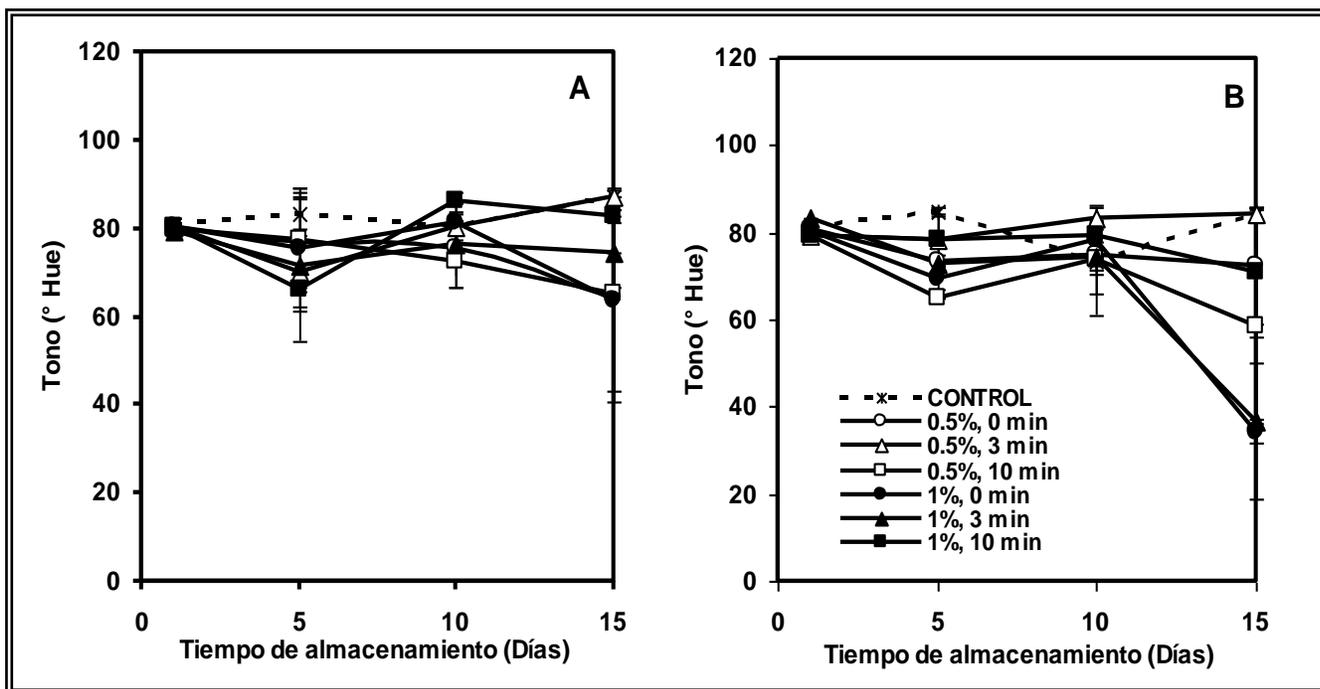


Figura 38. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el tono del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

En el primer día del almacenamiento se registraron valores de tono muy similares entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, presentándose para los octavos control de piña 100% verde (Fig. 38A) un valor de Hue= 80.8; no encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados.

En el quinto día de la conservación los octavos control presentaron un incremento del tono del 3.4% con respecto al primer día del almacenamiento al registrar un valor de Hue= 83.5.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados por inmersión con AA-AC.

El décimo día del almacenamiento el control junto con los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación registraron una disminución del color de alrededor del 4%. En este día de la conservación no se encontró diferencia ($p \geq 0.05$) significativa entre el control y los octavos tratados por 0 y 3 minutos de irradiación, pero sí se encontró en los octavos tratados por 10 minutos de irradiación.

Al final de la conservación el control de piña 100% verde presentó un valor de tono de 87.2 al igual que los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes y 3 minutos de irradiación. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos con tratamiento.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 38B) estos presentaron un comportamiento similar al exhibido por los octavos de piña 100% verde al inicio de la conservación; registrándose un valor de Hue= 81.4 para los octavos control, en tanto que el tono de los octavos tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C fue menor al de los octavos sin tratamiento. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados por inmersión con AA-AC.

En el quinto día del almacenamiento los octavos control presentaron un incremento del 4.2% con respecto al primer día de la conservación al registrar un valor de Hue= 84.8. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y el tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación.

En el décimo día de la conservación los octavos sin tratamiento, mostraron una disminución en la tonalidad del 13.6% al presentar un valor de Hue= 73.3. Cabe señalar que en este día del almacenamiento los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron un incremento promedio del 5.6% con respecto a los octavos sin tratamiento. Estadísticamente el control y los octavos tratados no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre sí.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general el comportamiento de los octavos de piña 100% amarilla al término de la conservación fue similar al de los octavos de piña 100% verde. Estadísticamente el control junto con los tratamientos, 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

Contrario a lo obtenido en este estudio Hernández *et al.* (2007) reportaron que la tonalidad de los trozos de mango 'Keitt' y de piña 'Española roja' procesados al 80% de madurez fueron siempre superiores que las de los trozos 100% maduros, observándose para ambos frutos una disminución en este parámetro a lo largo de doce días de conservación a 5°C. En tanto, que los trozos de papaya 'Maradol' al 80% de madurez se mantuvieron constantes indicando que la fruta conservó su color naranja-rojizo durante el periodo de almacenamiento; comportamiento que concuerda con lo obtenido en este trabajo para ambos estados de madurez (80% y 100%).

Al igual que en este estudio trabajos con otros frutos (mango, piña, aguacate) indicaron una disminución de los valores de tono al avanzar el tiempo del almacenamiento (Souza *et al.*, 2007; Marrero y Kader, 2006; Zarazúa-Escobar *et al.*, 2005). En contraste con lo anteriormente señalado Tovar *et al.* (2000) registraron un aumento en el tono de tajadas de mango 'Kent' alcanzando valores cercanos a 100 al terminó del almacenamiento, no encontrándose diferencia entre los tratamientos.

Cabe señalar que en estudios realizados por Pointing *et al.* (1972) constataron que el efecto combinado de ácido ascórbico (1%) y cloruro de calcio (0.1%) fue suficiente para inhibir de manera eficaz los cambios de color de rodajas de manzana por varias semanas. Además las combinaciones de 1% de ácido ascórbico y 1% de cloruro de calcio, aplicados por inmersión han reducido con éxito el pardeamiento enzimático en pera, ampliando la vida útil de este producto por más de una semana (Rosen y Karder, 1989).

De acuerdo con los resultados anteriormente expuestos se puede concluir que el tratamiento con agentes antipardeamiento e irradiación UV-C presentó un efecto no deseable en el tono de los octavos de piña mínimamente procesados ya que este parámetro fue menor al exhibido por los octavos control, cabe señalar que al final del almacenamiento si se observó



un efecto del estado de madurez sobre el color del producto tratado ya que para los octavos de piña 100% amarilla se presentaron mayores disminuciones en el valor de este parámetro en comparación con los de piña 100% verde.

5.3.7.3 Croma

En la Figura 39 se pueden observar los cambios en la cromaticidad, la cual nos indica la intensidad del color, este parámetro fue evaluado en los octavos tratados, así como en los octavos control de ambos estados de madurez. Encontrándose una clara disminución en este parámetro a lo largo del almacenamiento a 5°C y 85% de H.R.

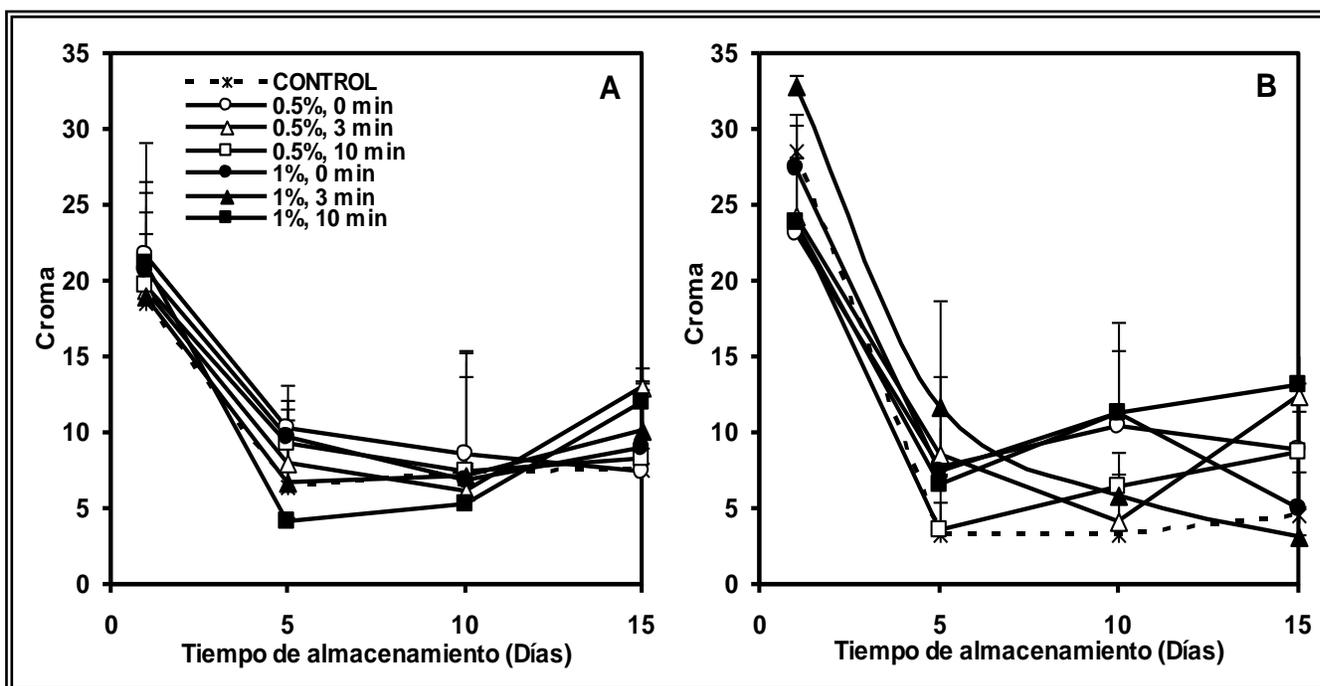


Figura 39. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el cromatismo del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

En la Figura 39A, se muestra que los valores de cromaticidad del control así como de los octavos tratados al inicio de la conservación se encontraron alrededor de 20, observándose



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

un valor de croma al inicio del almacenamiento de 18.5 para el control, estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados en este día del almacenamiento.

Durante el quinto día del almacenamiento los octavos de piña 100% verde registraron una fuerte disminución en su cromaticidad presentándose una disminución del 65.5% para los octavos control y de alrededor del 52.8% para los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/0 minutos de irradiación, seguidos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación con una disminución del 58.7%, mientras que los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos registraron una disminución del 64 y 81%, respectivamente. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos irradiados por 3 minutos pero sí la hubo entre los octavos no irradiados e irradiados por 10 minutos.

El décimo día de la conservación no se registró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos sin tratamiento y los octavos tratados. Al término del almacenamiento los octavos control de piña 100% verde mostraron un valor de croma de 7.6. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados al final del almacenamiento.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 39B) estos presentaron un comportamiento similar a los de piña 100% verde ya que también registraron una fuerte disminución de la cromaticidad conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, cabe señalar que en este estado de madurez los octavos presentaron una intensidad del color 31% mayor a la presentada por los octavos de piña 100% verde el primer día del almacenamiento. Al inicio de la conservación el control mostró un valor de croma = 28.5. Estadísticamente los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control.

En el quinto día del almacenamiento los octavos de piña 100% amarilla registraron una fuerte disminución de la intensidad del color, presentándose una disminución del 88.5% para los octavos control. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los octavos tratados. El décimo día de la conservación el control no mostró cambios en la intensidad del color, manteniendo un valor de croma de 3.3. En este día del almacenamiento los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

Al finalizar el tiempo de almacenamiento el control presentó un valor de croma de 4.6, lo que significó un aumento de la intensidad del color del 41% con respecto al décimo día de la conservación, en tanto que los octavos tratados mostraron en general una mayor cromaticidad a la exhibida por los octavos control. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los tratamientos.

En el estudio realizado por Hernández *et al.* (2007) se observó que los valores de Croma de trozos de mango 'Keitt' y rodajas de piña 'Española roja' descendieron durante los doce días de conservación a 5°C, registrándose para ambos casos valores superiores de intensidad de color para los cortes procesados al 80% madurez.

Al igual que en el presente trabajo, Sichmann *et al.* (2006); Souza *et al.* (2007) y Tovar *et al.* (2000), observaron una disminución de la cromaticidad en cortes de kiwi 'Hayward', mango 'Keitt' y mango 'Kent', durante el almacenamiento lo que sugirió una pérdida de la pureza del color. Esta disminución se atribuyó a una mayor actividad metabólica en el tejido de la fruta debido a la operación de corte en rodajas y a la temperatura de almacenamiento (Tovar *et al.*, 2000).

