



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**

**“EFECTO DE LA MADUREZ PRECOSECHA Y
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO POSCOSECHA
SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE 4
VARIETADES DE TUNA DEL ESTADO DE
GUANAJUATO”**

T E S I S

Que para obtener el título de
Licenciado en Nutrición

P R E S E N T A

López Morales José Antonio

Bajo la Dirección de:

Director: Dr. Ernesto Alanís García

Codirectora: Dra. Maria Teresa Sumaya Martínez

Pachuca, Hgo. Mayo 2010



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.	III
ÍNDICE DE TABLAS.	IV
LISTA ABREVIATURAS.....	VI
1. RESUMEN.	1
ABSTRACT.	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 El nopal y la tuna en México.	3
2.2 Factores precosecha en frutas.	7
2.2.1 Factores agronómicos.	7
2.2.2 Factores ambientales.	8
2.2.3 Factores genéticos.	10
2.2.4 Factores fisiológicos.	11
2.3 Maduración de la tuna.	12
2.3.1 Cambios morfológicos del fruto.	13
2.4 Condiciones de almacenamiento y cambios en la actividad antioxidante poscosecha en frutas.	14
2.5 Actividad antioxidante.	15
2.5.1 Actividad antioxidante en tuna.	17
2.5.2 Métodos empleados en la determinación de Actividad Antioxidante.	18
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	19
4. JUSTIFICACIÓN.	20
5. OBJETIVOS.	21
6. HIPÓTESIS.	21
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	22
7.1 Reactivos y equipo.	24

7.2 Obtención de la muestra.	24
7.3 Determinación de pH y °Brix.	25
7.4 Determinación de compuestos fenólicos totales.	25
7.5 Determinación de ácido ascórbico.	26
7.6 Determinación de betalaínas.	27
7.7 Actividad Quelante.	28
7.8 Determinación de la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•).	29
7.9 Análisis estadístico.	30
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
8.1 Determinación de pH y °Brix.	31
8.2. Contenido de compuestos fenólicos totales.	36
8.3 Contenido de ácido ascórbico.	39
8.4 Determinación de betalaínas.	42
8.5 Porcentaje de Actividad Quelante.	46
8.6 Capacidad antirradical por el método DPPH•.	48
9. CONCLUSIONES.....	51
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Pág.
1. Flor de <i>Opuntia</i> .	6
2. Fruto de <i>Opuntia</i> .	6
3. Diagrama del diseño metodológico.	23
4. Valores de pH de las variedades de tuna en estadio precosecha.	32
5. Valores de °Brix de las variedades de tuna en estadio precosecha.	34
6. Contenido de compuestos fenólicos totales de las variedades de tuna en estadio precosecha.	37
7. Contenido de ácido ascórbico de las variedades de tuna en estadio precosecha.	40
8. Concentración de betacianinas de las variedades de tuna en estadio precosecha.	43
9. Concentración de betaxantinas de las variedades de tuna en estadio precosecha.	45
10. Porcentaje de actividad quelante para las variedades de tuna en estadio precosecha.	47
11. Capacidad antirradical de las variedades de tuna en estadio precosecha.	49
12. Tuna esmeralda estadio verde y madura.	60
13. Tuna anaranjada estadio verde y madura.	60
14. Tuna roja estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madura.	61
15. Tuna púrpura estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madura.	61
16. Curva estándar ácido gálico empleada en la determinación de la concentración de compuestos fenólicos totales.	62
17. Curva estándar empleada en la determinación del ácido ascórbico.	62
18. Curva estándar de Trolox empleada en el método DPPH•.	63

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
1. Principales estados productores de tuna.	4
2. Clasificación taxonómica del género <i>Opuntia</i> .	6
3. Valores de pH de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	33
4. Valores de °Brix de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	36
5. Contenido de compuestos fenólicos totales de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	39
6. Contenido de ácido ascórbico de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	41
7. Concentración de betacianinas de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	44
8. Concentración de betaxantinas de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	46
9. Porcentaje de actividad quelante para las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	48
10. Capacidad antirradical de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.	50
11. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna en estadio precosecha.	62
12. Valores estadísticos para las 4 variedades de tuna en estadio precosecha.	63
13. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a Temperatura Ambiente.	64
14. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a temperatura de Refrigeración.	65
15. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a temperatura de Congelación.	66
16. Correlaciones para tuna esmeralda en estadio de madurez precosecha.	67
17. Correlaciones tuna esmeralda almacenada en diversos tratamientos	67

	poscosecha	
18	Correlaciones para tuna anaranjada en estadio de madurez precosecha.	67
19	Correlaciones tuna anaranjada almacenada en diversos tratamientos poscosecha	68
20	Correlaciones para tuna roja en estadio de madurez precosecha.	68
21	Correlaciones tuna roja almacenada en diversos tratamientos poscosecha	68
22	Correlaciones para tuna púrpura en estadio de madurez precosecha.	69
23	Correlaciones tuna púrpura almacenada en diversos tratamientos poscosecha	69

LISTA ABREVIATURAS.

AA	ácido ascórbico
ABTS	ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)
CFT	compuestos fenólicos totales
DCPI	2,6 diclorofenolindofenol
DMPD	diclorato de <i>N,N</i> -Dimetil- <i>p</i> -fenilendiamina
DPPH•	1,1-difenil-2-picrilhidracil
EAG	equivalentes de ácido gálico
EB	equivalentes de betaninas
EDTA	ácido etilendiaminotetracético
EI	equivalentes de indicaxantina
DCPI	2,6 diclorofenolindofenol
SIAP	Sistema de Información Agropecuaria de Consulta
SIIT	Sistema Integrado de Información Taxonómica

1. RESUMEN.

Las cactáceas son originarias del Continente Americano, en específico de la América tropical, en México se cultiva el nopal tunero principalmente en zonas áridas del altiplano, donde la economía de muchos pobladores depende en gran medida de la tuna, fruto que madura de acuerdo a las condiciones de humedad, temperatura e iluminación. De acuerdo a estudios realizados en Europa y Asia, la tuna presenta diversas propiedades bioactivas o funcionales. En México, a pesar de ser el principal productor de tuna a escala mundial, no se han realizado estudios que analicen la actividad antioxidante de acuerdo a su madurez precosecha y condiciones de almacenamiento poscosecha, por lo cual se procedió al estudio de 4 variedades de tuna *Opuntia* (esmeralda, anaranjada, roja y púrpura) del estado de Guanajuato. Se evaluó la actividad antioxidante en estadios de madurez precosecha (verde, $\frac{3}{4}$ y madura), además del efecto de diversas condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente, refrigeración y congelación) poscosecha, para lo cual a cada muestra se le determinó pH, °Brix, contenido de compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico, betalaínas, actividad antioxidante por DPPH• (1,1-difenil-2-picrilhidracil) y actividad quelante. Los resultados para la tuna esmeralda, en estadio de madurez precosecha, mostraron un incremento en el contenido de ácido ascórbico y actividad quelante conforme ésta maduro, no así en la determinación de las otras variables, las variedades de tuna anaranjada, roja y púrpura reportan un incremento de los valores de compuestos fenólicos totales, betalaínas y actividad antirradical de acuerdo a la madurez del fruto. El contenido de ácido ascórbico, en las variedades anaranjada y roja en estadio de madurez precosecha, no se observó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). El almacenamiento a diversos tratamientos poscosecha, reportan los mayores valores de compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico, betalaínas, actividad quelante y actividad antioxidante para la tuna púrpura.

Palabras clave: tuna, actividad antioxidante, precosecha, poscosecha, compuestos fenólicos totales.

ABSTRACT.

Cactus are native to the Americas, specifically in tropical America, in Mexico the prickly pear is grown mainly in the arid highlands, where the economies of many people depends largely on the prickly pear cactus, ripe fruit according to humidity, temperature and lighting. According to studies conducted in Europe and Asia, the prickly pear cactus has several bioactivas or functional properties. Mexico despite being the largest producer of prickly pear cactus worldwide there have been no studies analyzing the antioxidant activity according to their maturity preharvest (green, $\frac{3}{4}$ and mature) and postharvest storage conditions (room temperature, refrigeration and freezing), so we proceeded to study four varieties of prickly pear *Opuntia* (yellow, orange, red and purple) the state of Guanajuato, that pattern to continue with other investigations. To achieve the objectives of each sample was determined pH, ° Brix, content of total phenolics, ascorbic acid, betalains, antioxidant activity by the method DPPH• (1,1-diphenyl-2-picrilhidracil) and chelating activity. The results for the prickly pear cactus yellow preharvest stage of maturity, they showed increased content of ascorbic acid and chelating activity as the mature, but not in the determination of the other variables, the varieties of prickly pear cactus orange, red and purple report an increase the values of total phenolic, betalains and antiradical activity according to the maturity of the fruit. Ascorbic acid content in orange and red varieties mature preharvest stage, no statistically significant differences ($p < 0.05$). The various treatments post-harvest storage, report the highest values of total phenolic, ascorbic acid, betalains, chelating activity and antioxidant activity for the prickly pear cactus purple.

Keywords: prickly pear cactus, antioxidant activity, preharvest, postharvest, total phenolics.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 El nopal y la tuna en México.

Las cactáceas son originarias del Continente Americano, en específico de la América tropical, la familia a la que pertenecen (Cactaceae) presenta un gran número de endemismo (son casi exclusivas de este lugar) (INE, 1994a).

El nopal se adapta y desarrolla en ambientes áridos y semiáridos-cálidos, a temperaturas medias anuales de 18-25°C, y puede soportar temperaturas ocasionales de -10°C, pero temperaturas como estas llegan a limitar el crecimiento de la planta. La tuna, a pesar de que es el fruto del nopal, necesita de condiciones diferentes de clima para su desarrollo a temperaturas entre 12-34°C, con un rango óptimo de 11-23°C y con una precipitación promedio entre 400-800 mm; en suelos sueltos, arenosos calcáreos en tierras marginales y poco fértiles, superficiales, pedregosos; sin embargo, los suelos altamente arcillosos y húmedos no son convenientes para su cultivo, crece desde el nivel del mar hasta los 3000 m. su mejor desarrollo lo alcanza entre los 1700 a 2500 m sobre el nivel del mar (SIAP: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta).

En México, los nopales tuneros se cultivan principalmente en las zonas áridas del altiplano, donde la economía de muchos pobladores depende en gran medida de la tuna. En dichas poblaciones, se consume o se vende la fruta silvestre recolectada o producida (Flores *et al.*, 1995). En la actualidad, el nopal ocupa en México un área de más de 3 millones de hectáreas mayoritariamente silvestre, del cual se extraen un conjunto numeroso de productos con una amplia gama de aplicaciones ya sea en la industria alimentaría, cosmética, farmacéutica, etc. (Flores *et al.*, 1995; Stintzing *et al.*, 2005). En nuestro país, existen tres zonas productoras de tuna, constituidas a su vez por 9 estados (Tabla 1), los estados de estas zonas en conjunto aportan más del 95% de la producción nacional de tuna y la economía de muchos de sus pobladores

depende en gran medida de este sector productivo (SIAP, 2001).

Tabla 1. Principales estados productores de tuna.

ZONA	ESTADO
Sur	Puebla y Oaxaca
Centro	Hidalgo y Estado de México
Centro-Norte	Zacatecas, San Luís Potosí, Jalisco, Guanajuato y Aguascalientes

Fuente: SIAP 2001

Las flores amarillas y rojas, de gran tamaño, dan lugar a un fruto verrucoso piriforme llamado tuna. Hay numerosas variedades de nopales productores de tunas, frutos muy apreciados sobre todo en la gastronomía popular mexicana. Entre las variedades más conocidas destacan: tuna aguamielilla, amarilla, blanca, camuesa, cardona, colorada, cristalina, de castilla, duraznillo, burrona, ranchera, rojo pelón, tapona, tempranilla, verde y Xoconostle, entre otras (Mercado, 2004).

A pesar de que México es el primer productor mundial de tuna, no ha podido acceder al mercado de otros países, como lo han hecho Italia, Israel, Sudáfrica y Chile, los cuales no cuentan con la diversidad ni con la calidad de las tunas mexicanas; incluso, la presencia de México en el mercado internacional está amenazada por el ingreso de productos provenientes de esos países y otros, como Colombia, Ecuador y China, cuya ventaja radica en que acceden al mercado internacional en el invierno del hemisferio norte. Diversas regiones del mundo, como Europa Occidental (Alemania, Inglaterra, Italia, Grecia, España y Francia), los países árabes y los asiáticos (Japón, Taiwán y Corea), representan un mercado potencial altamente factible de desarrollar. Sin embargo, el posicionamiento de México en éstas regiones se ve limitado por la lejanía, que eleva el costo de la transportación, así como por la ausencia de técnicas de preenfriado y conservación adecuadas. En este sentido, las posibilidades de enviar productos con un procesado mínimo y

congelados representan una gran ventaja para acceder a dichos mercados. Recientemente, se ha detectado la tendencia de incrementar el valor agregado de la tuna, mediante el desarrollo de subproductos con potencial económico. Sin embargo, es necesario generar productos innovadores, de buena calidad y a precios accesibles (Méndez *et al.*, 2006).

2.2 Descripción taxonómica y morfológica.

El nopal pertenece a la familia *Cactaceae*, conocidas como cactáceas o cactus, las cactáceas son plantas que se distribuyen principalmente en las zonas áridas aunque una variedad de especies se encuentran en las zonas tropicales, subtropicales y templadas (Ríos *et al.*, 2004). En México se le llama nopal a varias especies del género *Opuntia* de la familia *Cactaceae*, el cual, presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies (Tabla 2).

El género *Opuntia* comprende plantas perennes (planta que vive más de dos años) suculentas simples o cespitosas (que crecen en forma de la hierba del Césped) arborescentes (con forma o aspecto de un árbol), arbustivas o rastreras (dicho del tallo que tendido por el suelo, echa raicillas de trecho en trecho) generalmente espinosas. El tronco bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postradas. Artículos globosos, cilíndricos o aplanados (cladodios o bolas modificadas así llamadas botánicamente. también llamadas pencas), muy carnosas o leñosas. Las hojas pequeñas rudimentarias que caducan en su juventud, más tarde son reemplazadas por pelos y espinas. Areolas axilareas con espinas, pelos, glóquidas y a veces glándulas (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

Tabla 2. Clasificación taxonómica del género *Opuntia*

Reino:	Plantae
Subreino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Caryophyllidae</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	Cactaceae
Género:	<i>Opuntia</i>
Especie:	<i>Opuntia ficus-indica</i>

Fuente: Sistema Integrado de Información Taxonómica SIIT*^{mx}

Las flores son generalmente hermafroditas, ovario ínfero (tipo de ovario de las fanerógamas: el conjunto de órganos de la reproducción se presenta en forma de flor) que se desarrollan por debajo del cáliz. Estambres numerosos, más cortos que los pétalos, grueso. Lóbulos del estigma (cuerpo glanduloso colocado en la parte superior del pistilo) cortos (Figura 1). Los frutos son en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico (Figura 2) (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

Figura 1. Flor de *Opuntia*.Figura 2. Fruto de *Opuntia*.

2.2 Factores precosecha en frutas.

2.2.1 Factores agronómicos.

Una nutrición vegetal adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo de la planta y consecuentemente sobre la calidad del fruto por su característica de órgano sumidero. Tanto el contenido de un nutriente como el equilibrio entre dos o más pueden afectar al crecimiento y estado fisiológico del fruto, pudiendo originar alteraciones tanto por deficiencia como por una dosis excesiva (Soares-Gomes et al., 2005). El contenido de nitrógeno está directamente relacionado con la síntesis de proteínas y carotenoides, pudiendo afectar a la coloración del fruto, tanto a nivel de la piel como de la pulpa. Un exceso del mismo provoca una disminución de la coloración de la pulpa en melocotón y nectarinas, mientras que una deficiencia induce en la pera la aparición de manchas. Con respecto al aroma se observa un efecto similar, ya que este parámetro sensorial mejora en manzana y pera cuando la dosis de nitrógeno es alta y baja respectivamente (Crisosto y Mitchell, 2007, Romojaro *et al.*, 2010).

En general se considera que un contenido excesivo de nitrógeno se traduce por una mayor producción foliar a costa de una menor calidad del fruto. Esto afecta no solo a parámetros nutricionales como vitamina C y aminoácidos esenciales, sino también a tamaño y textura en poscosecha. El calcio es el elemento que con más frecuencia se ha relacionado con la calidad de los productos hortofrutícolas y en especial con la textura, debido a que participa en numerosos procesos del desarrollo y en el mantenimiento de la estructura de la pared celular, por su capacidad para establecer enlaces iónicos con los grupos carboxilatos de las pectinas (Poovaiah *et al.*, 1988). Este catión es responsable de un elevado número de alteraciones fisiológicas o fisiopatías que se pueden manifestar durante el crecimiento del fruto en la planta o posteriormente en la poscosecha. Todas ellas tienen una repercusión

económica importante, ya que las producciones afectadas no son comercializables (Beverly *et al.*, 1993).

Otros factores agronómicos como las características del suelo, textura, drenaje, y disponibilidad de nutrientes afectan sobre todo al tamaño y aspecto externo del fruto. Aunque algunas prácticas agrícolas como la poda y aclareo se han relacionado con el tamaño, se ha observado que el aumento de la relación “hoja/fruto” induce un aumento de aromas en manzana. Uno de los factores que condicionan la calidad en el momento de la recolección y durante la conservación es el contenido y momento de aplicación del agua de riego. La importancia de la disponibilidad y humedad relativa ambiental están condicionada por los gradientes de potencial hídrico entre el tejido vegetal y el aire, ya que cuando la planta pierde agua se produce un flujo de la misma hacia las hojas, disminuyendo el aporte hídrico y de nutrientes al fruto. Cuando la pérdida de humedad es elevada, del orden del 5%, el turgor celular puede verse afectado y en consecuencia la textura puede disminuir sensiblemente (Crisosto y Mitchell, 2007, Shackel *et al.*, 1991).

2.2.2 Factores ambientales.

Aunque en el cultivo en campo, la mayoría de los factores ambientales son difícilmente modulables, se ha comprobado que tienen una gran influencia en la calidad y valor nutricional de numerosos productos agrarios, tanto por efecto de la intensidad y calidad de la luz que reciben, como por las temperaturas a los que están expuestos, contenido de CO₂ en el ambiente, etc. (Kader, 2007, Romojaro *et al.*, 2010).

Uno de los factores climáticos que más afectan a la calidad del fruto son las altas temperaturas en el periodo precosecha, pudiendo originar un amplio abanico de alteraciones. La magnitud del daño depende de la temperatura, tiempo de exposición, estado de desarrollo del fruto, etc. (Romojaro *et al.*, 2010). Los efectos

directos inducen daño en las membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos y los indirectos inhibición de la síntesis de pigmentos o degradación de los ya existentes, produciéndose una amplia gama de síntomas de escaldado y quemaduras. En manzanas, fresas y peras se ha puesto de manifiesto una relación indirecta entre la temperatura y la firmeza, manteniéndose o aumentando cuando el nivel térmico no es alto (Sams, 1999).

En algunos casos se aprecian efectos globales que afectan a la maduración, inhibiéndola o acelerándola, como en plátano y calabaza respectivamente, o incrementando la desecación por pérdida acelerada de agua, originando alteraciones en aspecto externo e interno del fruto. Algunos de estos efectos pueden verse amplificados cuando las altas temperaturas están asociadas a una radiación solar intensa, afectando no solo a las alteraciones de color, pardeamientos, sino también a las propiedades organolépticas debido a cambios en el contenido en sólidos solubles y acidez valorable (Romojaro *et al.*, 2010). La calidad nutricional también puede sufrir modificaciones, en función del cultivo, del contenido vitamínico, ya que en general temperaturas inferiores a 20°C favorecen el incremento de la vitamina C y las del grupo B, mientras que en tomate la acumulación máxima tiene lugar entre 27 y 30 °C (Shewfelt, 1990).

La exposición a la luz determina el contenido de ácido ascórbico de los tejidos vegetales. En general, cuanto más baja sea la intensidad luminosa, menor será el contenido de ácido ascórbico en los tejidos vegetales. Aunque la luz no juega un papel directo en la absorción y metabolismo de elementos minerales por las plantas, la temperatura influye en el suministro de nutrientes debido a que la transpiración se incrementa con las altas temperaturas (Kader, 2007).

En cítricos se ha observado que el clima tiene una influencia acusada sobre determinados parámetros físico-químicos responsables de la calidad. Así, comparando el tipo mediterráneo, noches frías y lluvias escasas, con el tropical,

caracterizado por noches templadas y lluvias abundantes, los frutos producidos en el primero presentan una mejor coloración de la piel, acidez más elevada, menor contenido de azúcares, piel más gruesa y mínimas alteraciones fúngicas, que los producidos en el segundo (Romojaro *et al.*, 2010).

2.2.3 Factores genéticos.

Se considera que el genoma es responsable del funcionamiento de la planta en relación con las condiciones medioambientales y que el logro del fruto de calidad depende en definitiva del comportamiento de una variedad en un medio externo determinado (Crisosto y Mitchell, 2007, Romojaro *et al.*, 2010).

La variabilidad genética de un cultivar, dentro de una misma especie, es relativamente amplia, por lo que la selección de la más apropiada es de vital importancia para la calidad del producto final. Es importante considerar que inicialmente el genoma nos va a determinar cuantitativa y cualitativamente no solo los parámetros responsables de la calidad organoléptica y nutricional, sino también otros que repercuten sobre la aptitud del fruto a evolucionar tras la recolección y su capacidad de conservación. Ante esta variabilidad la selección varietal es esencial, ya que la obtención de un fruto de calidad dependerá de su potencial genético y de las condiciones ambientales y de cultivo (Romojaro *et al.*, 2010).

Recientemente, las técnicas de biología molecular se han convertido en una alternativa, complementaria a la genética clásica, para mejorar los atributos de calidad y prolongar la vida comercial útil en poscosecha. El desarrollo de líneas transgénicas ha permitido en algunos frutos, como melón y tomate, el control hormonal de procesos fisiológicos y bioquímicos que tienen lugar durante la maduración y que determinan algunos de los atributos de calidad (Romojaro *et al.*, 2010).

2.2.4 Factores fisiológicos.

El estado de madurez en la recolección tiene un papel esencial en la composición química del fruto y por lo tanto en los atributos de calidad. Es precisamente durante la maduración cuando tienen lugar una serie de eventos bioquímicos y estructurales que hacen que se produzcan cambios importantes en los constituyentes, que hacen que el fruto alcance las características sensoriales óptimas para el consumo. Pero lamentablemente una vez que se ha alcanzado este momento se inicia, por lo general la senescencia y la degradación de los tejidos y de la calidad sensorial y nutritiva. Además, la existencia de dos pautas de maduración, climatéricas y no climatéricas, y su diferente comportamiento en poscosecha dificulta la posibilidad de optimizar el momento de la recolección con la calidad y la capacidad de conservación (Kader, 2007, Romojaro *et al.*, 2010).