De acuerdo con los resultados mostrados con anterioridad se puede decir que el estado de madurez con el que se elaboró el producto tuvo un claro efecto sobre la intensidad de color ya que, los octavos de piña 100% amarilla presentaron un mayor valor de croma que los octavos elaborados con piña 100% verde, observándose de igual forma un efecto por la aplicación de agentes antioxidantes e irradiación UV-C.



5.3.8 Pérdida de peso

La pérdida de peso de los productos vegetales, esta relacionada con la pérdida de líquidos, especialmente de agua (Pérez, 2008).

La Figura 40 muestra el efecto que tuvo la aplicación de agentes antioxidantes (AA y AC) e irradiación UV-C en la pérdida de peso de los octavos de piña mínimamente procesados almacenados a 5°C y 85% de H.R. Observándose un claro efecto de la irradiación UV-C sobre la pérdida de peso del producto en ambos estados de madurez ya que conforme aumentó el tiempo de exposición a la radiación UV-C aumentó la pérdida de peso del producto.

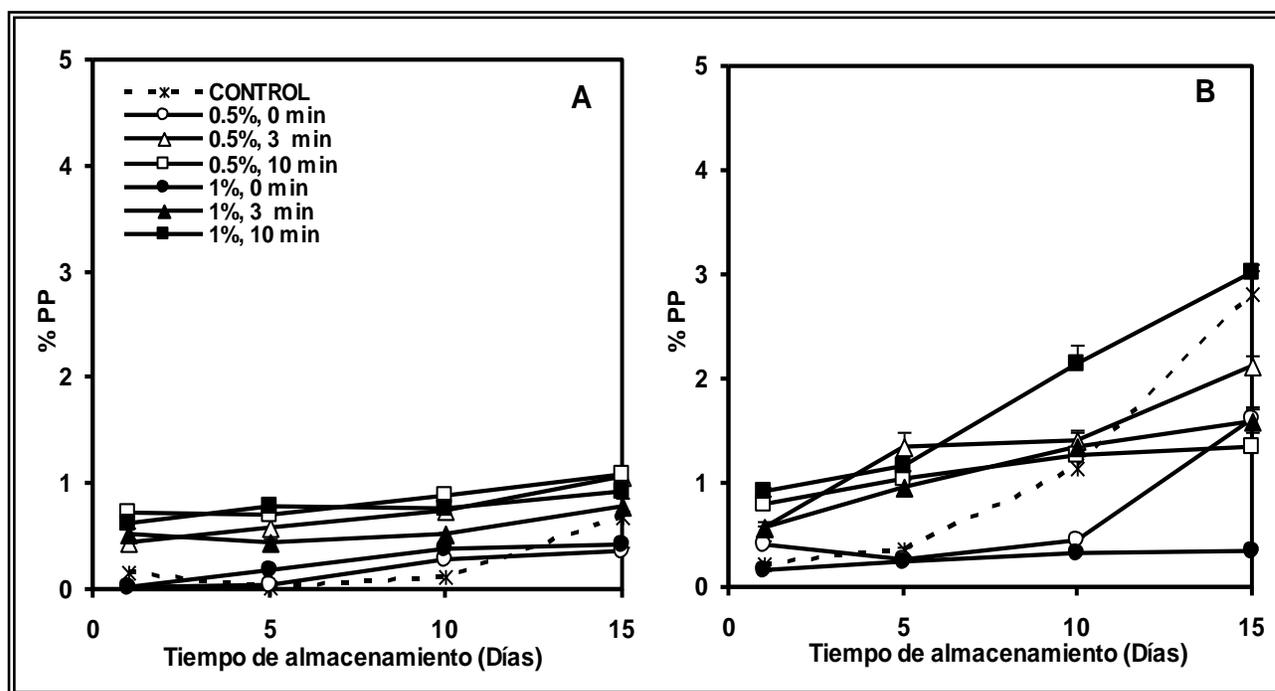


Figura 40. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la pérdida de peso del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

En el primer día del almacenamiento los octavos control de piña 100% verde (Fig. 40A) presentaron una pérdida de peso del 0.16%, seguidos en orden creciente por los octavos irradiación por 3 minutos (0.5% y 1% AA-AC) con una pérdida del alrededor del 0.49%,



mientras que los octavos irradiados por 10 minutos (0.5% y 1% AA-AC) presentaron una pérdida de peso de alrededor de 0.67%, con lo que respecta a los octavos que no fueron irradiados (0.5% y 1% AA-AC) estos presentaron una menor pérdida de peso que los octavos control del 0.014 y 0.026% para 0.5 y 1% de AA-AC, respectivamente, lo que se vio reflejado en una reducción de pérdida de peso de alrededor del 86.8% con respecto a los octavos control. Estadísticamente los tratamientos por irradiación UV-C y antioxidantes presentaron una mayor pérdida de peso que los frutos control, siendo significativa ($p \leq 0.05$) la diferencia entre los octavos de piña.

El quinto día de la conservación los octavos control presentaron una pérdida de peso de 0.03%, lo que significó una reducción del 84% con respecto al primer día de almacenamiento. Con lo que respecta a los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, estos presentaron una mayor pérdida de peso que los octavos control, encontrándose para los octavos tratados con antioxidantes sin irradiar (0.5% y 1% AA-AC) una pérdida de inferior al 0.2%, mientras que los octavos tratados por 3 minutos de irradiación (0.5% y 1% AA-AC) presentaron valores correspondientes de 0.57 y 0.44% para 0.5 y 1% de AA-AC, siendo los octavos tratados por 10 minutos de irradiación (0.5% y 1% AA-AC) los que presentaron la mayor pérdida de peso con valores de aproximadamente 0.70%. No encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y el tratamiento 0.5% AA-AC/0 min de irradiación.

El décimo día del almacenamiento los octavos control, así como los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron un incremento en la pérdida de peso, registrándose un porcentaje de 0.12% para los octavos control en este día de la conservación, en tanto que los octavos tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C presentaron un mayor porcentaje de pérdida de peso que los octavos sin tratamiento, registrándose para los octavos que no fueron irradiados (0.5% y 1% AA-AC) porcentajes de pérdida de peso de 0.28 y 0.38%, respectivamente mientras que para los octavos que fueron irradiados por 3 minutos (0.5% y 1% AA-AC) se presentaron porcentajes correspondientes de 0.75 y 0.51%, en tanto que los octavos irradiados por 10 minutos exhibieron valores correspondientes de 0.88 y 0.77% para 0.5 y 1% de AA-AC. En este día de la conservación



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

el control así como el resto de los tratamientos mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

Al término de la conservación los octavos que no fueron irradiados (0.5% y 1% AA-AC), presentaron un porcentaje de pérdida de peso de alrededor de 0.4%, el cual fue menor al exhibido por los octavos control de 0.68%, en tanto que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron valores de 0.78 y 0.92%, respectivamente, siendo los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min los que mostraron los mayores porcentajes de pérdida de peso con porcentajes cercanos al 1%. Estadísticamente se observó diferencia entre los octavos tratados y el control.

Como se puede apreciar en la Figura 40B la pérdida de peso fue mayor para los octavos mínimamente procesados de piña 100% amarilla, que para los octavos de piña 100% verde, ya que para el primer estado de madurez el porcentaje de pérdida de peso alcanzó un valor de alrededor de 1.83%, mientras que los octavos de piña 100% verde registraron un valor promedio de 0.76% al final del almacenamiento.

En el primer día de la conservación los octavos control de piña 100% amarilla presentaron un porcentaje de pérdida de peso de 0.22%, mientras que los octavos que no fueron expuestos a irradiación UV-C presentaron porcentajes de 0.41 y 0.15% para 0.5 y 1% de AA-AC, en tanto que los octavos tratados por 3 minutos de irradiación presentaron una pérdida de peso de alrededor de 0.56%, siendo los octavos irradiados por 10 minutos los que presentaron la mayor pérdida de peso con porcentajes aproximados de 0.85%. En este día del almacenamiento El tratamiento 1% AA-AC / 0 min de irradiación no presentó diferencia significativa con respecto al control, pero sí se presentó entre el resto de los tratamientos así como el resto de los tratamientos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

El quinto día del almacenamiento se observó un incremento de la pérdida de peso de los octavos de piña 100% amarilla, registrándose un porcentaje de pérdida de peso de 0.36% para los octavos control, lo que significó un incremento del 65.8% con respecto al primer día de la conservación, en tanto que los octavos tratados por radiación UV-C (3 y 10 min) presentaron una mayor pérdida de peso a la exhibida por los octavos control. No



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min, pero sí se encontró diferencia en los octavos irradiados por 3 y 10 minutos.

El décimo día de la conservación los octavos control mostraron un porcentaje de pérdida de peso de 1.15%. En este día del almacenamiento registró un valor de alrededor de 1.38% para los octavos tratados con 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación y porcentajes de 1.27% y 2.15% correspondientes a los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación. Con lo que respecta a los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC y 1% AA-AC), estos registraron al igual que en el quinto día de la conservación los menores porcentajes de pérdida de peso, con valores de 0.45 y 0.32%, respectivamente. Estadísticamente el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 min, no presentaron diferencia ($p \leq 0.05$) entre sí, pero sí la presentaron el resto de los tratamientos.

Al finalizar el tiempo del almacenamiento los mayores porcentajes de pérdida de peso los presentaron los octavos control y los octavos tratados con 1% AA-AC/10 minutos de irradiación con valores correspondientes de 2.8 y 3%, seguidos por los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación con 2.11%, en tanto que los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación presentaron un porcentaje de pérdida de peso de alrededor del 1.52%, siendo el tratamiento 1% AA-AC/0 minutos el que menor pérdida de peso registró al final de la conservación con un porcentaje de 0.35%, lo cual significó una disminución del 87.7% con respecto a los octavos sin tratamiento. No encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación y el control, pero sí entre el control y el resto de los tratamientos.

Es importante señalar que el agua de los frutos se pierde principalmente en estado de vapor (y no en estado líquido) a través de rutas primarias tales como heridas, estomas y cutícula. El agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueve en espacios intercelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura el ambiente intercelular, por ende lo que se tiene es vapor de agua saturado. La mayor concentración de vapor de agua está localizada en el producto y esta concentración a su vez, depende



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

enteramente de la temperatura, de allí que entre más diferencia de temperatura exista entre el producto y el aire circundante, mayor será el gradiente de concentración de vapor de agua y por lo tanto la posibilidad de pérdida de agua (Thompson, 2003).

En productos mínimamente procesados la operación de pelado y de cortado aumenta la superficie de contacto de la fruta con el ambiente, incrementándose la pérdida de agua, y por tanto la pérdida de peso del producto ya que mientras mayor es la superficie expuesta por unidad de volumen más rápida es la tasa de pérdida de agua (FAO, 1993).

En el estudio realizado por Zarazúa-Escobar *et al.* (2005) se encontró que la utilización de una película para vacío (Vacum 300) combinada con una temperatura de 5°C y una mezcla de antioxidantes (β -tocoferol, ácido L-ascórbico y butilhidroxi-tolueno a pH 7.0) redujo notablemente la pérdida fisiológica de peso (PFP) de rebanadas de aguacate almacenado a 5°C a lo largo de 13 días. De igual forma Blanch *et al.* (2008) mostraron que tratamientos al vacío y en atmósfera modificada son capaces de retrasar la maduración de rodajas de carambolo mínimamente procesado tratado por inmersión con cloruro de calcio (2%), ácido ascórbico (500 ppm) y ácido cítrico (1000 ppm), almacenado a 7°C y 90% de HR por 28 días.

En tanto que Sichmann *et al.* (2006) reportaron que frutos de kiwi mínimamente procesados presentaron una pérdida de peso máxima de 1.2% al final del experimento, atribuyendo al tipo de envase utilizado el cual restringió el intercambio gaseoso con el medio creando una atmósfera modificada en el interior.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que la aplicación de agentes antioxidantes no influyó de forma significativa en la pérdida de peso del producto, ya que no se aprecia tendencia directa o inversamente proporcional con la concentración de ácido ascórbico y cítrico utilizada, sin embargo si se observó un efecto por el tiempo de tratamiento de UV-C y el estado de madurez de la piña.



5.3.9 Desprendimiento de jugo

El desprendimiento de líquido de los tejidos se ha utilizado como una medida de la frescura, sin embargo éste constituye un importante factor de deterioro del producto (González-Aguilar *et al.*, 2004; Marrero y Kader, 2006).

En la Figura 41 se muestra el porcentaje de desprendimiento de jugo que presentaron los octavos de piña mínimamente procesados a lo largo del almacenamiento, observándose que el estado de madurez tuvo un efecto benéfico en la reducción de este parámetro en el caso de los octavos elaborados con piña 100% verde.

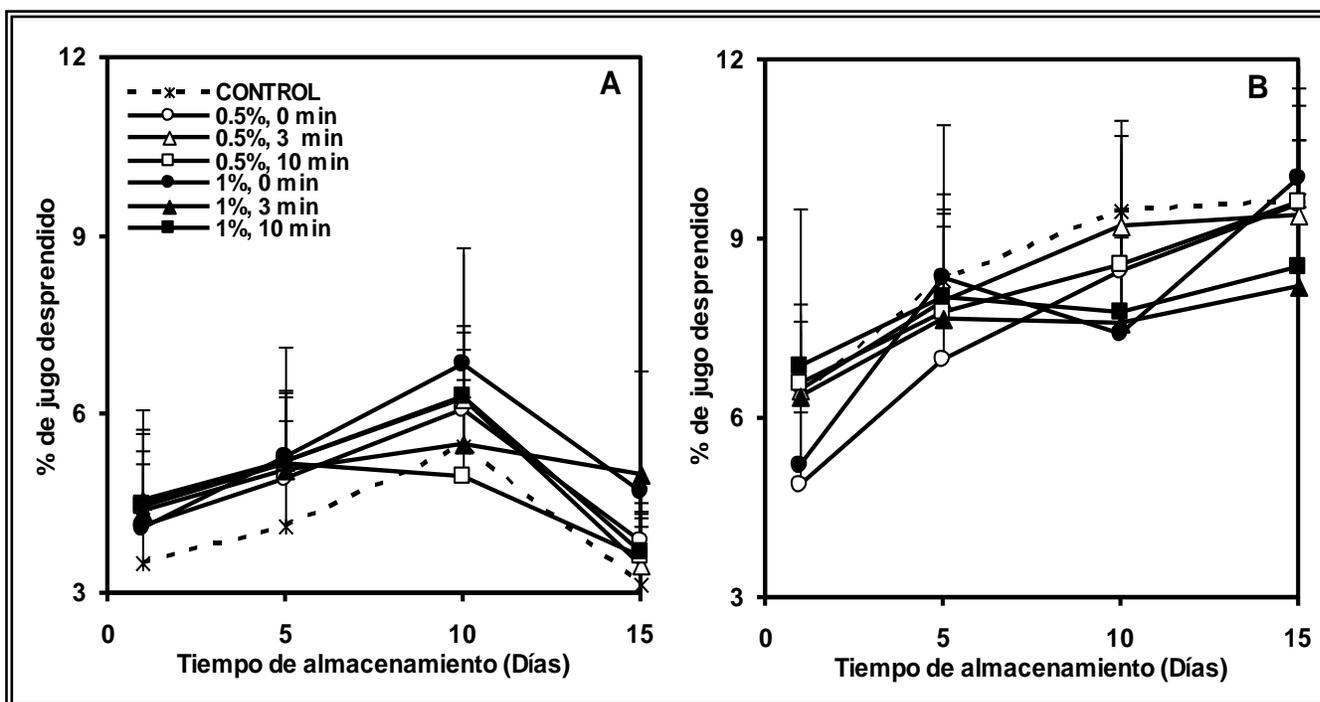


Figura 41. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en el porcentaje de jugo desprendido del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.

Como puede observarse en la figura 41A los octavos sin tratamiento de piña 100% verde presentaron un menor desprendimiento de jugo a lo largo del almacenamiento en comparación con los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C. Al inicio



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de la conservación el control presentó un porcentaje de desprendimiento de jugo de 3.52%, en tanto que los octavos irradiados por 3 y 10 minutos mostraron un porcentaje de desprendimiento de 4.45%, siendo los octavos que no fueron irradiados los que exhibieron los menores porcentajes de desprendimiento al registrar un valor de 4.1%. Estadísticamente se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos tratados y el control.

En el quinto día la conservación se observó un aumento en el porcentaje de jugo desprendido del 17.4% para los octavos control y de alrededor del 18.5% para los octavos tratados respecto al primer día del almacenamiento. Mostrando los octavos control un desprendimiento de 4.13%, mientras que los octavos tratados presentaron un incremento del 24.6% con respecto a los octavos sin tratamiento. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/0 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los octavos tratados.

En el décimo día del almacenamiento se registró el mayor aumento en el porcentaje de desprendimiento de jugo de los octavos de piña 100% verde, observándose para los octavos control un porcentaje de desprendimiento de 5.46%, el cual constituyó un aumento del 32.3% con respecto al quinto día del almacenamiento. Estadísticamente el control junto con los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre sí, pero si la mostraron los tratamientos 0.5% AA-AC / 10 min y 1% AA-AC / 0 minutos.

Al finalizar el tiempo del almacenamiento todos los octavos presentaron una disminución en el desprendimiento de jugo, encontrándose para los octavos sin tratamiento una disminución del 42.1% al registrar un porcentaje de desprendimiento del 3.2%, en este día de la conservación los octavos tratados por inmersión con AA y AC e irradiación UV-C mostraron un porcentaje de desprendimiento de jugo mayor al de los octavos control. En este día de conservación se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min con respecto al control.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla (Fig. 41B) estos presentaron un porcentaje de desprendimiento de jugo 44.4% mayor al presentado por los octavos de piña



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

100% verde en el primer día del almacenamiento. Cabe señalar que el primer día de la conservación se observó un efecto del tiempo de exposición a irradiación UV-C sobre el porcentaje de desprendimiento de jugo que presentaron los octavos de piña 100% amarilla, ya que conforme aumentó el tiempo de exposición, aumentó el porcentaje de desprendimiento de los octavos de piña mínimamente procesados. Registrándose un porcentaje de 6.3% para los octavos control, en tanto que los octavos que fueron irradiados por 10 minutos presentaron valores de desprendimiento de jugo de alrededor de 6.7%, seguidos por los octavos irradiados por 3 minutos con un porcentaje de desprendimiento de 6.4%, siendo los octavos que no fueron irradiados los que presentaron el menor porcentaje de desprendimiento de jugo con 5.1%. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min, pero si encontró entre los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 min.

El quinto día del almacenamiento se presentó un aumento en el porcentaje de desprendimiento de jugo tanto para los octavos sin tratamiento como para los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, en este día de la conservación los octavos control presentaron un porcentaje de desprendimiento de jugo de 8.3%, en tanto que los octavos tratados mostraron un desprendimiento de jugo menor al expuesto por los octavos sin tratamiento. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos sin tratamiento y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

En el décimo día de la conservación los octavos control junto con los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes presentaron un aumento en el porcentaje de desprendimiento de jugo del 15.3%, mientras que los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes mostraron una disminución del 5.1%, con respecto al quinto del almacenamiento. En este día del almacenamiento los octavos control exhibieron un porcentaje de desprendimiento de 9.5%, en tanto que los octavos tratados mostraron un menor porcentaje de desprendimiento de jugo con respecto a los octavos sin tratamiento: para los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min el porcentaje de desprendimiento fue 20.7% menor al expuesto por los octavos control, 17.7% para el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, 10% para



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación y 2.7% para el tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos control y los octavos del tratamiento 1% AA-AC/0 minutos de irradiación, pero no se encontró entre el resto de los tratamientos.

El último día del almacenamiento se mostró un aumento en el porcentaje de desprendimiento de jugo para los octavos control así como para los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C de alrededor del 12%. Estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los octavos control y los octavos tratados por con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

Al finalizar la experimentación los octavos de piña 100% verde registraron un menor desprendimiento de jugo que los octavos de piña 100% madura esto debido a que el contenido de agua de la pulpa de una piña no madura es escaso comparado con la madura, lo cual se atribuye a la dureza de los tejidos de la pulpa ya que cuando el fruto madura sus tejidos se reblandecen considerablemente, y los jugos se separan completamente de la pulpa.

González-Aguilar *et al.* (2004) encontraron que las rebanadas control de piña 'Cayena lisa' almacenadas a 10°C durante 14 días, produjeron el menor porcentaje de desprendimiento de jugo, en tanto que las rebanadas tratadas agentes antioxidantes (ácido iso ascórbico, ácido ascórbico y N-acetilcisteína) presentaron un incremento en este parámetro con respecto al control debido a que retuvieron más líquido en los tejidos, debido probablemente a la reducción de los procesos de deterioro inducidos por estos tratamientos. Este comportamiento fue observado en este estudio en los octavos de piña 100% verde.

Una evaluación del desprendimiento de jugo similar fue realizada por Marrero y Kader (2006) con rebanadas de piña selección 'SC3620' conservadas bajo un flujo continuo de aire humidificado, en el cual se observó que el volumen de jugo que se filtró de las piezas aumentó de forma lineal con el tiempo.



5.3.10 Cambios en la respiración

La respiración es el proceso metabólico más importante entre los implicados en la vida del producto hortofrutícola. El consumo de las principales reservas nutritivas del fruto hace que, en general, exista una relación inversa entre la tasa respiratoria del producto hortofrutícola y su vida comercial útil (Pérez y Ramos, 2006). La piña ha sido clasificada como un fruto no climatérico, ya que una vez que ha sido cosechada, su actividad respiratoria disminuye considerablemente, por lo que su estado de madurez no varía significativamente después de la cosecha (INFOAGRO, 2007).

La Figura 42 muestra los cambios en la respiración de los octavos mínimamente procesados tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, así como de los octavos no tratados (control) elaborados en dos diferentes estados de madurez (100% verde y 100% amarilla).

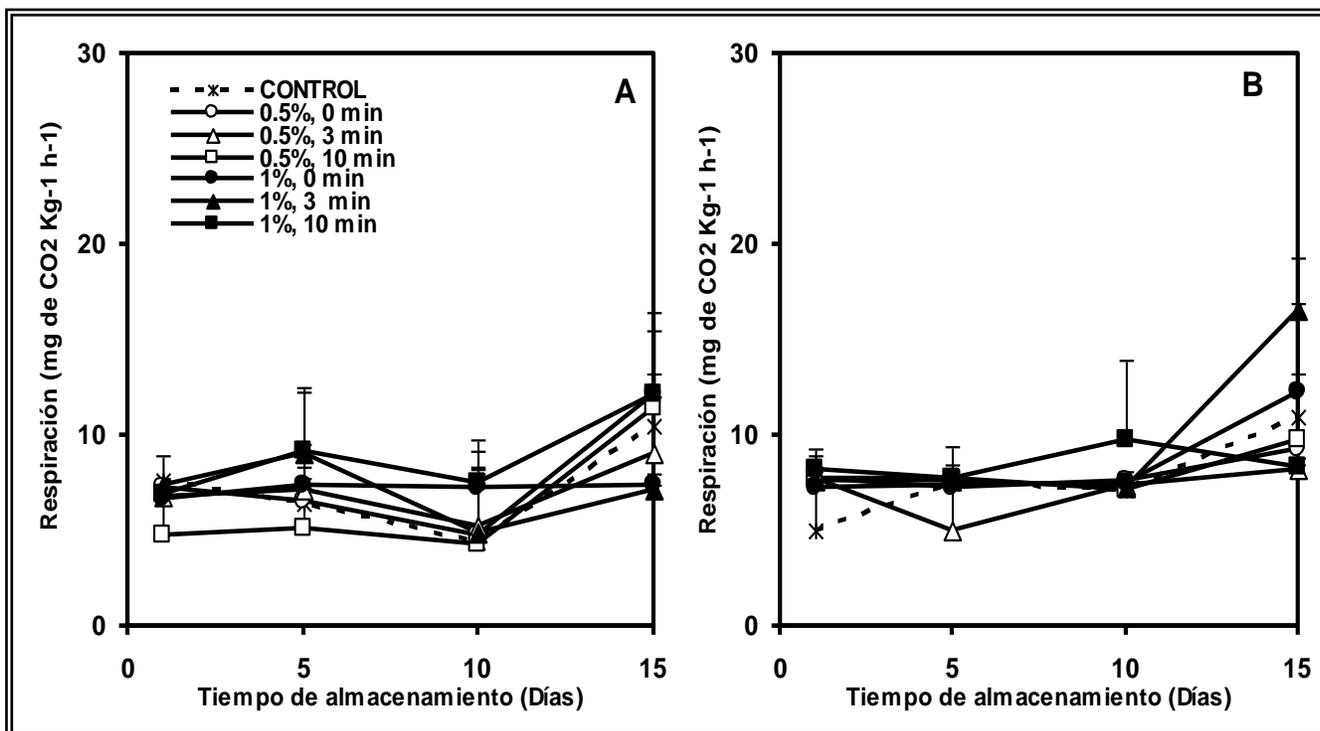


Figura 42. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la respiración del producto refrigerado mínimamente procesado. La desviación estándar de cada punto se representa con barras verticales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los octavos control de piña 100% verde, así como los octavos tratados por inmersión con ácido ascórbico y ácido cítrico e irradiación UV-C no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre sí, durante los quince días de la conservación.

Como puede apreciarse en la Figura 42A en el primer día del almacenamiento los octavos control mostraron la mayor tasa de respiración con 7.6 mg CO₂/Kg·h, seguidos por los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación los cuales presentaron 7.3 mgCO₂/Kg·h, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 min exhibieron una producción de CO₂ de 6.8 mg CO₂/Kg·h, siendo el tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación el que presentó la menor tasa de respiración con 4.8 mg CO₂/Kg·h constituyendo una disminución del 36.8% con respecto a los octavos sin tratamiento.