En efecto, en las especies climatéricas el aumento de la síntesis de etileno es responsable del inicio de la maduración, dotando al fruto de un mayor potencial para su regulación y de la posibilidad de continuar el proceso una vez recolectados, siempre y cuando haya adquirido la “capacidad para madurar”. Este comportamiento permite flexibilizar su recolección, ya que se puede realizar durante un periodo de tiempo, en función de que su comercialización se efectúe inmediatamente o tras la conservación frigorífica. En los no climatéricos la posibilidad de actuación es muy limitada, ya que carecen de esta capacidad y deben recolectarse cuando han alcanzado su calidad de consumo. Independientemente de éstas diferencias, es importante tener en cuenta que la maduración se trata de un evento programado genéticamente que implica la expresión de genes específicos, con síntesis de enzimas de “novo” y “silenciación” de otros. Al ser un mecanismo activo gobernado por el genoma, la selección varietal adquiere una gran importancia (Romojaro *et al.*, 2010).

Es evidente por un lado, que los atributos sensoriales, color, sabor, textura y aroma y por otro los compuestos responsables de los aspectos nutricionales serán diferentes en función del momento de la recolección, determinando la calidad en dicho momento y su evolución en la poscosecha (Romojaro *et al.*, 2010).

Una recolección temprana permite que el fruto mantenga la textura durante un periodo de tiempo más prolongado, pero en manzana y tomate conlleva a una disminución de los compuestos volátiles responsables del aroma, ya que una vez separados del árbol la tasa de producción de estos compuestos disminuyen (Baldwin *et al.*, 1991).

Los cambios de color durante la maduración se caracterizan por la desaparición de las clorofilas y la síntesis de pigmentos coloreados, fundamentalmente carotenoides y antocianos. En el caso de los frutos no climatéricos solo se logrará la coloración adecuada durante el periodo de precosecha, ya que si se recolectan en un estado inmaduro la evolución de los pigmentos no tiene lugar y afectará a la intensidad y calidad del color de la piel y pulpa (Romojaro *et al.*, 2010).

2.3 Maduración de la tuna.

La maduración de la tuna ocurre en un número más o menos fijo de días después de la floración; sin embargo, el estado oportuno de madurez depende de las condiciones de humedad, temperatura e iluminación que prevalezcan durante su desarrollo, razones por las cuales se puede adelantar o retrasar el periodo de cosecha. Aunque, el factor definitivo de madurez depende de la variedad. Algunas especies silvestres presentan fructificaciones más tempranas o más tardías que las variedades cultivadas (INE, 1994b).

En un estudio que se realizó en Turquía se observó que el fruto del nopal comienza su pigmentación a los 49 días posteriores a la apertura de la flor, tiempo en el cual se considera el comienzo de la maduración, se tomaron muestras a partir de este periodo hasta 15 semanas después, del cual se reportó que el fruto es ideal para el consumo humano de los 98 a 112 días posteriores a la apertura de la flor, después de este periodo el fruto se comienza a ablandar y por consiguiente sobremadurarse, con respecto al contenido de betalainas se reportó que su concentración va en aumento hasta los 126 días posteriores a la apertura de la flor (Duru y Turker., 2005)

El grado de madurez de la tuna está determinado por el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y pH, los cuales pueden estar influenciados por factores físicos y químicos de los lugares de procedencia de las tunas incluyendo el tipo de variedad, especie, estado de maduración y forma de cultivo (Gurrieri *et al.*, 2000; Galati *et al.*, 2003; Flores-Hernández *et al.*, 2004).

La calidad de la tuna en México se rige por un pliego de condiciones para el uso de la marca Oficial México Calidad Suprema en Tuna (PC-046-2005), la cual indica el porcentaje de $^{\circ}$ Brix (no menor a 12%) permitido para tunas con calidad comercial.

La marca Oficial tiene como objetivo desarrollar nuevos mercados de más alto valor, con base en la diferenciación de productos de alta calidad, a través de un signo distintivo (marca Oficial), respaldado por certificaciones como las Normas Oficiales Mexicanas, normas y lineamientos tanto nacionales como internacionales.

2.3.1 Cambios morfológicos del fruto.

Silos *et al.*, (2002) realizaron un estudio con tres especies de tuna: Naranja (O. ficus-indica), Blanca Cristalina (Opuntia sp.) y Charola (O. streptacantha), con

respecto a los datos de cambios morfológicos (peso, longitud polar y ecuatorial) y se encontró que tienden a incrementar conforme avanza su periodo de maduración en las tres especies. En las especies Naranjona y Blanca Cristalina, los cambios en el incremento en peso fueron notables a partir de los ochenta días después de la floración, mientras que la especie Charola no presentó un incremento pronunciado sino hasta los 100 días. Naranjona alcanzó un peso promedio en su maduración de 160.3 g, Blanca Cristalina llegó a 230.1 g y Charola a un peso de 72.2 g. En cuanto a la longitud polar y ecuatorial en la especie Naranjona no se da un incremento notable, puesto que después de la floración esta mide 6.5 cm de longitud polar y en estado maduro llega a 8.4 cm; en su longitud ecuatorial inicia de 3.5 cm y llega a 6.0 cm. En la especie Blanca Cristalina inicia con 6.6 cm de longitud polar, y en su estado maduro llegó a 9.6 cm; en su longitud ecuatorial parte de 3.8 cm alcanzando 6.4 cm. En frutos de Charola inicia su periodo de maduración con 3.9 cm de longitud polar alcanzando 6.5 cm e inicia con 3.0 cm y termina con 4.9 cm de longitud ecuatorial.

2.4 Condiciones de almacenamiento y cambios en la actividad antioxidante poscosecha en frutas.

El periodo de almacenamiento, respiración, transpiración, composición química, apariencia externa, estructuras anatómicas, deterioro, sabor, calidad y otros comportamientos y características de precosecha reflejan las condiciones ambientales y culturales a las cuales el producto fue expuesto.

En diversos estudios que se han realizado en frutas, se observa que el almacenaje a temperaturas de refrigeración (4 a 7°C) disminuye las pérdidas de nutrientes significativamente y por consiguiente su actividad antioxidante no se ve alterada en gran medida, el almacenaje a temperatura ambiente reporta pérdidas significativas de nutrientes. Gil *et al.*, (2006) realizaron un estudio en el cual almacenaron piña, mango, melón, sandía, fresa y kiwi unas troceadas y otras

almacenadas enteras durante 9 días a una temperatura de 5°C. Reportaron una pérdida en vitamina C, después de 6 días de almacenamiento de 5% en mango, fresa y sandía, del 10% en piña, 12% en kiwi y 25% en melón todas éstas en troceado. No se encontró ninguna pérdida en carotenoides en kiwi y sandía, mientras que las pérdidas en piñas fueron las más altas con un 25% seguido del 10-15% en melón, mango y fresa después del sexto día a 5°C. En cuanto al contenido de compuestos fenólicos totales no se encontraron pérdidas significativas en alguna fruta. El contenido total de los carotenoides disminuyó en melón y kiwi, pero aumentó en mango y sandía en respuesta a la exposición de la luz durante almacenaje a 5°C por 9 días. No había efecto de la exposición a la luz en el contenido de fenoles.

En un estudio que se realizó con una variedad de tuna en México, con el objetivo de encontrar las condiciones de almacenamiento que repercutían en menor grado en la conservación de la tuna se observó que la refrigeración a 4°C era el método más adecuado para el almacenamiento, además de este método se empleó el encerado y temperatura ambiente, de los cuales se observó que el encerado promovió la descomposición de la fruta debido a las condiciones anaeróbicas que favorecieron el desarrollo de levaduras y hongos (González *et al.*, 2001).

2.5 Actividad antioxidante.

El concepto general de un antioxidante puede definirse como una sustancia que disminuye las concentraciones, retrasa o previene la oxidación de un sustrato de manera significativa. Los mismos actúan a distintos niveles, bien disminuyendo las concentraciones de oxígeno en compartimentos localizados, previniendo el inicio de la reacción en cadena de las especies reactivas de oxígeno, interceptando al primer radical, uniéndose a los iones ferrosos de manera que se evite la formación de especies reactivas de oxígeno, descomponiendo a los peróxidos y convirtiéndolos en alcoholes e interrumpiendo la reacción en cadena al interceptar radicales hidroxilo o alcoxilo (Morales *et al.*, 2009).

La actividad antioxidante de un alimento está determinada por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, así como de la interacción entre ellos y del ambiente en el que se encuentran (Frankel y Meyer, 2000).

Compuestos antioxidantes como la vitamina C ofrecen a los radicales libres sus propios electrones protegiendo las células humanas de sufrir daño. Los antioxidantes son un conjunto heterogéneo de sustancias formado por vitaminas, minerales, pigmentos naturales y otros compuestos vegetales y enzimas, que bloquean el efecto dañino de los radicales libres (Tesoriere *et al.*, 2005).

En los últimos años, se han investigado los antioxidantes en relación con su papel dentro de las enfermedades de máximo impacto, como son las enfermedades cardiovasculares, cáncer, sida, e incluso otras directamente asociadas con el proceso de envejecimiento, como las cataratas, Alzheimer y otras alteraciones del sistema nervioso (Demirkol *et al.*, 2004).

Aunque los estudios epidemiológicos indican que la ingesta de alimentos ricos en antioxidantes disminuye el riesgo de ciertas enfermedades, éstos no modifican el deterioro normal del envejecimiento, ni hacen que vivamos más años. Por otro lado, se ha demostrado que la suplementación a altas dosis con preparados de antioxidantes incluso puede resultar perjudicial (Sun *et al.*, 2002).

Existe un consenso de que la actividad antioxidante de los carotenoides, flavonoides y polifenoles resulta de una combinación de sus propiedades quelantes y secuestradoras de radicales libres (Bohm *et al.*, 1998; Russo *et al.*, 2000; Pérez, 2003; Dorman *et al.*, 2004). Otros autores se refieren además a la inhibición de oxidasas, como la lipoxigenasa, la ciclooxigenasa, la mieloperoxidasa, la NADPH oxidasa y la xantina oxidasa, evitando la generación de especies reactivas del oxígeno *in vivo*, así como de hidroperóxidos orgánicos (Lee *et al.*, 2002; Galati *et al.*,

2003). Por otra parte, se ha podido conocer que también inhiben enzimas involucradas indirectamente en los procesos oxidativos, como la fosfolipasa A₂ al mismo tiempo que estimulan otras con reconocidas propiedades antioxidantes, la catalasa y la superóxido dismutasa. De esta forma los carotenoides, flavonoides y polifenoles interfieren en las reacciones de propagación de radicales libres y en la formación del radical en si (Butera *et al.*, 2002; Pérez, 2003).

2.5.1 Actividad antioxidante en tuna.

La tuna presenta en su composición colorantes como las betalainas las cuales tienen dos derivados: las betacianinas (encargadas de dar el color rojo-púrpura) y betaxantinas (proporcionan el color amarillo-naranja). Kuti, (2004) reportó que las variedades de color rojo y púrpura tienen mayor actividad antioxidante, con respecto a las variedades de tunas blancas y amarillas. En el caso de las tunas dicha actividad será resultado de la suma de la actividad antirradical de los compuestos presentes en ella, tales como compuestos fenólicos, taurina, vitaminas, betalaínas, ácido ascórbico, etc.