Al término de la conservación se observó un aumento en la tasa de respiración tanto de los octavos sin tratamiento, así como de los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C debida a la posible presencia de microorganismos en el producto. En este día del almacenamiento los octavos control presentaron un incremento en la respiración del 138.2% al registrar un valor de 10.5 mg CO₂/Kg·h.

Con lo que respecta a los octavos de piña 100% amarilla estos presentaron un comportamiento similar a los octavos de piña 100% verde. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes los primeros tres días de muestreo (1°, 5° y 10°), pero sí se encontró entre los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación al término del almacenamiento.

En el primer día de la conservación los octavos sin tratamiento de piña 100% amarilla (Fig. 42B) presentaron una tasa de respiración de 5 mg CO₂/Kg·h, en tanto que los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C mostraron una respiración mayor a la de los octavos control.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al término del almacenamiento el control junto con la mayoría de los octavos tratados presentaron un incremento en su tasa de respiración debida a la posible proliferación de microorganismos en el producto, observándose un incremento con respecto al décimo día de la conservación del 53.5% para los octavos control, en tanto que la mayoría de los octavos tratados presentaron una menor tasa de respiración que los octavos sin tratamiento; observándose para los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación una producción de 23.2% menor a la del control, 15.2% para los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/0 minutos de irradiación y 10.1% para el tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos, mientras que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos mostraron un incremento en la tasa de respiración correspondiente del 12.3 y 52% con respecto a los octavos control.

Durante la preparación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas aumentan los procesos metabólicos que causan deterioro ya que las heridas causan la producción de etileno que pueden acelerar la senescencia en tejidos vegetales y promover la maduración de frutos climatéricos (Zarazúa-Escobar *et al.*, 2005). Gorny *et al.* (1998) observaron que la tasa respiratoria de melocotones y nectarinas mínimamente procesados aumentaba a medida que lo hacia el estado de madurez de la fruta en el momento del corte y la temperatura de conservación. En tanto que Hernández *et al.* (2007) encontraron que la respiración de trozos de papaya 'Maradol', independientemente del grado de madurez en el que se procesó la fruta, resultó ser significativamente al inicio y al final del periodo de conservación. Esto se debió fundamentalmente al stress fisiológico que sufrió la fruta durante las operaciones de procesado y, posiblemente, al desarrollo de microorganismos durante los últimos días de conservación. En estudios con otros frutos Soliva-Fortuny *et al.* (2004) reportaron que cubos de pera maduros presentaron una mayor susceptibilidad a las lesiones durante el procesado mínimo al presentar un mayor estrés, que trajo consigo una modificación significativa en la composición del gas en el envase dirigiendo la formación de metabolitos indeseables y así la presencia de malos olores.

Al igual que en este trabajo Quevedo-Preciado *et al.* (2005) indicaron que cuadros de nopal mínimamente procesados almacenados a 5°C tratados con una mezcla de ácido ascórbico (0.5 M) y ácido cítrico (0.5 M) no presentaron diferencias ($p>0.05$) con el testigo,



apreciándose un incremento en la producción de CO₂ durante el almacenamiento. De igual forma Fan *et al.* (2005) encontraron que los niveles de CO₂ en tajadas de manzana tratadas con bajas dosis de irradiación ionizante no fueron significativamente diferentes ($p>0.05$) con respecto a la tajadas que no fueron irradiadas, sugiriendo que bajas dosis de radiación ionizante no altera sustancialmente la composición del gas de la atmósfera modificada generada en el envase. Así mismo Soliva-Fortunity *et al.* (2002); González-Aguilar (2004) encontraron el mismo comportamiento en cortes de manzana 'Golden Delicious' y piña 'Cayena lisa', respectivamente.

5.3.11 Determinación de la actividad enzimática de Polifenol oxidasa y Peroxidasa

El oscurecimiento enzimático es una de las causas más importantes de la pérdida de calidad de los productos mínimamente procesados ya que afecta su apariencia, ocasiona malos olores, y disminuye su valor nutrimental.

Para determinar el efecto de la aplicación de agentes antipardeamiento e irradiación UV-C en la apariencia del producto, se evaluó la actividad enzimática de la Polifenoloxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO) enzimas involucradas en el pardeamiento enzimático.

5.3.11.1 Actividad de la Polifenol oxidasa

Como se observa en la Figura 43 la actividad de la PPO se evaluó de forma residual, es decir, la relación de la actividad de dicha enzima en los octavos tratados con respecto a los octavos control a lo largo de los 15 días almacenamiento a 5°C y 85% de H.R.

Para el caso de la actividad residual de la PPO de los octavos de piña 100% verde sometidos a diferentes concentraciones de agentes antioxidantes y distintos tiempos de irradiación UV-C, la Figura 43A muestra que los porcentajes de actividad, mantuvieron un descenso hasta el décimo día del almacenamiento para después dar pie a un súbito aumento al final del almacenamiento.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

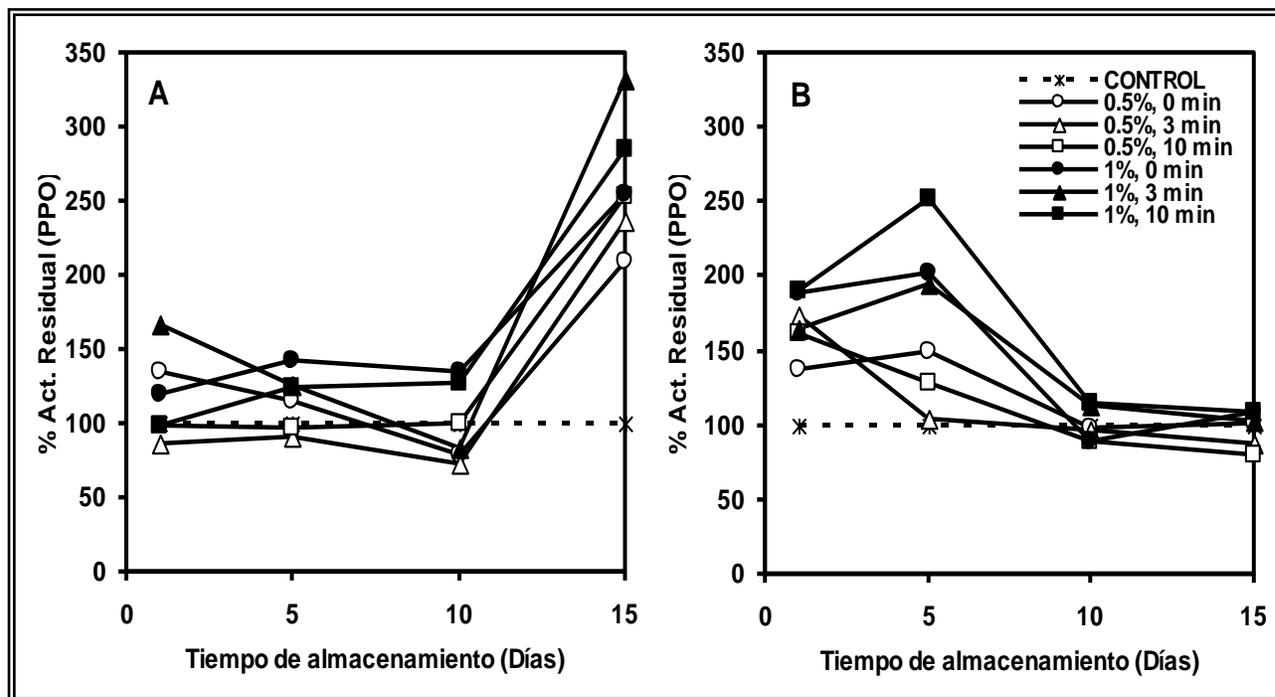


Figura 43. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la actividad residual de la polifenol oxidasa del producto refrigerado mínimamente procesado.

El primer día de almacenamiento se observó que, los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/10 minutos mostraron una menor actividad de PPO con respecto a los octavos control, las cuales fueron de 14, 1.5 y 2.2%, respectivamente; mientras que los octavos con los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos presentaron un mayor porcentaje de actividad residual con respecto al control con valores de 34.1, 20.4 y 67.3%, respectivamente. En este día de la conservación los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 minutos y 1% AA-AC/3 minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

El quinto día de la conservación, la actividad enzimática se presentó en dos grupos el primero integrado por los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min que mostraron una reducción en la actividad de la enzima correspondiente de 9 y 3.4% respecto a la actividad residual que registro el control. El segundo grupo integrado por los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 min, los cuales presentaron una mayor actividad enzimática a la exhibida por el control, las cuales fueron del



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

15, 42, 26 y 34%, respectivamente. Estadísticamente el control junto con los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/0 minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí.

En el décimo día del almacenamiento, la enzima presentó una marcada disminución para las condiciones 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/3 minutos en las que la actividad de la enzima fue alrededor del 21% menor con respecto a la del control, en tanto que los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación mostraron un aumento correspondiente del 35 y 27% con respecto a la actividad exhibida por el control, mientras que los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron un porcentaje de actividad residual igual al registrado por los octavos control. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 min.

El último día del almacenamiento, la enzima alcanzó los mayores porcentajes de actividad residual. En este día todos los octavos tratados, presentaron actividades por arriba de los octavos control. Observándose que los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes mostraron un menor aumento de la actividad de la PPO que los tratados con 1%. Teniéndose para los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min; 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación un aumento correspondiente del 108, 136, 152, 155, 232 y 185% con respecto al control. Estadísticamente los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 minutos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto a el control, pero no la mostraron el resto de los octavos tratados.

En la figura 43B se muestra el comportamiento que tuvo el porcentaje de actividad residual de la PPO en los octavos de piña 100% amarilla a lo largo del almacenamiento, observándose un comportamiento opuesto al presentado en la piña 100% verde, ya que se muestra un aumento de la actividad los primeros dos días del almacenamiento, para después presentar una disminución hacia el final de la conservación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer día de la conservación todos los tratamientos presentaron una mayor actividad enzimática de la PPO con respecto a los octavos control observándose que los mayores porcentajes correspondieron a los octavos tratados al 1% de los agentes antioxidantes, presentando un aumento de la actividad de alrededor del 81%, mientras que los octavos tratados por inmersión al 0.5% de AA y AC mostraron un incremento del 57% con respecto a los octavos control. Estadísticamente los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/10 min presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control.

En el quinto día de la conservación los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron un aumento del porcentaje de actividad residual de la PPO, siendo los tratamientos de 0.5% AA-AC/0 min; 1% AA-AC/0 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 min, los que mostraron un incremento de la actividad con respecto a los octavos control y al primer día de la conservación, observándose aumentos correspondientes del 50, 102, 95, y 152% con respecto a los octavos sin tratamiento, mientras que los octavos de tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min mostraron una disminución de la actividad enzimática respecto al primer día de almacenamiento registrándose depreciaciones del orden de 40 y 21% con respecto al primer día del almacenamiento e incrementos respectivos de 4 y 28% con respecto a los octavos control. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes.

El décimo día del almacenamiento todos los octavos tratados presentaron una marcada disminución de la actividad de la PPO, observándose una mayor actividad con respecto a los octavos control para los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación los cuales presentaron una actividad 13.3% mayor a la de los octavos control, mientras que los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/0 minutos de irradiación presentaron una disminución con respecto a la actividad de los octavos sin tratamiento de alrededor del 10.7%, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/3 min mostraron una depreciación de 2.5 y 4.2%, respectivamente. En este día de la conservación no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con AA y AC e irradiación UV-C.



Finalmente el último día del almacenamiento los octavos tratados con la concentración al 1% de AA y AC presentaron mayores porcentajes de actividad residual de PPO que los octavos control, registrándose una actividad enzimática 9% mayor para los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos y 2.4% para el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación. Con relación a los octavos tratados con la concentración de 0.5% de agentes antioxidantes, estos mostraron una menor actividad a la del control la cual fue más significativa conforme aumentó el tiempo de exposición a la radiación UV-C, encontrándose para el tratamiento 0.5% AA-AC/0 min una actividad equivalente a la del control, mientras que los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 0.5% AA-AC/10 min presentaron una actividad correspondiente de 13 y 19% menor a la de los octavos control. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/3 min pero sí se encontró entre el resto de los octavos tratados.

El pardeamiento enzimático se produce debido a la oxidación de compuestos fenólicos y esta mediada por la enzima polifenoloxidasas (PPO), en presencia de O_2 . En tejidos intactos los sustratos fenólicos están separados de la fenolasa y el pardeamiento no se produce, sin embargo con la exposición de la superficie de corte al aire se traduce en un rápido pardeamiento enzimático debido a la oxidación de los compuestos fenólicos a ortoquinonas, las cuales rápidamente se polimerizan formando pigmentos de color marrón o melaninas. Siendo las operaciones como el cortado y/o pelado suficientes para causar pardeamiento enzimático (Martínez-Ferrer *et al.*, 2002).

El grado de madurez del fruto en el momento de su procesamiento es importante ya que de acuerdo con lo observado por Soliva-Fortuny *et al.* (2002) entre mayor fue el grado de madurez de manzanas 'Golden delicious' mayor fue la intensidad del pardeamiento en las rodajas tratadas con ascórbico (1%) y cloruro de calcio (0.5%), esto debido a que los cloroplastos comenzaron a desintegrarse, causando una solubilización de la polifenoloxidasas lo que aumentó la intensidad del pardeamiento, observándose una mayor coloración en el control envasado en atmósfera modificada.



La disminución de la intensidad del pardeamiento por la aplicación de agentes antioxidantes ha sido reportada por distintos autores en el estudio realizado por Villegas-Ochoa *et al.* (2005) la actividad de la enzima responsable del oscurecimiento (PPO) se vio disminuida significativamente ($p \leq 0.05$) durante el tiempo de duración del ensayo por la aplicación de antioxidantes, los cuales afectaron significativamente ($p \leq 0.05$) la actividad de la enzima, esto debido a que los antioxidantes previenen el oscurecimiento reaccionando con las quinonas productos de la primera etapa del oscurecimiento enzimático. De tal forma Soliva-Fortuny *et al.* (2004) reportaron que cubos de pera 'Conference' tratados con un baño de ácido L-ascórbico (10g/L) y cloruro de calcio (5g/L) presentaron una reducción del pardeamiento enzimático, al mantener el color de los cubos. De igual forma autores como González-Aguilar (2004); Kim y Klieber (1997); Lambrecht (1995); Martínez-Ferrer *et al.* (2002); Quevedo-Preciado *et al.* (2005); Zarazúa-Escobar *et al.* (2005) encontraron el mismo comportamiento en distintos frutos.

Al igual que la aplicación de agentes antipardamiento la radiación ultravioleta tipo C ha demostrado ser uno de los tratamientos que disminuyen la actividad de la enzima PPO (Villegas-Ochoa *et al.*, 2005). En mango fresco cortado almacenado durante 14 días a 5°C, las aplicaciones de 1 y 3 minutos de irradiación UV-C fueron efectivas en disminuir el índice de oscurecimiento y la actividad de la polifenoloxidasas (EC 1.10.3.1), mientras que las dosis altas incrementaron ambos efectos (González-Aguilar *et al.*, 2006).

De acuerdo con los resultados mostrados con anterioridad se concluyó que el estado de madurez tuvo un efecto notable en la actividad residual de la Polifenol oxidasa, ya que con lo que respecta a los octavos de piña 100% verde el tratamiento por inmersión en AA-AC e irradiación UV-C ayudó a controlar de cierta forma la actividad de dicha enzima en los primeros días de almacenamiento sobre todos en los tratamientos 0.5% AA-AC / 3 min y 1% AA-AC / 10 min de irradiación, en tanto que para los octavos de piña 100% amarilla se mostró un comportamiento contrario apreciándose un aumento de la actividad enzimática los primeros días de almacenamiento para luego disminuir drásticamente hacia el décimo día de la conservación.



5.3.11.2 Actividad de la Peroxidasa

La actividad de la Peroxidasa (Oxidoreductasa) esta asociada con el deterioro de sabor, color, textura y cualidades nutricionales de algunos alimentos.

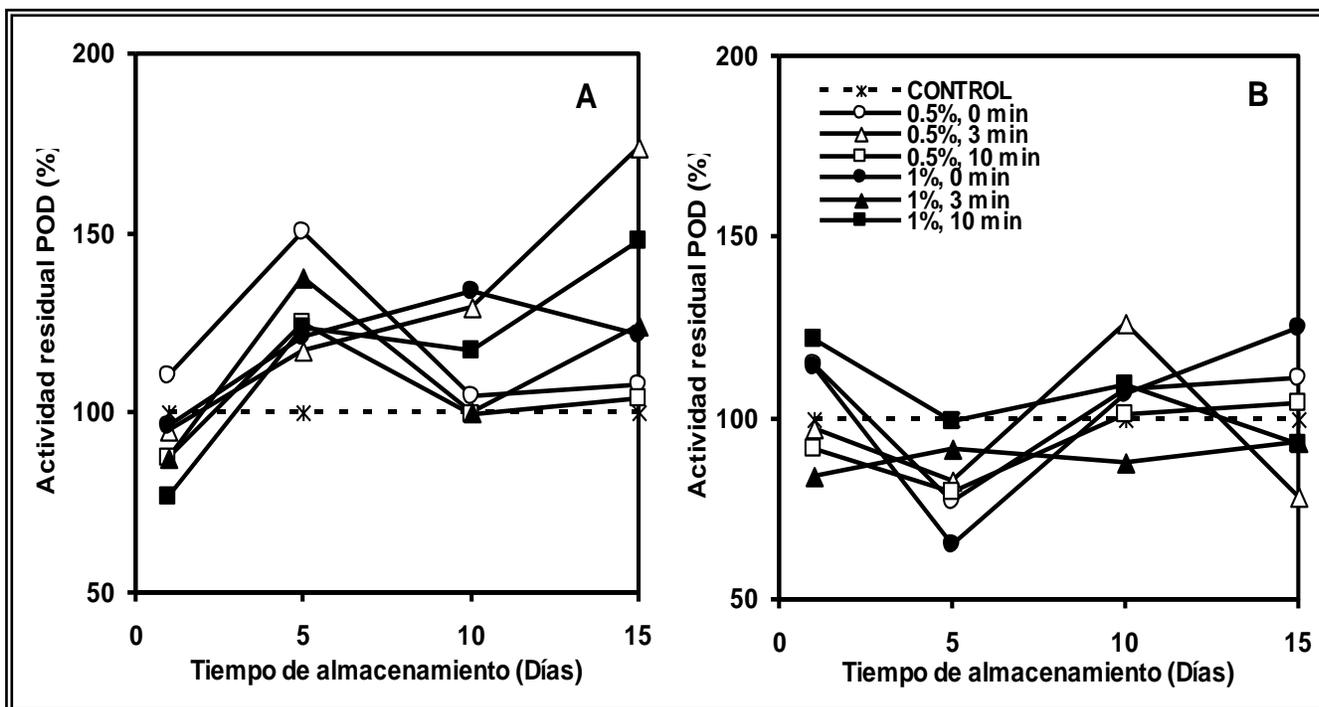


Figura 44. Efecto del estado de madurez: piña 100% verde (A) y piña 100% amarilla (B) en la actividad residual de la peroxidasa del producto refrigerado mínimamente procesado.

En la Figura 44A se muestra el efecto que tuvo el tratamiento con agentes antioxidantes e irradiación UV-C sobre los octavos elaborados con piña 100% verde en la actividad de la POD.

Al inicio del almacenamiento se observó una disminución en la actividad de la Peroxidasa con respecto al control para la mayoría de los tratamientos, encontrándose para los octavos del tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación una actividad de la enzima 23.4% menor a la exhibida por los octavos sin tratamientos, 12.6% para los tratamientos 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos de irradiación y 4% para los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 min, mientras que el tratamiento 0.5% AA-AC/0 minutos de



irradiación presentó un aumento de la actividad del 10.4% con respecto al control. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min en este día de la conservación.

En el quinto día de la conservación, la enzima presentó su máxima actividad en los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/3 min, los cuales presentaron una actividad del 50.4% y 37.5% mayor a los octavos control, en tanto que los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 min mostraron un aumento en la actividad de la POD de alrededor de 22% respecto a los octavos sin tratamiento. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con AA y AC e irradiación UV-C.

Para el décimo día del almacenamiento se observó una disminución de la actividad de la POD en los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos los cuales presentaron una reducción del 30.4, 20.4, 27.3 y 5.1% con respecto al quinto día del almacenamiento, en tanto que los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 minutos registraron un incremento de la actividad de alrededor de 10.3%. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C.

Al final de la conservación los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C presentaron una activación importante en la POD, observándose para los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación un incremento con respecto al control del 73.8 y 48% respectivamente, en tanto que los octavos de los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 minutos de irradiación mostraron una actividad 23.1% mayor a la de los octavos sin tratamiento, siendo los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación los que exhibieron el menor aumento de la actividad enzimática con porcentajes correspondientes del 8 y 3.8%. Estadísticamente los octavos tratados al 0.5% de AA y AC presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre sí y con respecto al control, pero no la presentaron los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la Figura 44B la actividad de la Peroxidasa de los octavos de piña 100% amarilla mostró una aparente desactivación durante los 15 días de almacenamiento, en el primer día de la conservación los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min) presentaron una actividad enzimática 14.6% mayor a la de los octavos control, en tanto que el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación exhibió un incremento del 22.1%, mientras que los octavos del tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/3 minutos mostraron una disminución con respecto a los octavos sin tratamiento del 2.9, 8.5 y 15.8%, respectivamente. En este día del almacenamiento no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratados al 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/3 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/0 min, pero sí se encontró entre los tratamientos 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 min.

En el quinto día del almacenamiento los octavos tratados por inmersión con ácido ascórbico y ácido cítrico presentaron una desactivación de la Peroxidasa, en este día de la conservación la actividad enzimática de los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación fue 20.1% menor a la de los octavos control, 17.4% para el tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos, 8.1% para los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación y 1% para el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación, siendo los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min) los que mostraron las mayores disminuciones con respecto a los octavos sin tratamiento al registrar 23 y 34.9%, respectivamente. Estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y el tratamiento 1% AA-AC/0 min de irradiación, pero no se encontró diferencia significativa entre el resto de los tratamientos.

Posteriormente en el décimo día de la conservación se presentó un incremento de la actividad de la Peroxidasa para los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C, encontrándose para los octavos del tratamiento 0.5% AA-AC/3 minutos de irradiación un incremento del 26.2% con respecto a los octavos control, en tanto que el tratamiento 1% AA-AC/10 minutos de irradiación presentó un aumento del 9.1%, seguido por los octavos que no fueron irradiados (0.5% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/0 min) los cuales mostraron un incremento de alrededor del 7.2%, mientras que los octavos del tratamiento 1% AA-AC/3 minutos exhibieron una reducción del 12.1% con respecto a los octavos control. Cabe



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

señalar que el tratamiento 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación presentó un valor equivalente al exhibido por los octavos control. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los octavos tratados por 3 minutos de irradiación (0.5% y 1% AA-AC) y el control.

Al término del almacenamiento, la actividad enzimática se presentó en dos grupos el primero integrado por los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación que mostraron una reducción en la actividad de la enzima correspondiente del 21.8%, 6.6% y 7% respecto a la actividad residual que registro el control. El segundo grupo integrado por los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/0 minutos los cuales presentaron un mayor actividad enzimática a la exhibido por el control la cual fue de 11.1%, 4% y 25.2% respectivamente. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min, 0.5% AA-AC/10 min, 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10min, pero sí se encontró diferencia entre los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/0 min.

Lamikanra y Watson (2001) informaron que la aplicación por inmersión de ácido ascórbico (1.25 y 2.5 mM) en rebanadas de melón Cantaloupe (*Cucumis melo L.*) redujo en más del 60% la actividad de la peroxidasa en el momento del procesamiento, sugiriendo que la actividad de la POD puede ser resultado de una respuesta al aumento de estrés oxidativo en el corte de la fruta. Este autor informó que la actividad enzimática de la POD aumenta como consecuencia del aumento de la permeabilidad del tejido que resulta de la perturbación y mezcla de las enzimas con sustratos. Los resultados obtenidos por Lamikanra y Watson (2001) contrastan con los obtenidos en el presente trabajo ya que la aplicación por inmersión de ácido ascórbico y cítrico tan solo contribuyó a una reducción de la actividad de la POD del 23.4% y 15.8% para los tratamientos 1% AA-AC/10 min y 1% AA-AC/ 3 min de piña 100% verde y 100% amarilla, respectivamente.



5.4 Evaluación de parámetros de calidad y microbiológicos del producto mínimamente procesado en estado de madurez 100% verde

Después de la selección del estado de madurez y el tiempo de vida útil se determinaron los parámetros de calidad y microbiológico en los octavos de piña 100% verde, debido a que éste estado fue el más óptimo para elaborar el producto mínimamente procesado, ya que presentó los mayores valores de firmeza, menor pérdida de peso y desprendimiento de jugo con respecto a los octavos de piña 100% amarilla.

En la Tabla 15 se muestran los valores finales de los parámetros de calidad que se registraron en el décimo día de la conservación del producto terminado de piña 100% verde. Se determinó que en el décimo día del almacenamiento las piñas mínimamente procesadas mantenían sus características de calidad, ya que para el décimo quinto día de almacenamiento se observaron mayores pérdidas de peso, liberación de líquido y de vitamina 'C', estableciéndose que el tiempo de vida útil del producto sería de diez días.

Los octavos de piña control 100% verde mínimamente procesada después del almacenamiento por diez días, presentaron valores aproximados de acidez de 0.12%, mientras que los octavos tratados presentaron una acidez ligeramente superior. De igual modo el pH de los octavos sin tratamiento presentó un valor ligeramente superior que los tratados. El contenido de sólidos solubles no mostró un efecto por el tratamiento aplicado, ya que los valores de este parámetro se mostraron cercanos a los octavos sin tratamiento, con lo que respecta al contenido de vitamina 'C' se observó un efecto de la concentración de agentes antioxidantes utilizada ya que conforme aumentó ésta, también lo hizo el contenido de vitamina 'C'.