(Gurrieri *et al.*, 2000). De diversas variedades de tuna (*Opuntia stricta*, *Opuntia undulada* y *Opuntia ficus-indica*) se extrajeron los pigmentos identificados como betalainas. Las muestras de tuna fueron diluidas con los siguientes disolventes: agua, agua-etanol y buffer; resultando en una mayor extracción y estabilidad de betacianinas en agua. Además, estos pigmentos presentaron una importante actividad antioxidante y no mostraron efectos tóxicos en humanos (Castellar *et al.*, 2003). Actualmente se ha propuesto sustituir los colorantes sintéticos utilizados en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica por las betalainas presentes en la tuna (Stintzing *et al.*, 2002; Castellar *et al.*, 2003; Galati *et al.*, 2003; Tesoriere *et al.*, 2004).

Stintzing *et al.*, (2005) realizaron un estudio donde encontraron que las tunas de color púrpura presentan mayor actividad antioxidante en comparación con las tunas amarillas y verdes, proponiendo que la actividad antioxidante esta relacionada con la concentración de betalaina, presente en mayor proporción en tunas de color púrpura y rojas comparando con las tunas de color verde. Tesoriere *et al.*, (2004) evaluaron la biodisponibilidad en pacientes, del pigmento betalaina presente en tunas, dando como resultado que la betalaina tiene un efecto benéfico al proteger a las células de la oxidación.

2.5.2 Métodos empleados en la determinación de Actividad Antioxidante.

Existen diversos métodos para la determinación de la actividad antioxidante en frutas, los cuales consisten en determinar la actividad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida del color ocurre de forma proporcional con la concentración. No obstante, las determinaciones realizadas nos dan tan sólo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo*. La capacidad antioxidante de una fruta no viene dada solo por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de los compuestos; también depende del microambiente en que se encuentra el compuesto.

Algunos de los métodos son los siguientes:

- Método DPPH• (1,1-difenil-2-picrilhidracil).
- Método DMPD (Diclorato de *N,N*-Dimetil-*p*-fenilendiamina)
- Método ABTS (Ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

México es el principal productor de tuna a escala mundial, ocupando un área de cultivo de más de 3 millones de hectáreas. A pesar de esto, en nuestro país hay pocos estudios científicos que evidencien sus propiedades funcionales de la tuna, como es la actividad antioxidante, lo cual le confiere un valor agregado. De igual forma, hay escasa información sobre los cambios en la actividad antioxidante, que se desarrollan durante los estadios precosecha de madurez o durante el almacenamiento poscosecha bajo diferentes tratamientos de conservación. Algunos de los estudios han sido realizados con variedades cultivadas en otros países, difiriendo en las condiciones de cultivo del nopal con respecto a las variedades nacionales, por lo que es de interés estudiar los cambios que se presentan sobre variedades cultivadas en México.

4. JUSTIFICACIÓN.

La tuna es uno de los alimentos nativos de México y de gran consumo por parte de su población. En las últimas dos décadas, se han evidenciado las propiedades funcionales de la tuna, principalmente por contener compuestos bioactivos que le confieren actividad antioxidante. Estudios recientes sobre el consumo de alimentos de origen vegetal, con capacidad antioxidante, han reportado una disminución en el estrés oxidativo celular presente en enfermedades crónico degenerativas. Por lo anterior, promover el consumo de tuna entre la población mexicana podría ser una alternativa para disminuir la incidencia de enfermedades crónico degenerativas, dado que estas enfermedades ocupan el primer lugar de causa de mortalidad en nuestro país. También se tendría impacto en la cadena productiva de la tuna, dado que se incrementaría su demanda de consumo, viéndose beneficiados todos los productores, al aportar elementos que potenciarán el desarrollo comercial de los productos en frescos y procesados.

5. OBJETIVOS.

Objetivo general:

- Estudiar el efecto de la madurez precosecha y condiciones de almacenamiento poscosecha sobre la actividad antioxidante de 4 variedades de tuna (esmeralda, anaranjada, roja y púrpura) del estado de Guanajuato.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto de la madurez precosecha (estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madura) sobre pH, °Brix, concentración de compuestos fenólicos totales (CFT), ácido ascórbico y betalaínas.
- Determinar la actividad Antirradical de las variedades de tuna a estudiar en madurez precosecha y diversas condiciones de almacenamiento poscosecha por medio del método DPPH y actividad quelante.
- Determinar el efecto de las condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente[TA], refrigeración[R] y congelación[C.]), sobre pH, °Brix, concentración de CFT, ácido ascórbico, betalaínas, y actividad quelante de las variedades de tuna a estudiar

6. HIPÓTESIS.

Las 4 variedades de tuna del estado de Guanajuato cosechadas con grado de madurez comercial y almacenadas a temperaturas de congelación sufren un menor cambio con respecto a las tunas almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración.

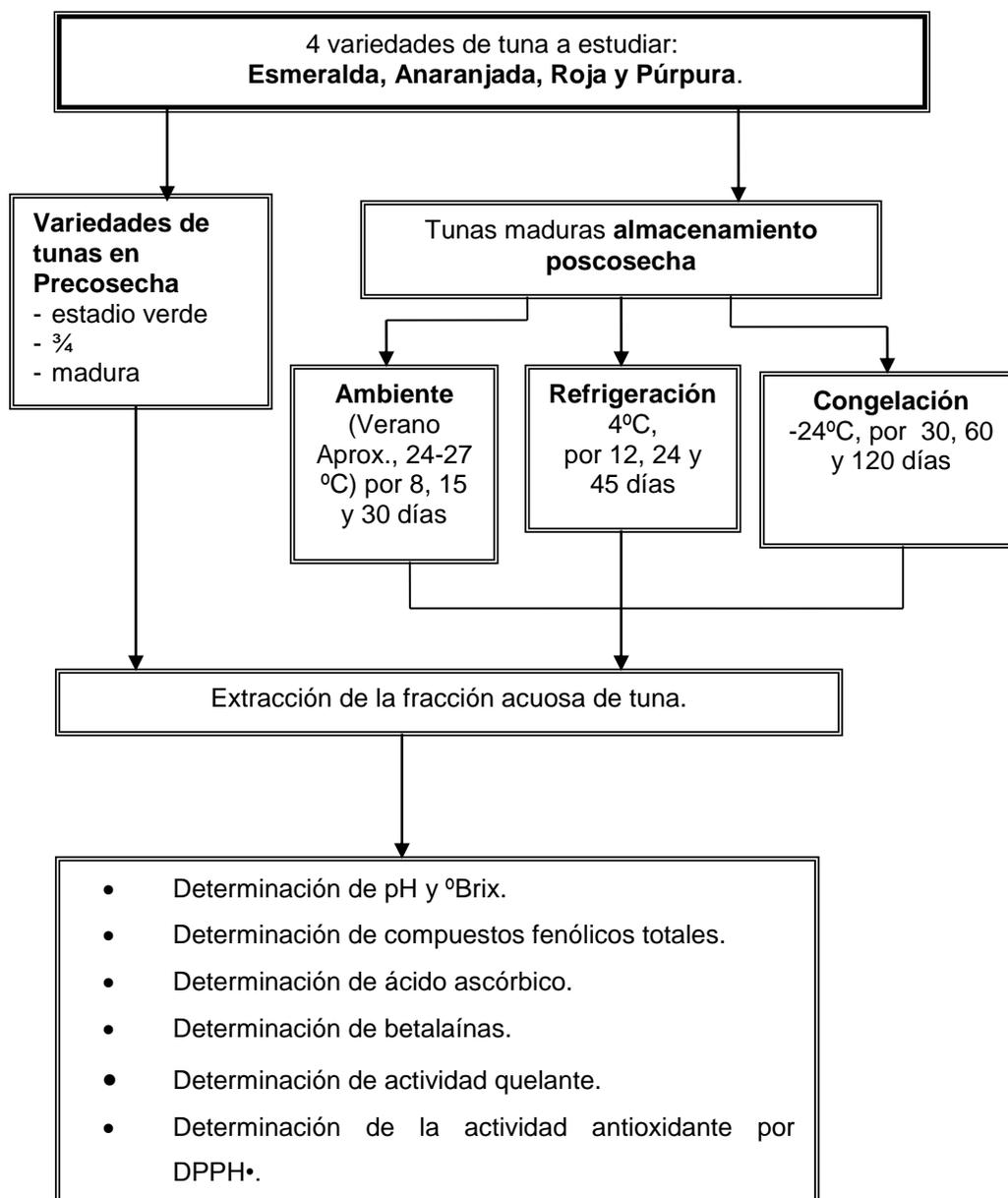
7. DISEÑO METODOLÓGICO.

Las tunas fueron cosechadas en los estadios verde, $\frac{3}{4}$ y madura (Figura 12,13,14 y 15 Anexos); trasladadas en las condiciones adecuadas en cajas de cartón por el productor de las mismas, ubicado en el estado de Guanajuato, entregándolas directamente en el Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa), una parte de las tunas maduras fueron almacenadas en las cajas de cartón en condiciones de temperatura ambiente durante 8, 15 y 30 días, refrigeración (4°C) durante 12, 24 y 45 días, otra parte de las tunas fueron puestas en bolsas de plástico con cierre hermético previo un troceado y almacenadas a temperatura de congelación (-24°C) durante 30, 60 y 120 días. Una vez seleccionadas las muestras de tuna por triplicado de cada variedad, se procedió a extraer la fracción acuosa la cual se empleo para la determinación de las diferentes variables como fueron pH, °Brix, determinación de CFT, determinación de ácido ascórbico, determinación de betalainas, determinación de actividad quelante, y determinación de actividad antioxidante por el método DPPH•, éstas variables se midieron en estadio precosecha (verde, $\frac{3}{4}$ y madura) además de los diferentes tratamientos de almacenamiento a los que fueron sometidos las tunas (Figura 3).

Abreviaturas empleadas para describir los diferentes tratamientos de almacenamiento

M0	Madurez comercial o tiempo cero
TA	Temperatura Ambiente, (0, 8, 15 y 30 días)
R	Refrigeración (0, 12, 24 y 45 días)
C	Congelación (0, 30, 60 y 120 días)

Figura 3 Diagrama del diseño metodológico.



7.1 Reactivos y equipo.

7.1.1 Reactivos.

1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) (Sigma-Aldrich); Etanol (Sigma-Aldrich); Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcromo (Trolox) (Sigma-Aldrich); Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich); Carbonato de Sodio (Sigma-Aldrich); Ácido gálico (Sigma-Aldrich); Cloruro ferrico II tetrahidratado (Sigma-Aldrich); Ferrozina sal ácida de sodio disulfónico 3-(2-piridil)-5,6-difenil-1,2,4-triazina-4',4' (Sigma-Aldrich); Ácido etilendiaminotetracético EDTA (Sigma-Aldrich); Ácido Oxálico (Sigma-Aldrich); Sal disódica 2,6 diclorofenolindofenol DCPI (Sigma-Aldrich); Acetato de sodio, (Química Meyer); Ácido acético glacial. (Química Meyer); Ácido ascórbico (Riedel-de Haen).

7.1.2 Equipo.

Extractor de jugos doméstico (Turmix); Centrifuga refrigerada modelo MR1822 (Jouan, Francia); Refractómetro Thomas Scientific; Potenciómetro Hanna pH 210 Instruments (Rumania); Balanza analítica modelo Adventurer (OHAUS, China); Vortex modelo Genie 2 (DAIGGER, USA); Microcentrifuga modelo Mikro 22R (Hettich, Alemania); Lector de microplacas espectrofotométrico modelo Power Wave XS (UV-Biotek software KCjunior, USA); Baño Cole Parmer termorregulado (USA).