En donde se observó un efecto de la irradiación UV-C fue en el desprendimiento de jugo y pérdida de peso del producto, observándose que para el primer parámetro los octavos irradiados por 3 y 10 minutos presentaron un menor desprendimiento de jugo que los octavos control y los octavos sin irradiar, con lo que respecta a la pérdida de peso se apreció que los octavos que fueron irradiados por 3 y 10 minutos presentaron una mayor pérdida de peso que los octavos control, finalmente en la evaluación del índice de deterioro se observó



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que los mejores tratamientos fueron los tratados por 10 minutos de irradiación (0.5 y 1% AA-AC).

Tabla 15. Parámetros de calidad de octavos de piña 100% verde mínimamente procesados.

Tratamiento	AT (% ác. Cítrico)	SST (°Bx)	pH	Vitamina 'C' (mg)
Control	0.12 ± 0.02 a	8.91 ± 0.66 ab	4.16 ± 0.12 c	5.85 ± 0.53 a
0.5% AA-AC/0 min	0.15 ± 0.02 ab	8.91 ± 0.38 ab	3.78 ± 0.12 b	8.99 ± 3.42 ab
0.5% AA-AC/3 min	0.15 ± 0.03 ab	8.42 ± 0.38 a	3.80 ± 0.09 b	8.82 ± 1.92 ab
0.5% AA-AC/10 min	0.13 ± 0.03 ab	8.42 ± 0.38 a	3.81 ± 0.04 b	11.19 ± 4.55 b
1% AA-AC/0 min	0.16 ± 0.04 b	8.83 ± 0.26 ab	3.6 ± 0.09 a	29.94 ± 2.94 c
1% AA-AC/3 min	0.16 ± 0.02 ab	9.08 ± 0.38 b	3.76 ± 0.15 b	30.11 ± 3.24 c
1% AA-AC/10 min	0.14 ± 0.02 ab	9.16 ± 0.52 b	3.83 ± 0.15 b	30.19 ± 2.25 c

Tratamiento	DJ (%)	PP (%)	ID
Control	5.85 ± 1.15 a	0.32 ± 0.11 ab	2 ± 1.10 a
0.5% AA-AC/0 min	6.15 ± 1.57 a	0.26 ± 0.08 ab	0.83 ± 0.98 a
0.5% AA-AC/3 min	5.41 ± 1.70 a	0.48 ± 0.15 bc	0.5 ± 0.55 a
0.5% AA-AC/10 min	5.62 ± 1.23 a	0.62 ± 0.21 c	0.17 ± 0.41 a
1% AA-AC/0min	6.69 ± 2.48 a	0.19 ± 0.11 a	0.67 ± 0.82 a
1% AA-AC/3 min	5.59 ± 1.44 a	0.73 ± 0.42 c	0.5 ± 0.55 a
1% AA-AC/10 min	5.82 ± 1.50 a	0.65 ± 0.25 c	0 ± 0.00 b

AT: Acidez titulable, SST: Sólidos solubles totales, DJ: Desprendimiento de jugo, PP: Pérdida de peso, ID: Índice de deterioro.

En la Tabla 16 se muestra la evaluación de la presencia de microorganismos indicadores, tales como mohos y levaduras, mesófilos aerobios y coliformes totales en los octavos de piña 'Cayena lisa' 100% verde.

Para el conteo de mohos y levaduras se consideraron para el primer caso aquellas colonias que presentaron crecimientos aéreos, velludos, algodonosos o pulverulentos de forma indefinida, de diferentes colores y consistencia blanda o leñosa. Para el caso de las



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

levaduras se consideraron aquellas colonias que presentaron microscópicamente un aspecto cremoso o pastoso, plano de forma esférica o alargada, de color blanco y/o salmón.

Tabla 16. Evaluación de la calidad microbiológica de octavos de piña 100% verde refrigerado mínimamente procesada.

Tratamiento	Mohos y levaduras (UFC/g)		Mesófilos aerobios (UFC/g)		Coliformes totales (UFC/g)	
	1 ^{er} día	10 ^o día	1 ^{er} día	10 ^o día	1 ^{er} día	10 ^o día
Control	4.1×10^3	5.2×10^5	2.4×10^5	3.8×10^3	NP	4×10^2
0.5% AA-AC/0 min	4.9×10^3	1×10^6	1×10^4	3.7×10^3	50	50
0.5% AA-AC/3 min	3.7×10^3	8.2×10^5	1.5×10^3	3×10^3	NP	50
0.5% AA-AC/10 min	3.2×10^3	2.9×10^5	1.4×10^5	7.4×10^4	NP	50
1% AA-AC/0 min	8.0×10^2	8.2×10^5	1.0×10^3	2.9×10^3	NP	1×10^2
1% AA-AC/3 min	9.0×10^2	5.7×10^5	1.0×10^2	1.5×10^4	NP	NP
1% AA-AC/10 min	1.9×10^3	4.1×10^5	1.4×10^3	3.2×10^3	NP	NP

NP: no presentó

En el primer día de la conservación se encontró para el caso de los mohos y levaduras que los octavos tratados al 0.5% de AA y AC presentaron una reducción de la concentración de microorganismos conforme aumento el tiempo de irradiación, no mostrándose esta tendencia en los octavos tratados al 1% de agentes antioxidantes, en donde se presentó una comportamiento contrario a lo anteriormente expuesto. Al término del almacenamiento se observó un incremento en la concentración de mohos y levaduras tanto para los octavos control, así como para los octavos tratados con agentes antioxidantes e irradiación UV-C. En este día de la conservación los octavos tratados al 0.5% y 1% exhibieron una reducción en el conteo de mohos y levaduras conforme aumento el tiempo de exposición a radiación UV-C.

Cabe señalar que nuestro país no existe una normativa que indique los límites máximos permisibles para esta clase de productos, sin embargo autores como Blanch *et al.* (2008) refieren que el límite máximo permisible del recuento de mohos y levaduras y de mesófilos aerobios para productos mínimamente procesados se encuentra en 10^6 unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g). Observándose que los resultados del presente trabajo en general se encuentran dentro de este límite.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las altas concentraciones de mohos y levaduras se atribuyen a que estos microorganismos están ampliamente distribuidos en la naturaleza e incluso se pueden encontrar formando parte normal de la flora del alimento, esta clase de organismos provocan el deterioro fisicoquímico de éstos, debido a la utilización en su metabolismo de los carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos originando mal olor, alterando el sabor y el color en la superficie de los productos contaminados. Es importante señalar que los mohos y levaduras pueden sintetizar metabolitos tóxicos termoresistentes, capaces de soportar algunas sustancias químicas, así como la irradiación y presentan capacidad para alterar sustratos desfavorables, permitiendo el crecimiento de bacterias patógenas (SSA, 1994b).

En contraste al presente trabajo en estudios con nopal mínimamente procesado no se encontró crecimiento de mohos y levaduras en ninguno de los tratamientos evaluados, atribuyéndose la ausencia a la aplicación de cloro (200 mg L^{-1}) antes y después del desespinado y la utilización de 0.2% de sorbato de potasio (Quevedo-Preciado *et al.*, 2005). Contrario a lo anteriormente señalado, Hernández *et al.* (2006) reportaron que a medida que aumento el tiempo de lavado de piña 'Roja Española' entera se incrementó el recuento de mohos y levaduras tanto para las rodajas lavadas con agua clorada (100 L/L) como para las que no recibieron este tratamiento, esto debido a que como la superficie de los productos es compleja y por tanto difícil de limpiar si su integridad es dañada es más fácil que se de el desarrollo microbiano.

Por otra parte tratamientos por irradiación UV-C aplicados a melón (*Cucumis melo L.*) mínimamente procesado antes y durante el corte, demostraron ser efectivos para reducir las poblaciones de levaduras, mohos y *Pseudomona spp.* (Lamikanra *et al.*, 2005). De igual forma Lemoine *et al.* (2007) reportaron que el tratamiento UV-C afectó las poblaciones de bacterias y mohos, después de 21 días a 4°C, el número de unidades formadoras de colonia de ambas poblaciones fue menor en los floretes de brócoli 'Cicco' tratados que en el control.

Para el recuento de mesófilos aerobios se consideraron aquellas colonias de color beige, de diferentes tamaños de forma convexa y mucosa. Observándose en el primer día del almacenamiento, una mayor incidencia en el control que en los octavos tratados, no observándose una relación conforme aumentó o disminuyó la concentración de agentes



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

antioxidantes y el tiempo de exposición a irradiación UV-C. Al final de la conservación el control así como los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/0 min y 0.5% AA-AC/10 minutos de irradiación presentaron una disminución de alrededor del 98, 63 y 53%, respectivamente. En tanto que los octavos tratados con 0.5% AA-AC/3 min, 1% AA-AC/0 min y 1% AA-AC/10 minutos presentaron un aumento promedio de 2.4 veces su valor inicial, siendo el tratamiento 1% AA-AC/3 minutos de irradiación el que mostró el mayor incremento en el número de unidades formadoras de colonia de mesófilos aerobios con un incremento de 150 veces su valor inicial.

Guerzoni *et al.* (1996) indicaron que la vida útil de los productos frescos cortados termina cuando la población microbiana alcanza 1×10^7 UFC/g. Sin embargo, la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 (SSA, 1994a) especifica que para ensaladas de hortalizas verdes crudas o de frutas, el límite máximo permisible de mesófilos aerobios es de 1.5×10^5 UFC/g. Los valores de cuenta total de mesófilos aerobios de los octavos de piña mínimamente procesados en este trabajo resultaron ser menores a los límites descritos por Guerzoni *et al.* (1996) y menores a los límites máximos permitidos por la mencionada Norma Oficial Mexicana.

En el estudio realizado por Blanch *et al.* (2008) se encontró que rebanas de carambolo, almacenadas a granel a 7°C y 90% de HR alcanzaron el límite máximo permisible (10^6 UFC/g) en el recuento de mesófilos aerobios el día 14 del almacenamiento lo que se relacionó directamente con la disminución en la concentración de sacarosa a partir de este día; explicado por la presencia microbiana que genera degradación de azúcares y fermentación. En cubos frescos cortados de sandía (*Citrulus lanatus* Schard cvs. 'Matsum' y 'Nakai') expuestos a UV-C antes de ser empacados, se encontró que una dosis de 4.2×10^3 Kgf·s⁻² resultó óptima para reducir de 1 a 1.5 unidades log el conteo bacteriano atribuyéndose esta disminución a la acción directa de la UV-C sobre algunas bacterias (Fonseca y Rushing, 2006).

Cabe señalar que, el mecanismo directo de acción de la irradiación UV-C en la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generando mutaciones que bloquean la replicación celular, la cual si no es reparada conduce a la muerte celular. La irradiación UV-C también actúa de manera indirecta al inducir mecanismos de resistencia por acumulación de



compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliamidas (Rivera *et al.*, 2007). Además ha sido ampliamente demostrado que bajas dosis de irradiación UV-C, pueden generar un mecanismo de defensa, modificar el metabolismo de las plantas y reaccionar positivamente a este tipo de estrés (Lemoine *et al.*, 2007).

En el recuento de coliformes totales se consideraron aquellas colonias de color rojo intenso, brillosas, convexas, mucoides, cremosas, con bordes redondos y lisos. La población del recuento de bacterias entéricas, indicó que el tratamiento con agentes antioxidantes e irradiación UV-C tuvo un efecto benéfico en la calidad sanitaria del producto mínimamente procesado ya que ayudó a reducir el conteo de coliformes totales. El primer día del almacenamiento solo el tratamiento 0.5% AA-AC/0 min de irradiación registró presencia de coliformes totales debido a una posible contaminación de la muestra. Al término de la conservación los octavos tratados presentaron un menor número de unidades formadoras de colonia que los octavos sin tratamiento; para el caso de los octavos tratados al 0.5% de agentes antioxidantes el recuento fue 8 veces menor al control y 4 veces para el tratamiento 1% AA-AC/0 minutos de irradiación, siendo los octavos tratados con 1% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 minutos de irradiación los que no registraron la presencia de coliformes totales.

Los coliformes totales son el grupo de microorganismos más ampliamente utilizados como indicador de prácticas higiénicas inadecuadas o deficientes en el manejo y fabricación de los alimentos, aunque su presencia no necesariamente implica un riesgo sanitario. Quevedo-Preciado *et al.* (2005) registraron un aumento de coliformes totales durante el almacenamiento. Encontrándose mayores valores en el nopal mínimamente procesado almacenado a 5°C que a 10°C, aunque se encontraron valores muy bajos en ambas temperatura. No observándose un efecto de los antioxidantes (ácido ascórbico [AA] y cítrico [AC]) evaluados, en los coliformes totales y tampoco hubo un efecto de la interacción AA+AC. Por su parte Allende y Artés (2003) encontraron que diferentes dosis de irradiación UV-C redujeron la cuenta de bacterias psicotróficas, coliformes y levaduras en lechuga (*Lactuca sativa L.*) mínimamente procesada.