7.2 Obtención de la muestra.

Una vez seleccionadas las muestras de tuna por triplicado de cada variedad, se procedió a extraer el jugo con un extractor casero. Las muestras de jugo obtenidas se centrifugaron a 5000 rpm por 10 min a una temperatura de 4 °C, en una centrifuga refrigerada (para las tunas esmeralda y anaranjada en estadio verde, fue necesario centrifugar nuevamente debido al poco contenido de líquidos, que éstas

presentaban), posteriormente se filtraron a través de membrana de 0.45 μm , almacenadas en tubos de poliestireno y congeladas a -70°C (Kuti, 2004).

7.3 Determinación de pH y °Brix.

Para la determinación del pH las muestras filtradas se midieron con un potenciómetro y los °Brix por medio de un refractómetro de luz, esto conforme a las especificaciones del proveedor.

7.4 Determinación de compuestos fenólicos totales.

Los CFT fueron determinados de acuerdo al método de Stintzing *et al.*, (2005).

Para la determinación se emplea el reactivo de Folin-Ciocalteu el cual es una mezcla de ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico, reducida a óxidos azules de tungsteno y molibdeno durante la oxidación fenólica. Esta reducción ocurre bajo condiciones alcalinas en presencia de carbonato de sodio. La coloración azul es monitoreada a una longitud de onda de 765 nm y refleja la cantidad total de polifenoles usualmente expresado como equivalentes de ácido gálico (EAG) o equivalentes de catequina (Georgé *et al.*, 2005).

Para esta técnica se utilizó una solución de Folin-Ciocalteu diluido 1:10, carbonato de sodio al 7.5 % y ácido gálico a una concentración de 400 mg/L del que se hicieron diluciones de 0, 100, 200 y 300 mg/L para realizar una curva estándar (Figura 16, Anexos) y así obtener la concentración de CFT en cada variedad de tuna y se expresaron como mg EAG/L, las soluciones se prepararon en agua destilada. En viales eppendorf se colocaron 100 μL de la muestra y de cada una de las concentraciones de ácido gálico, después 500 μL de Folin-Ciocalteu y posteriormente 400 μL de carbonato de sodio, se agitó en vortex. Se incubaron a temperatura ambiente por 30 minutos, al término de este tiempo se colocaron 200 μL

en una microplaca y se leyeron a 765 nm en un lector de microplacas.

Se utilizaron los siguientes factores de dilución para la determinación de CFT en cada variedad de tuna analizada.

- Esmeralda y anaranjada: 1:10
- Roja y púrpura: 1:20

7.5 Determinación de ácido ascórbico.

Para la determinación de ácido ascórbico (AA) se empleó el método colorimétrico descrito por Dürüst *et al.*, (1997). Para el cual se realizaron las siguientes soluciones en agua destilada: DCPI (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica), 12 mg/L, ácido oxálico al 0.4%, amortiguador de acetatos compuesto por 3 g de acetato de sodio, 7 mL de agua desionizada y 10 mL de ácido acético glacial y solución madre de ácido ascórbico 50 mg/L diluido en ácido oxálico al 0.4%, de esta solución se hicieron diluciones de 40, 30, 20 y 10 mg/L.

En esta técnica se empleó una curva estándar de AA (Figura 17, Anexos); se colocaron 100 µL de cada una de las soluciones de ácido ascórbico (50, 40, 30, 20, 10 mg/L) más 100 µL de amortiguador de acetatos y 800 µL de DCPI. La absorbancia se midió en un lector de microplacas a 520 nm, utilizando como blanco ácido oxálico al 0.4 %.

El factor de dilución que se utilizó en la elaboración de esta técnica para cada variedad de tuna analizada fue de 1:20, diluidas en ácido oxálico al 0.4%. El procedimiento realizado fue el descrito para la curva estándar empleando en este caso las muestras diluidas de tuna en lugar de AA y los resultados fueron expresados como mg de AA/L.

Se llevó a cabo un factor de corrección para disminuir la interferencia del color de cada tuna, de las muestras diluidas se tomó 100 µL y se les agregó 900 µL de ácido oxálico al 0.4%, este valor se resta a las absorbancias de las lecturas de las muestras a las que se les colocó DCPI y amortiguador de acetatos.

7.6 Determinación de betalaínas.

El contenido de betalaínas, se determinó realizando una dilución de cada jugo de tuna a 1:50 en agua desionizada, se colocó 1 mL de cada muestra diluida en celdas de 1 cm³ y las absorbancias se leyeron en un rango de longitud de onda de 190 a 1110 nm en un espectrofotómetro, se obtuvieron los valores de absorbancias a 535 nm para la cuantificación de betacianinas (pigmentos rojo-púrpura) en términos de equivalentes de betaninas (EB) y a 480 nm para cuantificar la concentración de betaxantinas (pigmentos amarillos) en términos de equivalentes de indicaxantina (EI).

El contenido de betacianinas y betaxantinas, se reportaron como mg EB/L y mg EI/L, respectivamente, fue calculado con la siguiente ecuación:

$$mg / L = \frac{A * FD * PM * 1000}{\epsilon * l}$$

Donde:

A: Absorbancia a 535 o 480 nm

FD: Factor de dilución

PM: Peso molecular

ϵ : Coeficiente de extinción molar

l: es el volumen de la celda (1 cm³)

Los coeficientes de extinción molar empleados en la determinación de betaninas y betaxantinas fueron tomados de Castellar *et al.*, (2003); Stintzing *et al.*, (2005), los cuales son los siguientes:

- Betaninas: $\epsilon = 60.000 \text{ L/ (mol cm)}$, $PM = 550 \text{ g/mol}$
- Betaxantinas: $\epsilon = 48.000 \text{ L/ (mol cm)}$, $PM = 308 \text{ g/mol}$.

7.7 Actividad Quelante.

Se empleo el método reportado por Gulcin *et al.*, (2003) para la determinación de la Actividad Quelante (AQ), el cual se basa en la reacción de la molécula quelante de referencia con el ion ferroso (Fe^{2+}), posteriormente el ion ferroso que no fue quelado o secuestrado reacciona con la ferrozina generando color, el cual es medido a una longitud de 562 nm.

Para la determinación se realizaron las siguientes soluciones en agua destilada: solución de cloruro férrico II tetrahidratado al 2 mM (0.0397 g/100 mL), solución de ferrozina (sal ácida de sodio disulfónico 3-(2-piridil)-5,6-difenil-1,2,4-triazina-4', 4'') al 5 mM (ferrozina 61.5 mg /25 mL) y solución de EDTA (Ácido etilenodiaminotetracético) al 0.1 M (3.7224 g /100 mL).

Se colocaron 100 μL de muestra de tuna en viales, agregando 50 μL de la solución de cloruro férrico y 450 μL de metanol, se agitó en vortex y se dejó en reposo durante 5 min a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron 400 μL de Ferrozina, y nuevamente se agitó en vortex para dejar en reposo por 10 min a temperatura ambiente, se realizó la lectura de absorbancias a una longitud de onda de 562 nm en un lector de microplacas. Como agente quelante de referencia se empleo EDTA a 0.1 M y como muestra control se utilizó agua desionizada, en las mismas condiciones que las muestras de tuna.

Para disminuir la interferencia del color propio de la muestra en el caso de las tunas púrpuras se realizó un factor de dilución 1:20., en las tunas esmeralda, anaranjada y roja no fue necesario aunque en éstas al igual que la tuna púrpura se empleo un factor de corrección, se colocaron 100 μL de cada muestra en viales

añadiendo 900 µL de agua desionizada. El resultado de la lectura se restó a la absorbancia obtenida de las muestras a las cuales se les adiciono cloruro férrico, metanol y ferrozina.

La actividad quelante fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\% AQ = \frac{AMC - AM}{AMC} \times 100$$

Donde:

% AQ: Porcentaje de Actividad Quelante

AMC: Absorbancia de la muestra control

AM: Absorbancia de la muestra

7.8 Determinación de la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•).

La actividad antirradical con base en el método DPPH• fue evaluada de acuerdo al procedimiento reportado por Morales y Jiménez-Pérez (2001). El reactivo DPPH• es un radical libre estable, que en solución etanólica, presenta una coloración violeta fuerte y su máxima absorbancia se obtiene a una longitud de onda de 520 nm. Si se adiciona a este medio una sustancia susceptible de atrapar radicales libres, como lo es el Trolox (Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcromo), el electrón no apareado del DPPH• se aparea e inmediatamente se presenta una decoloración de la solución que puede ir hasta amarillo en razón de los electrones apareados.

La actividad antioxidante se expreso en µmol equivalente de Trolox/L (µmol ET/L), para esta técnica se realizó una curva estándar de Trolox en etanol con las siguientes concentraciones: 0, 50, 100, 200, 300 µmol Trolox/L (Figura 18, Anexos).

El método se inició preparando una solución de DPPH• en etanol a una concentración de 7.4 mg/100 mL y se agitó durante 10 min, y la solución de Trolox ya antes mencionada. Una vez preparadas las soluciones se colocaron en viales 100 µL de las diferentes concentraciones de Trolox, agregando 500 µL de la solución de DPPH•, posteriormente se agitó en un vortex dejando reposar la muestra a temperatura ambiente durante 60 min. pasado el tiempo los viales se centrifugaron en una microcentrífuga a 10,000 rpm durante 5 min a 4°C y se midió la absorbancia del sobrenadante utilizando un lector de microplacas UV a una longitud de onda de 520 nm. con lo cual se determinó la curva estándar para que posteriormente se realizara el mismo procedimiento con las muestras de tuna diluidas.

Para las muestras de tunas esmeraldas y anaranjadas el factor de dilución fue de 1:10 y para las variedades de tunas rojas y púrpuras se utilizó un factor de dilución de 1:20.

7.9 Análisis estadístico.

Los datos de los diferentes experimentos fueron analizados por pruebas de ANOVA con arreglos de media de Duncan a $p \leq 0.01$, así como también análisis de correlación para lo cual se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 15. La recopilación de datos se llevó a cabo por medio de Excel versión 2003.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

8.1 Determinación de pH y °Brix.

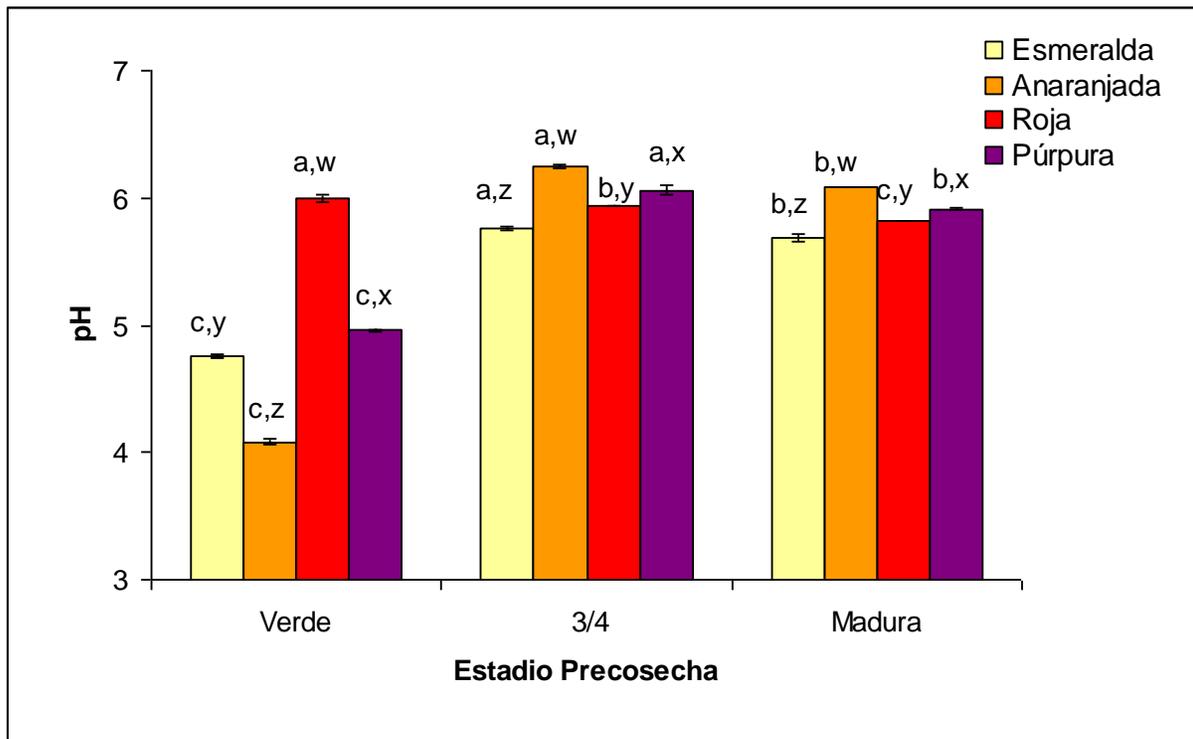
8.1.1 Determinación de pH.

Los valores promedio de pH para las 4 variedades de tunas analizadas, se obtuvieron a partir de 3 extractos provenientes de 3 tunas seleccionadas al azar de cada variedad.

Se puede observar que el pH en las tunas en estadio verde es más ácido, y conforme éstas van madurando el pH va en aumento, llegando a un pH máximo a su madurez (esmeralda 4.7-5.6, anaranjada 4.0-6.0 y púrpura 4.9-5.9, Figura 4), la variedad que obtuvo el valor de pH más alto fue la anaranjada en estadio de madurez $\frac{3}{4}$ (pH 6.2), demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en estadio de madurez precosecha. La tuna roja a excepción de las demás variedades alcanzó valor máximo 5.9 en estadio de madurez verde, el aumento en los valores de pH reportados en este estudio corresponden a lo reportado por Duru y Turker., (2005) donde el pH aumento hasta llegar a 5.5.

En un estudio realizado por Gurrieri *et al.*, (2000), se analizaron tunas blancas, rojas y amarillas de la variedad *Opuntia ficus-indica* y se obtuvo un pH promedio de 6.4. Stintzing *et al.*, (2005) analizaron nueve variedades de tunas *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill y una de *Opuntia robusta wendl*, donde los valores de pH encontrados estuvieron dentro de un rango de 5.6 a 6.5. En ambos estudios se considera el valor del pH como un buen indicador de la madurez de la tuna. Los valores de pH reportados son similares a los de las 4 variedades de tuna analizadas en este estudio con grado de madurez comercial que van de 5.6 a 6.09 (Figura 4).

Figura 4. Valores de pH de las variedades de tuna en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

En lo que respecta a los diferentes tipos de almacenamiento se observó que el valor de pH más alto para las 4 variedades lo obtuvieron a TA8 (esmeralda pH 6.3, anaranjada pH 6.4, roja pH 6.4 y púrpura pH 6.4) (Tabla 3), observando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), los menores cambios se observaron en almacenamiento en refrigeración esto para las 4 variedades de tuna estudiadas.

González *et al.*, (2001) analizaron la conservación de la tuna Burrón (*Opuntia sp*) en diversos tratamientos de almacenamiento uno de los cuales era la refrigeración reportando que el pH disminuye conforme al tiempo esto debido probablemente a factores fisiológicos de maduración de los frutos o a la presencia de microorganismos que promovían la descomposición de azúcares y formación de ácidos. Se pudo observar la misma tendencia para las tunas esmeralda (pH 5.69-5.63) y anaranjada (pH 6.09-5.59) en este estudio (Tabla 3).

Gil *et al*, (2006) analizaron 6 frutas almacenadas durante 9 días a 5°C reportando un aumento del pH en piña, mango, fresa, y sandia, una disminución en pH para el melón y el único que se mantuvo estable fue el kiwi. En este estudio se observó que el pH disminuyó para las tunas esmeralda y anaranjada en almacenamiento a 4°C, en el caso de las tunas rojas y púrpuras el pH aumentó conforme al tiempo de almacenamiento (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de pH de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

	pH			
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	5.6±0.03 ^e	6.0±0.0 ^e	5.8±0.0 ^e	5.9±0.0 ⁱ
TA8	6.3±0.01^a	6.4±0.01^a	6.4±0.01^a	6.4±0.0^a
TA15	6.1±0.01 ^c	6.4±0.0^a	6.2±0.0 ^b	6.3±0.0 ^b
TA30	6.0±0.01 ^c	6.2±0.01 ^b	6.2±0.01 ^b	6.2±0.0 ^c
R0	5.6±0.03 ^e	6.0±0.0 ^e	5.8±0.0 ^f	5.9±0.01 ⁱ
R12	5.6±0.0 ^f	6.0±0.02 ^e	5.9±0.01 ^e	6.0±0.01 ^f
R24	5.4±0.02 ^g	5.8±0.01 ^f	6.2±0.02 ^b	6.0±0.03 ^g
R45	5.6±0.02 ^f	5.5±0.0 ^h	6.2±0.05 ^b	6.0±0.01 ^e
C0	5.6±0.03 ^e	6.0±0.0 ^e	5.8±0.0 ^f	5.9±0.01 ⁱ
C30	5.7±0.01 ^d	6.2±0.01 ^c	6.0±0.0 ^d	6.0±0.01 ^f
C60	6.1±0.01 ^b	5.6±0.02 ^g	5.9±0.01 ^e	5.9±0.01 ^h
C120	5.7±0.0 ^d	6.1±0.06 ^d	6.0±0.01 ^c	6.1±0.01 ^d

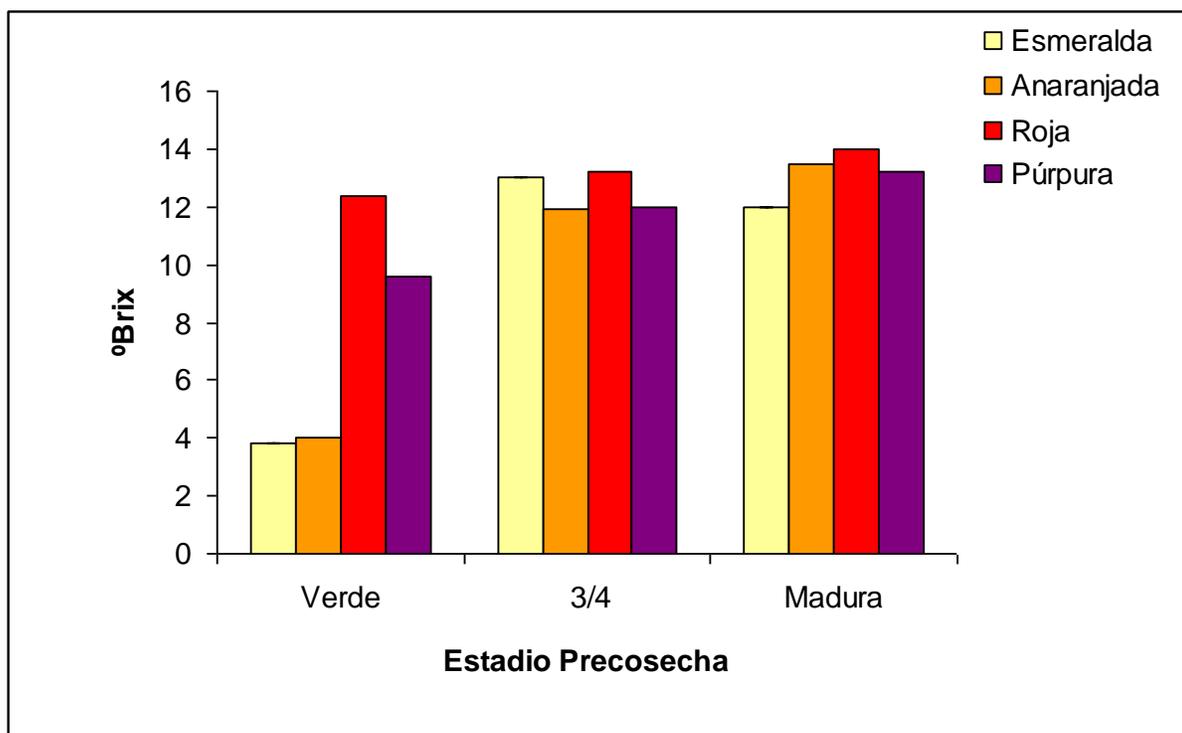
*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

8.1.2 Determinación de °Brix.

Al igual que el pH los °Brix van aumentando conforme las tunas van madurando (esmeralda 3.8-12%, anaranjada 4.0-13.5%, roja 12.4, 14.0% y púrpura 9.6-13.2%, Figura 5), llegando al estadio maduro a su valor máximo para su cosecha, como lo especifica la norma mexicana NMX-FF-015 (12% de sólidos totales como mínimo). Las tunas rojas alcanzan su valor máximo de °Brix al igual que el de pH en estadio verde obteniendo su valor mas alto en madurez comercial (14.0 %) demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en estadio de madurez precosecha. Los valores reportados en este estudio corresponden a lo

reportado por Duru y Turker (2005) donde reportan un incremento de los °Brix de 4.5 a 14.4%.

Figura 5. Valores de °Brix de las variedades de tuna en estadio precosecha.



En un estudio reportado por Stintzing *et al.*, (2005) con diversas variedades de tunas se observa que los valores promedios de °Brix obtenidos fueron de mayor a menor en tunas rojas, blancas, púrpuras y anaranjadas (14.8, 14.2, 12.8 y 12.6 % respectivamente), para este estudio los valores mas altos correspondieron a las tunas rojas seguidas de las anaranjadas, púrpuras y esmeraldas (14, 13.5, 13.2 y 12 % respectivamente) estos datos corresponden a tunas con grado de madurez comercial (Figura 5 y Tabla 4).

Los valores obtenidos en almacenamiento a temperatura ambiente, reflejan una disminución de los °Brix conforme al tiempo, para las variedades de tuna anaranjada (13.5–13.2%) roja (14.0–13.7%) y púrpura (13.2–12.2%) y un aumento

de los mismos para la variedad de tuna esmeralda (12.0–13.6%), para el almacenamiento a refrigeración y congelación, ambos reportan un incremento conforme al tiempo de almacenaje, para las 4 variedades de tuna analizadas en este estudio (Tabla 4).

Gil *et al.*, (2006) reportaron un aumento en °Brix para mango, melón, sandía y kiwi mientras que para piña y fresa se reportó una disminución de los °Brix, esto en frutas enteras almacenadas durante 9 días a 5°C. Lo analizado en este estudio indicó un aumento en °Brix para las tunas esmeraldas, anaranjadas y rojas, y solo una disminución en tunas púrpuras almacenadas a 4°C (Tabla 4). Los valores de °Brix más altos para las tunas almacenadas con diferentes tratamientos reportados en este trabajo de tesis corresponden a las tunas rojas y púrpuras (15.8%), demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los diversos tratamientos de almacenamiento.

Los cambios en la concentración de los nutrimentos, °Brix y pH pueden estar influenciados por factores físicos y químicos de los lugares de procedencia de las tunas incluyendo el tipo de variedad, especie, estado de maduración, forma de cultivo, clima y la composición de la tierra donde se cultiva. Los cambios en la composición durante la maduración del fruto como, la reducción de almidón y un incremento de azúcares que enmascaran la acidez y aumentan el sabor dulce del fruto o la degradación de las pectinas, dando lugar a compuestos solubles, que no tiene capacidad de gelificación y modifican la textura de la fruta ablandándola (Gurrieri *et al.*, 2000; Galati *et al.*, 2003; Flores-Hernández *et al.*, 2004).