De acuerdo con los resultados mostrados con anterioridad se infiere que el alto recuento de mohos y levaduras, así como de mesófilos aerobios se pudo deber a que el tiempo de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

lavado resultó excesivo, pues la integridad del fruto se vio dañada facilitando la penetración de la flora microbiana natural, también se cree que la etapa de desinfección del fruto no fue efectiva para reducir el número de microorganismos presentes en la piña ya que aunque hubo un lavado previo con agua clorada, el cloro pudo presentar un efecto un tanto limitado como agente antimicrobiano (Doyle *et al.*, 2000).

El recuento de mesófilos aerobios al igual que el de mohos y levaduras nos da una idea de la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones de la materia prima. Un recuento bajo de aerobios mesófilos no implica o no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas, de la misma manera un recuento elevado no significa presencia de flora patógena.

En tanto que el área de procesamiento no fue la más adecuada debido a que no se pudo realizar un control de la ventilación y en la temperatura. Aunado a esto se debe tener en cuenta que los productos mínimamente procesados presentan problemas adicionales que no presentan las frutas y hortalizas enteras, por ejemplo al pelarlas cortarlas y trocearlas se elimina la protección de pieles y cortezas, además las altas concentraciones de azúcares de los jugos que se desprenden de los tejidos internos de la fruta cortada favorecen el crecimiento de los microorganismos que toleran los ambientes ácidos (Doyle *et al.*, 2000).

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se demuestra que el objetivo general así como los particulares se llevaron a cabo lográndose preservar la calidad de piña refrigerada mínimamente procesada por 10 días aumentándose así su vida de anaquel y garantizando la inocuidad del producto por la exposición del producto a irradiación UV-C.

Observándose que las condiciones establecidas resultaron ser favorables para lograr el objetivo general, ya que la adición de ácido ascórbico y cítrico y la exposición a irradiación UV-C del producto en dos diferentes tiempos permitieron tener para ambos estados de madurez (piña 100% verde y piña 100% amarilla) una pérdida de peso menor al 2%, un incremento en los niveles de vitamina 'C', una mayor intensidad del color, así como un índice de deterioro menor a 2 (daño ligero) a lo largo del almacenamiento. Cabe señalar que para piña 100% amarilla el tratamiento contribuyó a inactivar parcialmente la actividad de la



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peroxidasa en tanto que para piña 100% verde el tratamiento ayudó a reducir el conteo de mesófilos aerobios al inicio del almacenamiento observándose el mismo efecto el último día de la conservación en el recuento de coliformes totales.

Los tiempos de exposición a irradiación UV-C fueron adecuados ya en general se consiguió aumentar la vida útil y garantizar la inocuidad del producto siendo este el objetivo principal del presente trabajo.



Conclusiones



VI. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos del presente trabajo se concluye lo siguiente:

- El mejor estado de madurez, para el desarrollo de un producto refrigerado mínimamente procesado a base de piña fue el de 100% verde, debido a que presentó mayores valores de firmeza, menor pérdida de peso y desprendimiento de jugo con respecto a la piña 100% amarilla.
- La aplicación de agentes antioxidantes presentó una inhibición parcial de la actividad residual de la Polifenol oxidasa en los octavos de los tratamientos 0.5% AA-AC/3 min y 1% AA-AC/10 min de irradiación de piña 100% verde los primeros diez días del almacenamiento, mientras que el mismo resultado se presentó en la actividad residual de la peroxidasa de los octavos de piña 100% amarilla durante los quince días de conservación.
- La adición de ácido ascórbico como antioxidante aumentó el valor nutritivo de los octavos mínimamente procesados en ambos estados de madurez, ya que se registró un incremento de alrededor 2–6 veces el valor del control para los octavos de piña 100% verde y de 3–10 veces para los octavos de piña 100% amarilla.
- Los octavos de piña en estado de madurez 100% verde, tratados con solución de agentes antioxidantes al 1% y 10 minutos de irradiación UV-C fue la mejor condición para obtener piña cortada refrigerada lista para consumir con un tiempo de vida útil de 10 días.
- Los tratamientos UV-C y adición de antioxidantes se consideran una alternativa para ser aplicados a productos mínimamente procesados como la piña, por lo que podría aumentar su comerciabilidad en el mercado.



Recomendaciones



VII. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados del presente trabajo se recomienda lo siguiente:

- Comparar otras variedades de piña comercializadas en México para determinar, cual de ellas resulta ser la más óptima para el procesamiento mínimo.
- Evaluar otros tipos de envases, que resulten prácticos y menos costosos para la presentación de un producto mínimamente procesado a base de piña.
- Estudiar la interacción envase-producto a partir del contenido de volátiles producidos por el envasado en atmósferas modificadas pasivas.
- Investigar el aprovechamiento integral (piel y pedúnculo) de la piña, no solo bajo la alternativa de los productos mínimamente procesados que alarguen su vida útil y resulten de interés para el consumidor y productores.
- Evaluar el efecto de la irradiación UV-C sobre la pared celular y las enzimas que se encuentran en ella, como la pectinmetilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG) y pectinesterasa (PE).



Referencias

**VII. REFERENCIAS**

1. Adams, M. R.; Moss, M. O. (1997). *Microbiología de los Alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza (España), pp. 464.
2. Afhorla (2009). Asociación Española de Frutas y Hortalizas Lavadas, Listas para su empleo. Disponible en: <<http://www.afhorla.com/>>
3. AGRONET (2005). Aspectos generales de la piña. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Aspectos%20generales%20de%20la%20pina.pdf>
4. Allende, A.; Ártés, F. (2003). UV Radiation as a novel technique to preserve quality of fresh processed “Lollo Rosso” lettuce, *Food Research International*, 36: 739-746.
5. Artés, F.; Gómez, P. A.; Artés-Hernández F. (2000). Alteraciones físicas, fisiológicas y microbianas de frutas y hortalizas procesadas en fresco, *Alimentaria Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*, 335 (39): 69-74.
6. Artés-Calero, F.; Artés-Hernández, F. (2008). *Fundamentos y diseño de instalaciones para procesados en fresco de hortalizas*. Disponible en: <<http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/al/gratis/10articulo.pdf>>
7. Astiasarán, A. I.; Martínez, H. A. (2000). *Alimentos, composición y propiedades*. Mc Graw-Hill, Madrid España, pp. 364.
8. Badui, D. S. (1999). *Química de los alimentos*. Pearson Educación, México, pp. 648.
9. Barka, E. A.; Kalantari, S.; Makhlof, J.; Arul, J. (2000). Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) fruit. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48: 667-671.
10. Beirão-da-Costa, S.; Steiner, A.; Correia, L.; Empis J.; Moldão-Martins, M. (2006). Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 76: 616–625.
11. Blanch, D.; Donado, J.; Pinzón M. I. (2008). Influencia del contenido de azúcares sobre la textura e inocuidad microbiológica de rodajas de carambolo (*Averrhoa Carambola L.*) mínimamente procesado durante su almacenamiento en atmósfera modificada. Disponible en: <www.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/colombohispano/doc/3_Ejemplo>
12. Brody, A. L. (1996). *Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío*. Editorial Acribia, Zaragoza, pp. 230.



13. Cano, M. P.; De Ancos, B.; Cruz, M. M.; Cámara, M.; Reglero, G.; Tabera, J. (1997). Differences among Spanish and Latin-American bananas cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*, **3**(59):411-419.
14. Castañeda, M. (2003). *Manual Técnico: Seminario sobre producción y manejo post cosecha de la piña para la exportación*. Disponible en: <<http://ns1.oirsa.org.sv/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/SeminarioProduccionManejoPina.pdf>>
15. CEFP (2002). *La problemática actual de piña en México*. Disponible en: <<http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042002.pdf>>
16. CEI-RD (2006). *Perfiles productos: Piña*. Disponible en: <http://www.cedopex.gov.do/estudios_economicos/estudios_productos/perfiles/PINA_06.pdf>
17. Cipriano, J. J. (1995). *Efecto del grado de madurez y encerado en el tiempo de frioconservación de frutos de piña (Ananas comosus L. Merr.) variedad 'Cayena lisa'*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, pp. 152.
18. Codex Alimentarius (2005). *Norma del Codex para la piña (CODEX STAN 182-1993)*. Disponible en: <www.codexalimentarius.net/download/standards/313/CXS_182s.pdf>
19. Coutiño, M. V.; Solís, P.; Gómez, D. M. (1991). *Manual de prácticas de laboratorio. Química de Alimentos*. Facultad de Química. UNAM, Práctica 10 Estabilidad de la Vitamina C, pp. 34.
20. COVECA (2002). *Diagnóstico de la cadena de piña*. Disponible en: <<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/ESTUDIO DIAGNOSTICO PINHA.PDF>>
21. Crespo, S. S. N. (2005). *Elaboración de productos alimenticios a base de piña (Ananas comosus)*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 115.
22. CVCA (2006). *Perfil del Producto: Piña*. Disponible en: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/PERFIL%20DE%20PI%D1A_TP.PDF>
23. Díaz, M. F.; Serrano, O. L. (2008). *Desinfección de agua con luz ultravioleta*. Disponible en: <<http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>>
24. Díaz, R. J. (2004). *Descubre los frutos exóticos*. Ediciones Norma – Capitel, Madrid, pp. 456.
25. Doyle, M. P.; Beuchat L. R.; Montville T. J. (2000). *Microbiología de los alimentos. Fundamentos y fronteras*. Editorial Acribia, Zaragoza España, pp. 799.



REFERENCIAS

26. EARTH (2004). *Perfil del producto Piña*. Disponible en: <<http://www.earthagroempresarial.ac.cr/boletines/perfildepinacfe.pdf>>
27. Fan, X.; Niemera, B. A.; Mattheis, J. P.; Zhuang, H.; Olson, D. W. (2005). Quality of fresh-cut apple slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *Journal of Food Science*, **2** (70): S143-S148.
28. FAO (1993). Manual de Capacitación: Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/t0073s/T0073S02.htm>>
29. FAO (2005). *Operaciones poscosecha de la piña*. Disponible en: <<http://www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch33s/AE614s01.htm>>
30. FAO (2007). *Manejo poscosecha de la piña*. Disponible en: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s03.htm>>
31. Fonseca, J. M.; Rushing, J. W. (2006). Effect of ultraviolet-C Light on quality of fresh-cut watermelon, *Postharvest Biology and Technology*, 40:256-261.
32. García, G. R.; Zurera, C. G.; Amaro, L. (1995). Conservación de los alimentos mediante atmósfera modificada, vegetales de la IV gama. *Alimentaria Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*, **267**: 89-104.
33. González-Aguilar, G. A. (2007). *Efecto del procesamiento en la pérdida nutricional de frutos tropicales mínimamente procesados*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena (España), pp. 836
34. González-Aguilar, G. A.; Gardea, A. A.; Cuamea, N. F. (2005). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Editorial CIAD-CYTED-CONACYT, México, pp. 558.
35. González-Aguilar, G. A.; Ruiz-Cruz, S.; Cruz-Valenzuela, R.; Rodríguez-Félix, A.; Wang, C. Y. (2004). *Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents*. Disponible en: <www.sciencedirect.com.mx>
36. González-Aguilar, G. A.; Villegas-Ochoa M.; Cruz-Valenzuela, M. R.; Vásquez, F.; Ayala-Zavala, J. F. (2008). *Irradiación (UV-C) de mango fresco cortado y su efecto en la capacidad antioxidante*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, pp. 277-282.



37. González-Aguilar, G. A.; Villegas-Ochoa, M. A.; Cumea-Navarro, F.; Ayala-Zavala, J. F. (2006). Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado, I Simposio-Iberoamericano de Vegetales Frescos Cortados, pp.: 59-64.
38. Gorny, J. R.; Gil, M. I.; Kader, A. A. (1998). Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. *Acta Horticulturae*, **464**: 231-236.
39. Guerzoni, M. E.; Gianotti, A.; Corbo, M. R.; Sinigaglia, M. (1996). Shelf-life modelling for fresh-cut vegetables, *Postharvest Biology and Technology*, **2**(9): 195-207.
40. Hernández, Y.; González, M.; Lobo, M. G. (2007). *Importancia del estado de madurez en el procesado mínimo de frutas*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena (España), pp. 837-847.
41. Hernández, Y.; Panadés, G.; González, M.; Lobo, M. G. (2006). *Evaluación de la calidad microbiológica en las etapas de lavado de piña tropical y pelado y cortado de papaya fresca cortada*. I Simposio Iberoamericano de Vegetales Frescos Cortados, San Pedro Brasil, pp. 69-74.
42. Herrero, A. M.; Romero, M. D. (2006). Innovaciones en el procesamiento de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina*, **50** (4): 71-74.
43. Horticom (2008). *Frutas IV gama*. Disponible en: <<http://www.horticom.com/pd/imagenes/64/763/64763.pdf>>
44. IICA (2004). *Guía de exportación para los mercados Estadounidenses, Producto: Piña*. Disponible en: <http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Guia_Export_Pina.pdf>
45. IMA-SIPAN (2007). *Vigilancia competitiva de la piña*. Disponible en: <http://www.ima.gob.pa/downloads/Analisis_de_la_Pina.pdf>
46. INFOAGRO (2007). *El cultivo de la piña*, Disponible en: <http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/pina.htm>
47. INFOASERCA (1996). La producción de pina en México, historia de un patrimonio regional. Disponible en: <<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/086/ca086.pdf#page=34>>
48. Kim, B.; Klieber, A. (1997). Quality maintenance of minimally processed Chinese cabbage with low temperature and citric acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **75**: 31-36.