Tabla 4. Valores de °Brix de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

°Brix (%)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	12.0±0.0 ^h	13.5±0.0 ^d	14.0±0.0 ^g	13.2±0.0 ^d
TA8	13.3±0.1 ^c	13.4±0.1 ^d	14.4±0.0 ^e	13.0±0.12 ^p
TA15	12.8±0.0 ^e	13.2±0.0 ^e	14.1±0.1 ^f	12.2±0.12 ^f
TA30	13.6±0.0 ^b	13.2±0.0 ^e	13.7±0.1 ^h	12.2±0.0 ^f
R0	12.0±0.0 ^h	13.5±0.0 ^d	14.0±0.0 ^g	13.2±0.0 ^d
R12	13.0±0.0 ^d	14.0±0.1 ^b	14.2±0.0 ^f	13.0±0.0 ^p
R24	14.0±0.0^a	13.2±0.0 ^e	14.5±0.1 ^d	12.8±0.0 ^e
R45	13.6±0.0 ^b	13.8±0.0 ^c	15.0±0.0 ^b	13.4±0.0 ^c
C0	12.0±0.0 ^h	13.5±0.0 ^d	14.0±0.0 ^g	13.2±0.0 ^d
C30	12.4±0.0 ^g	14.0±0.0 ^b	13.6±0.0 ⁱ	12.8±0.0 ^e
C60	12.6±0.0 ^f	14.6±0.0^a	14.7±0.1 ^c	13.6±0.0 ^b
C120	12.0±0.0 ^h	13.8±0.1 ^c	15.8±0.0^a	15.8±0.0^a

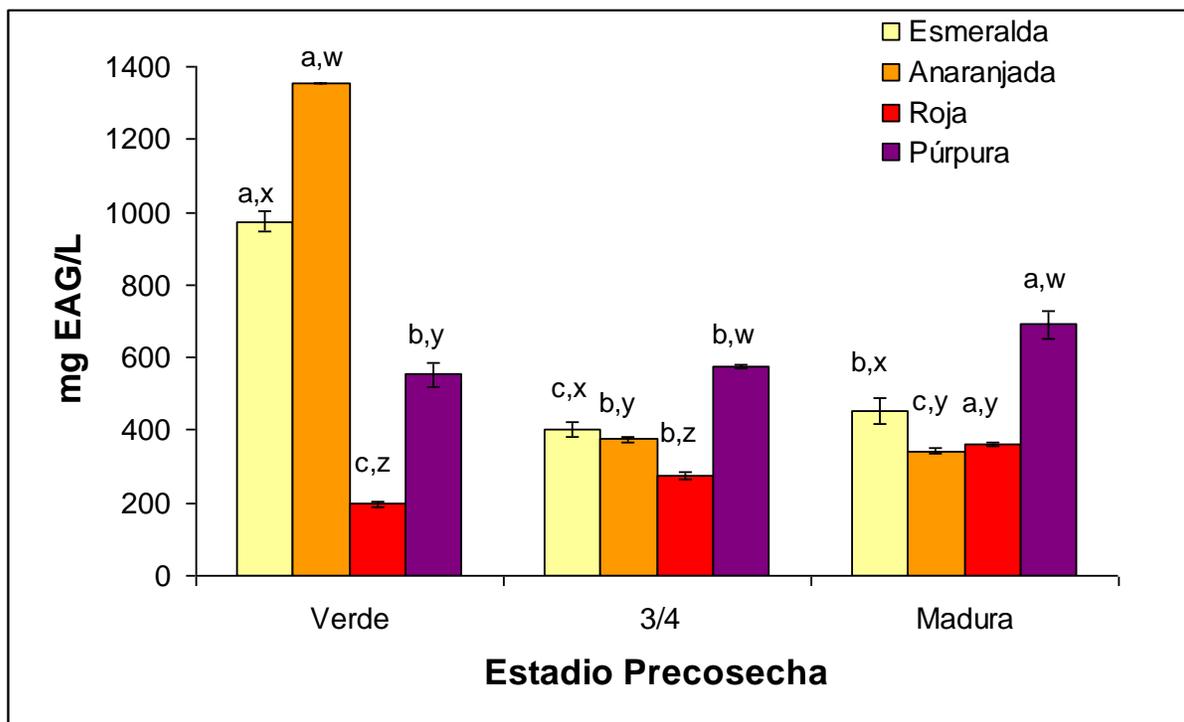
*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

8.2. Contenido de compuestos fenólicos totales.

Las tunas esmeraldas y anaranjadas en madurez precosecha presentaron el mayor contenido de CFT en estadio verde 973.5 ± 27.2 y 1352.9 ± 1.0 mg EAG/L respectivamente (Figura 6), esto pudo deberse al proceso de extracción, ya que el poco contenido de líquidos que éstas presentaban, pudiese haber influido en la concentración de los diversos compuestos y verse aumentados, las cuales muestran diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro del estadio verde. En un estudio realizado por Peña *et al.*, (2006) analizaron la frambuesa con diferentes grados de maduración en el cual reportaron un aumento en el contenido de antocianinas (compuesto fenólico) conforme el fruto va madurando. Williner *et al.*, (2003) reportó que para fresa el contenido de antocianinas va en aumento conforme el fruto va madurando pero el contenido de ácido elágico (compuesto fenólico) decrece con la maduración, para este estudio el contenido de CFT en las tunas esmeralda ($973.5 \pm 27.2 - 451.1 \pm 35.9$ mg EAG/L) y anaranjadas ($1352.9 \pm 1.0 - 342.6 \pm 7.3$ mg EAG/L) decreció conforme el fruto fue madurando, al contrario en las

tunas rojas ($198.0 \pm 7.5 - 361.6 \pm 5.5$ mg EAG/L) y púrpuras ($553.2 \pm 34.3 - 713.2 \pm 40.0$ mg EAG/L) donde se observó un aumento conforme éstas maduraron (Figura 6).

Figura 6. Contenido de compuestos fenólicos totales de las variedades de tuna en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

Stintzing *et al.*, (2005) reportaron los mayores valores de CFT para tunas púrpuras 660 ± 35.8 mg EAG/L y rojas 335 ± 19.3 mg EAG/L, mientras que para variedades de tunas amarillas se presentan valores promedio de 247 ± 23.1 mg EAG/L y para las variedades de tunas blancas de 242 ± 13.4 mg EAG/L. En este estudio al igual que el anterior los valores mas altos se observan para las tunas púrpuras $713.21 \pm 40,05$ mg EAG/L seguidas de las tunas esmeralda 451.15 ± 35.92 mg EAG/L, roja 361.69 ± 5.55 mg EAG/L y anaranjada 342.66 ± 7.34 mg EAG/L,

estos valores corresponden a tunas maduras con grado de madurez comercial (Figura 6, Tabla 5).

En general la tuna púrpura presenta el mayor contenido de CFT al llegar al grado de madurez óptimo para su cosecha y en los diferentes tratamientos de almacenamiento que se analizaron siendo su valor mas alto en TA8 y TA30 (1005.33 ± 30.27 y 988.36 ± 38.48 mg EAG/L respectivamente) observando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los diversos tratamientos de almacenamiento (Tabla 5) seguida de la tuna esmeralda posteriormente la tuna roja y anaranjada (Figura 6, Tabla 5).

El almacenamiento a TA y R, reporta un aumento de los CFT para las 4 variedades de tuna al final del estudio, a excepción de la tuna esmeralda y púrpura en refrigeración donde no se observa diferencia estadísticamente significativa, el almacenamiento a congelación demostró una disminución de los CFT para las 4 variedades de tuna con respecto al tiempo observando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de compuestos fenólicos totales de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

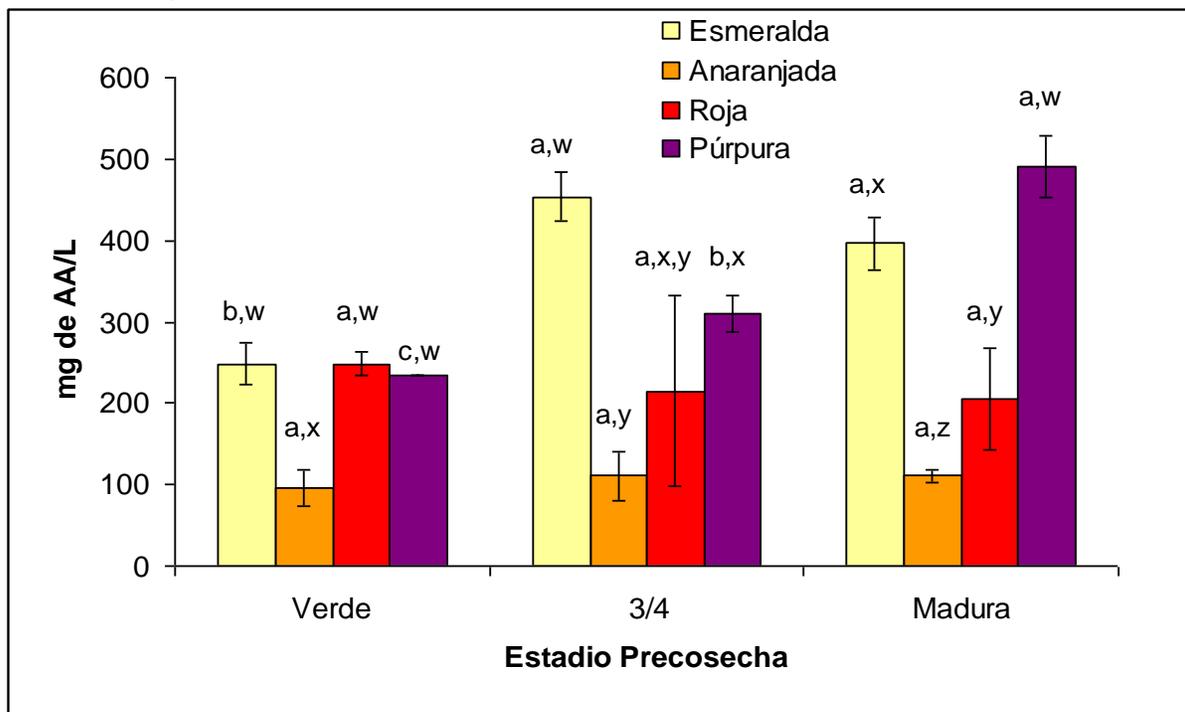
CFT (mg EAG/L)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	451.1±35.9 ^{a,b}	342.6±7.3 ^c	361.6±5.5 ^c	713.2±40.0 ^c
TA8	484.4±43.0 ^a	400.2±17.4 ^a	445.3±30.2 ^a	1005.3±30.2 ^a
TA15	483.8±2.1 ^a	385.6±10.0 ^{a,b}	398.0±16.3 ^b	749.5±11.1 ^c
TA30	457.2±8.9 ^{a,b}	385.6±6.3 ^{a,b}	418.6±14.6 ^{a,b}	988.3±38.4 ^a
R0	451.1±35.9 ^{a,b}	342.6±7.3 ^c	361.6±5.5 ^c	713.2±40.0 ^c
R12	470.5±7.9 ^{a,b}	383.2±11.0 ^{a,b}	370.1±18.1 ^c	908.3±51.2 ^b
R24	401.7±24.1 ^c	386.3±6.3 ^{a,b}	442.9±15.8 ^a	617.4±13.1 ^d
R45	450.5±18.9 ^{a,b}	344.4±5.2 ^c	406.5±15.8 ^b	722.9±16.6 ^c
C0	451.1±35.9 ^{a,b}	342.6±7.3 ^c	361.6±5.5 ^c	713.2±40.0 ^c
C30	463.8±4.5 ^{a,b}	367.5±1.0 ^b	177.4±18.1 ^e	645.3±30.9 ^d
C60	432.3±6.5 ^{b,c}	346.3±26.4 ^c	205.3±12.7 ^d	613.8±7.2 ^d
C120	291.7±5.5 ^d	287.5±5.2 ^d	88.9±8.3 ^f	605.3±36.7 ^d

*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

8.3 Contenido de ácido ascórbico.

En cuanto al contenido de AA las tunas esmeralda en estadio $\frac{3}{4}$ y las tunas púrpuras en estadio de madurez comercial presentaron los mayores valores (453.33 ± 29.73 y 477.14 ± 37.79 mg de AA/L respectivamente) demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los estadios de madurez precosecha. En la tuna anaranjada y roja, no se observó cambio significativo dentro de los estadios de madurez precosecha a diferencia de la tuna esmeralda que se observó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) del estadio verde a los estadios $\frac{3}{4}$ y madura y la tuna púrpura se demostró diferencia con respecto a los tres estadios de madurez precosecha (Figura 7).