49. Lambrecht, H. S. (1995). *Sulfite substitutes for the prevention of enzymatic browning in foods*. En: C.Y. Lee, J.R. Whitaker (Eds.), *Enzymatic browning and its prevention*, Washington, DC: ACS Symposium Series 600. pp. 313–323.
50. Lamikanra, O.; Chen, J. C.; Banks, D.; Hunter, P.A. (2000). Biochemical and microbial changes during storage of minimally processed cantaloupe. *Journal Agricultural Food Chemistry*, **12** (48): 5955-5961.
51. Lamikanra, O.; Kueneman, D.; Ukuku, D.; Bett-arber, K. L. (2005). Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut Cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, **9** (70): C534-C539.
52. Lamikanra, O.; Watson, M. A. (2001). Effects of Ascorbic Acid on Peroxidase and Polyphenoloxidase Activities in Fresh-cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, **9** (66): 1283-1286.
53. Landaverde, A. (1941). *Diez cultivos tropicales*. Bartolomé Trucco Editor, México, pp. 133–142.
54. Lemoine, M. J.; Solis V. R. (1980). *Efecto de la refrigeración y del estado de madurez en la vida y almacenamiento de la piña (Ananas comosus) variedad Cayena lisa*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 135.
55. Lemoine, M. L.; Civello P. M.; Chávez A. R.; Martínez G. A (2007). Influence postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Journal Science Food Agricultural*, **87**: 1132-1139.
56. Lobo, M. G.; González, M. (2003). *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*. Editorial Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, España, pp. 220.
57. Lowry, O. H.; Rosebrough, N. J.; Farr, A. L.; Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology and Chemistry*, **193**: 265-275.
58. Maris, A. S. (2008). *La radiación ultravioleta: una alternativa “no térmica para la pasteurización de jugos*. Disponible en: http://www.ialimentaria.com/publicaciones/ia/articulos/IA68_S7.pdf
59. Marrero, A.; Kader, A. A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*, **39**: 163–168.



60. Martínez-Ferrer, M.; Harper, C.; Pérez-Muñoz, F.; Chaparro, M. (2002). Modified Atmosphere Packaging of Minimally Processed Mango and Pineapple Fruits. *Journal of Food Science*, **9** (67): 3365-3371.
61. Martner, P. C.; Morales, P. C.; De la Torre, R. M.; Bustos, R. A. (2005). *Cadenas logísticas de exportación en México: piña fresca, generadores eléctricos refrigeradores*, Disponible en: <<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt276.pdf>>
62. McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, **27**:1254-1255.
63. Meyer, M. R. (1982). *Control de Calidad de productos agropecuarios*. Manuales para la educación agropecuaria, Editorial SEP/Trillas, México, pp. 102.
64. Meyer, M. R.; Paltrinieri G. (2002). *Elaboración de Frutas y Hortaliza*. Manuales para la educación agropecuaria, Editorial SEP/Trillas, México, pp. 115.
65. Ministerio de Salud, Secretaría de Políticas y Relaciones Sanitarias de la Republica de Argentina (2007). "Artículo 925: Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas". Disponible en: <http://www.puntofocal.gov.ar/doc/arg2007/229_t.pdf>
66. NORMEX (1982a). NMX-FF-014-1982. *Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de sólidos solubles totales*. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas>>
67. NORMEX (1982b). NMX-FF-015-1982. *Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de la resistencia a la penetración*. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas>>
68. Nutrinfo (2000). *Irradiación de los alimentos*. Disponible en: <<http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/irrad0.pdf>>
69. O'Connor-Shaw, R. E.; Roberts, R.; Ford, A. L.; Nottingham, S. M. (1994). Shelf life of minimally processed honeydew, kiwifruit, papaya, pineapple y cantaloupe. *Journal of Food Science*, **6** (59): 1202-1206.
70. Ochse, J. J.; Soule, M. J.; Dijkman Jr., M. J.; Wehlburg C. (1982). *Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales*. Editorial Limusa, Vol. 1, pp. 639-643.
71. Ordóñez, P. J.; Juárez, I. M.; Zurera, C. G.; Otero, C.A. (2004). *Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos*. Disponible en: <http://www.aesan.msc.es/AESAN/docs/docs/evaluacion_riesgos/comite_cientifico/C.C_ionizantes.pdf>



72. Pascual, A. R. y P.V. Calderón (1999). *Microbiología Alimentaria*. Metodología analítica para alimentos y bebidas. Ed. Díaz de Santos, España, pp.484.
73. Pearson, D. (1998). *Técnicas de Laboratorio para el análisis de alimentos*. Editorial Acibia, 3^{ra} Edición, Zaragoza (España), pp. 331.
74. Pérez, G. C.; Ramos, L. K. (2006). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina en la calidad de fresa (Fragaria vesca, L.) almacenada en refrigeración*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 164.
75. Pérez, L. M. (2008). *Mantenimiento de la calidad y control de antracnosis de mango 'Ataulfo' aplicando irradiación UV-C*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 130.
76. Pérez, M.; Laskowski, L.; Zambrano, J.; Piña, H. (1997). Comportamiento postcosecha de frutos de piña (*Ananas comosus*) tratados con retardantes de la maduración almacenados a diferentes temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, **14**: 393-398.
77. Pérez, S.; Cháfer, M.; Ortolá, M. D. (2002). Elaboración y factores de calidad en ensaladas procesadas en fresco. *Alimentaria Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*, **338** (39): 77-84.
78. Pointing, J. D.; Jackson, R.; Watters, G. (1972). Refrigerated apple slices: preservative effect of ascorbic acid, calcium and sulfites. *Journal of Food Science*, **3**(37): 434-436.
79. Primo, Y. E. (1997). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis, Madrid España, pp. 461.
80. Quevedo-Preciado, K. L.; Villegas-Ochoa, M. A.; González-Ríos, H.; Rodríguez-Félix, A. (2005). Calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Efecto de la temperatura e inhibidores del oscurecimiento, *Revista Fitotecnia Mexicana*, **3** (28): 261-270.
81. Rivas, F. A. (2009). Control de actracnosis en aguacate (*Persea americana*) variedad 'Hass' por tratamientos de irradiación UV-C. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 129.
82. Rivera, P. D.; Gardea, B. A.; Martínez, T. M.; Rivera, D. M.; González-Aguilar, G. A. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **004** (30): 361-372.
83. Robles, S. R. ; Goristein, S.; Astiazarán, G. H.; González, A. G.; Cruz, V. R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud, *Interciencia*, **004**(32):227-232.



84. Robles-Sánchez, R. M.; Villegas-Ochoa, M. A.; Cruz-Valenzuela, F. A.; Vázquez-Ortiz, A. A.; Castelo, F.; Zavala-Ayala, F.; González-Aguilar, G. A. (2008). *Determinación del estado de madurez óptimo de mango "Ataulfo" destinado a procesamiento mínimo*. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/149/66149.pdf>
85. Rodríguez, M. A. (1980). *Enfermedades postcosecha en piña (Variedad Cayena Lisa) y su combate*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 120.
86. Rodríguez, R.; Aguado, J.; Calles, J. A.; Cansares, P.; López, B.; Santos, A.; Serrano, D. (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria: operaciones de conservación de alimentos*. Vol. 3, Editorial Síntesis, España, pp. 249.
87. Rosen, J. C; Kader, A. A. (1989). Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science*, **54** (3): 656-659
88. Ruiz-Cruz, S.; González-Aguilar, G. A. (2004). Efecto de agentes antioxidantes y envasado en atmósferas modificadas en la calidad de rodajas de piña fresca. Disponible en:
<<http://www.ciad.mx/boletin/sepoct02/Efecto%20de%20Agentes%20Antioxidantes%20y%20Envasado.pdf>>
89. SAGARPA - INIFAP (2005). *Diagnóstico sobre Ciencia y Tecnología en Veracruz, sistema - producto piña*. Disponible en:
<www.uv.mx/posgrado/memorias/6/PIÑA%20condicionada.ppt>
90. SAGARPA-BANCOMEXT-SE (2005). Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en piña (PC-029-2005). Disponible en:
<<http://www.nutriseg.com/Normas-Mexicanas/17-Pliegos-Condicionales/18-Frutas/Ver-categoria.html>>
91. Salunkhe, D. K.; Kadam, S. S. (1995). *Handbook of fruit science and technology production, composition, storage and processing*. Library of congress cataloging in publication data. E.U.A., pp. 611.
92. Samson, J. A. (1992). *Tropical Fruits*. Longman Scientific and Technical, 2ª edición, pp. 335.
93. San Román, S. A. (1997). *Atmósferas modificadas una alternativa para la conservación de frutas y hortalizas frescas*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 116



REFERENCIAS

94. Sánchez, P. J.; Caraveo, L. F. (1996). *El sistema – Producto Piña en México: Situación, Tendencias, Problemática y Alternativas*. Colección Estructura y dinámica de los sistemas agroindustriales, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 107.
95. Sánchez, P. M. (1998). *Ingeniería de las instalaciones térmicas agroindustriales*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Córdoba, pp.390.
96. SETI (2008). Conceptos básicos en radioastronomía. Disponible en: <<http://www.seti.cl/guias-seti-cl-conceptos-basicos-en-radioastronomia/>>
97. SIAP-SAGARPA (2008). Avances de siembra y cosecha, Resumen nacional por producto perennes: Piña. Disponible en: <http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto.do?producto=25800&invitado=true&ciclo=3>
98. Sichmann, H. L.; Saavedra, A. J.; Kluge, R. A. (2006). Caracterização físico-química e sensorial de frutos de kivi mínimamente procesado armazenados sob refrigeração, *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, **8**(1): 26-32.
99. Silveira, A. C. (2009). Fisiología y bioquímica de los productos MPF. Disponible en: <<http://www.fagro.edu.uy/~alimentos/cursos/frutas/docs/Unidad9.pdf>>
100. Soliva-Fortuny, R. C.; Alos-Sainz, N.; Espachs-Barroso, A.; Martín-Belloso, O. (2004). Influence of maturity at processing on quality attributes of fresh-cut conference pears. *Journal of Food Science*, **7** (69): S290-S294.
101. Soliva-Fortuny, R. C.; Oms-Oliu, G.; Martín- Belloso O. (2002). Effect of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *Journal of Food Science*, **5** (67): 1958-1963.
102. Souza, B. S.; Durigan, J. F.; Teixeira, G. H. A.; Donadon, J. R., (2007). *Mangas 'keitt' mínimamente processadas tratadas com cloreto de cálcio*. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena (España), pp. 780-788.
103. SSA (1994a). Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Disponible en <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/093ssa14.html>>



104. SSA (1994b). Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Disponible en: <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>>
105. SSA (1994c). Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Disponible en: <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>>
106. Teullado, L. I.; González, P. J.; Morant, R. B. (2005). *Actualidad en fruta de la IV gama*. Disponible en: <www.horticom.com/revistasonline/sumaris/rh188/040_053.pdf>
107. Thompson, A. (2003). *Almacenamiento en Atmósferas Controladas de Frutas y Hortalizas*. Editorial Acribia, Zaragoza (España), pp. 273.
108. Tovar, B.; Ibarra, L. I.; García, H. S.; Mata, M. (2000). Some compositional changes in Kent mango (*Mangifera indica*) slices during storage. *Journal of Applied Horticulture*, 2(1):10-14.
109. Velasco, M. S. V. (1986). *Estudio sobre la recuperación de aroma a partir de los desechos obtenidos del proceso de industrialización de la piña*. Tesis de Licenciatura, UNAM, pp. 154.
110. Villegas-Ochoa, M.; Ayala-Zavala, J. F.; Cruz-Valenzuela, R.; Hernández, J.; González-Aguilar, G. A. (2005). *Efecto antioxidante de extractos naturales en manzana 'Red Delicios'*. Simposium "Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas, vegetales frescos cortados", La Habana Cuba, pp. 25-32.
111. Viña, S. Z.; Chávez, A. R. (2005). *Tecnologías aptas para la conservación de hortalizas*, Disponible en: <<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/horticola/hortalizas05.pdf>>
112. Warren, M. R.; Thomas, O. C. (1992). *Principios de la refrigeración*. 2ª edición, Editorial Diana, México, pp. 570.
113. Weichmann, F. (1997). *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza (España), pp. 330.
114. Wiley, R. C. (1997). *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Editorial Acribia, Zaragoza (España), pp. 362.
115. Yahia, E. M.; Higuera, C. I. (1992). *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. Editorial Limusa, México, pp. 303.



REFERENCIAS

116. Zarazúa-Escobar, J. A.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T.; Barrientos-Priego, A. F.; Aguilar-Melchor, J. J. (2005). Frigoconservación y atmósferas modificadas en frutos de aguacate mínimamente procesado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, **11**(1): 143 -148.