Figura 7. Contenido de ácido ascórbico de las variedades de tuna en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

Galati *et al.*, (2003) reportaron que el contenido de AA promedio en el jugo de tuna amarilla *O. ficus-indica* (L.) Mill fue de 269 ± 48 mg/L ácido ascórbico, mientras que en este estudio los valores obtenidos para la tuna esmeralda con grado de madurez comercial fueron de 396.19 ± 32.99 mg de AA/L (Tabla 6)

Lo observado en los diversos tipos de almacenamiento reporta un incremento en el contenido de AA para las 4 variedades de tuna transcurrido el tiempo, a excepción de la variedad esmeralda y púrpura almacenadas en congelación donde se observó una disminución en el contenido de AA conforme al tiempo, demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) (Tabla 6).

En otro estudio donde se analizaron las variedades *O. ficus-indica* (L.) Mill y *O. robusta* Wendl, de diferente color, se encontró que los valores de ácido ascórbico determinado por HPLC para cada variedad fueron: blanca 51.1 ± 3.0 , anaranjada 70.2 ± 16.0 , roja 67.9 ± 16.5 y púrpura 95.4 ± 0.6 mg/L (Stintzing *et al.*, 2005). Debido a las diferencias en los métodos de determinación los valores obtenidos por Stintzing no son comparables con los obtenidos en este trabajo de investigación, sin embargo, se puede observar que la tuna púrpura presenta los mayores niveles incluso en los diversos tratamientos de almacenamiento, siendo su valor mas alto en R24 715.23 ± 45.92 mg de AA/L (Tabla 6, Anexos).seguida de la tuna roja RC30 591.42 ± 37.79 mg de AA/L (Tabla 5, Anexos), esmeralda en TA30 539.04 ± 70.47 mg de AA/L(Tabla 3,Anexos) y anaranjada en TA8 400.24 ± 17.47 mg de AA/L(Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de ácido ascórbico de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

AA (mg de AA/L)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	396.1±32.9 ^c	110.4±8.2 ^g	205.7±62.2 ^e	477.1±37.7 ^e
TA8	458.0±35.9 ^{b,c}	200.9±8.2 ^{b,c,d}	515.2±50.1 ^b	677.1±14.2^{a,b}
TA15	496.1±29.7 ^b	243.8±21.8^a	500.9±16.4 ^{b,c}	562.8±24.7 ^d
TA30	539.0±70.4^a	143.8±16.4 ^{f,g}	415.2±57.7 ^d	639.0±16.4 ^{b,c}
R0	396.1 ± 32.9 ^c	110.4±8.2 ^g	205.7±62.2 ^e	477.1±37.7 ^e
R12	291.4±111.5 ^d	220.0±14.2^{a,b,c}	467.6±29.7 ^{b,c,d}	710.4±29.7^a
R24	429.5±29.7 ^{b,c}	253.3±21.8^a	453.3±29.7 ^{b,c,d}	715.2±45.9^a
R45	439.0±16.4 ^{b,c}	177.1±49.4 ^{d,e,f}	429.5±32.9 ^{c,d}	610.4±21.8 ^{c,d}
C0	396.1±32.9 ^c	110.4±8.2 ^g	205.7±62.2 ^e	477.1±37.7 ^e
C30	391.4±37.7 ^c	239.0±32.9^{a,b}	591.4±37.7^a	686.6±16.4^{a,b}
C60	534.2±14.2^a	196.1±21.8 ^{c,d,e}	505.7±14.2 ^{b,c}	615.2±50.1 ^{c,d}
C120	358.0±82.4 ^{c,d}	158.0±8.2 ^{e,f}	439.0±21.8 ^{b,c,d}	362.8±0.0 ^f

*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

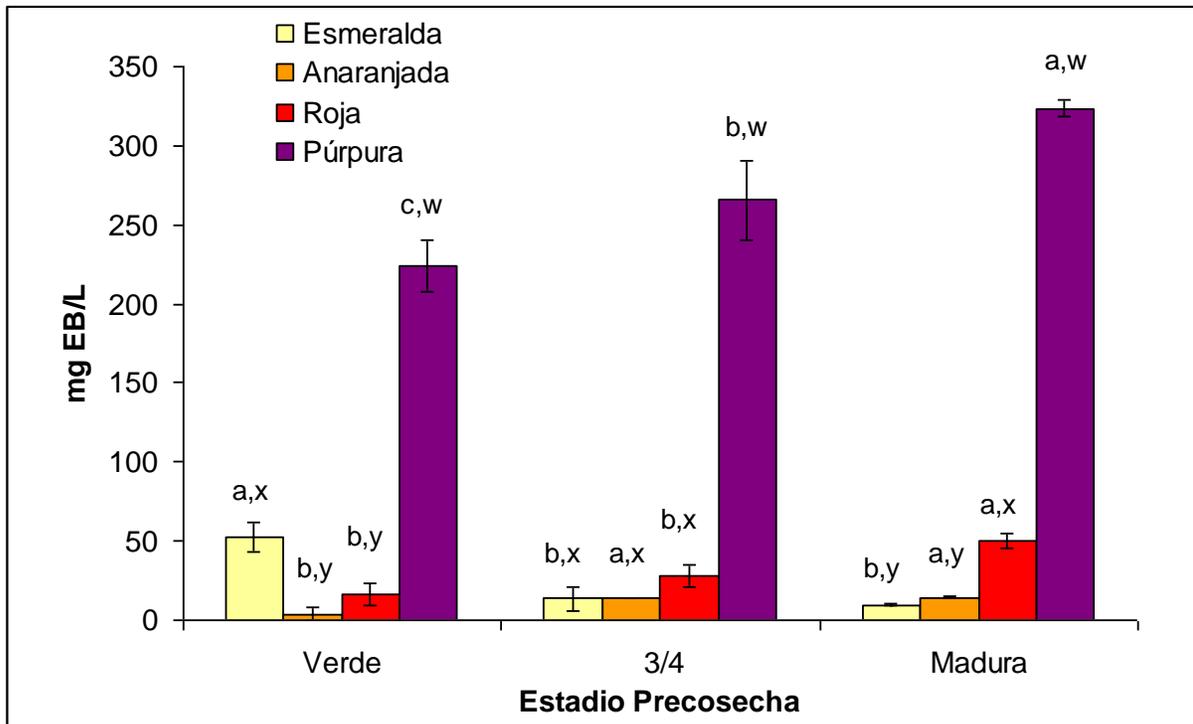
8.4 Determinación de betalaínas.

8.4.1 Concentración de betacianinas.

Los valores mas altos en cuanto a concentración de betacianinas (CB) obtenidos en estadio de madurez precosecha fueron para la variedad de tuna púrpura, observando un incremento significativo conforme el fruto fue madurando hasta llegar a su madurez comercial (224.20 ± 16.09 - 323.61 ± 5.37 mg EB/L). La tuna esmeralda obtuvo los valores mas altos en estadio de madurez verde (52.41 ± 9.49 mg EB/L) observando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) de los estadios de madurez $\frac{3}{4}$ y madura, la tuna anaranjada y roja incrementaron sus valores conforme estas maduraron llegando a su valor máximo en estadio de madurez comercial (14.44 ± 0.81 y 50.06 ± 4.96 mg EB/L respectivamente (Figura 8).

Stintzing *et al.*, (2005), obtuvieron valores promedios de CB para las variedades de tunas blancas (0.1 mg EB/L), anaranjadas (6.6 mg EB/L), rojas (120 mg EB/L) de *O. ficus-indica* (L.) Mill y *O. robusta wendl*, En cuanto a este estudio los valores obtenidos no son iguales pero presentan la misma tendencia (Tabla 7), los valores mas bajos son para la tuna esmeralda (9.51 ± 0.4 mg EB/L) posteriormente la variedad de tuna anaranjada (14.44 ± 0.81 mg EB/L), roja (50.06 ± 4.96 mg EB/L) y los valores mas altos corresponden a la tuna púrpura (323.61 ± 5.37 mg EB/L) estos valores corresponden a tunas con grado de madurez comercial a tiempo 0.

Figura 8. Concentración de betacianinas de las variedades de tuna en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

En relación a este estudio se observó que los valores mas altos fueron para la tuna púrpura esto en los diversos tratamientos de almacenamiento siendo su valor máximo en TA30 618.18 ± 22.32 mg EB/L, demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los diversos tratamientos de almacenamiento, seguida de la tuna roja con 71.92 ± 19.48 mg EB/L en TA30, posteriormente la tuna anaranjada 14.63 ± 8.72 mg EB/L en R45 y por ultimo la tuna esmeralda con 14.75 ± 7.56 mg EB/L en TA8 (Tabla 7).

Tabla 7. Concentración de betacianinas de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

Betacianinas (mg EB/L)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	9.5±0.4 ^b	14.4±0.8^{a,b}	50.0±4.9 ^{c,d}	323.6±5.3 ^{e,f}
TA8	14.7±7.5^a	22.6±3.7^a	55.0±4.2 ^{b,c,d}	525.0±11.7 ^b
TA15	8.7±2.1 ^b	10.6±2.2 ^{b,c}	65.6±17.4^{a,b,c}	507.8±10.0 ^b
TA30	9.9±0.4 ^b	14.1±8.5^{a,b}	71.9±19.4^a	618.1±22.3^a
R0	9.5±0.4 ^b	14.4±0.8^{a,b}	50.0±4.9 ^{c,d}	323.6±5.3 ^{e,f}
R12	2.7±0.7 ^d	6.9±1.9 ^{b,c}	54.0±5.3 ^{b,c,d}	316.3±3.0 ^f
R24	1.8±0.6 ^d	8.6±3.7 ^{b,c}	43.9±4.5 ^d	363.2±22.6 ^d
R45	3.7±0.1 ^{c,d}	14.6±8.7^{a,b}	67.4±1.7^{a,b}	366.1±8.3 ^d
C0	9.5±0.4 ^b	14.4±0.8^{a,b}	50.0±4.9 ^{c,d}	323.6±5.3 ^{e,f}
C30	7.7±0.5 ^{b,c}	8.3±5.6 ^{b,c}	46.1±8.4 ^d	347.8±17.5 ^{d,e}
C60	3.1±1.2 ^d	4.9±1.3 ^c	67.1±4.9^{a,b}	392.4±24.8 ^c
C120	4.4±0.4 ^{c,d}	14.0±7.0^{a,b}	46.7±2.8 ^d	516.3±8.8 ^b

*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

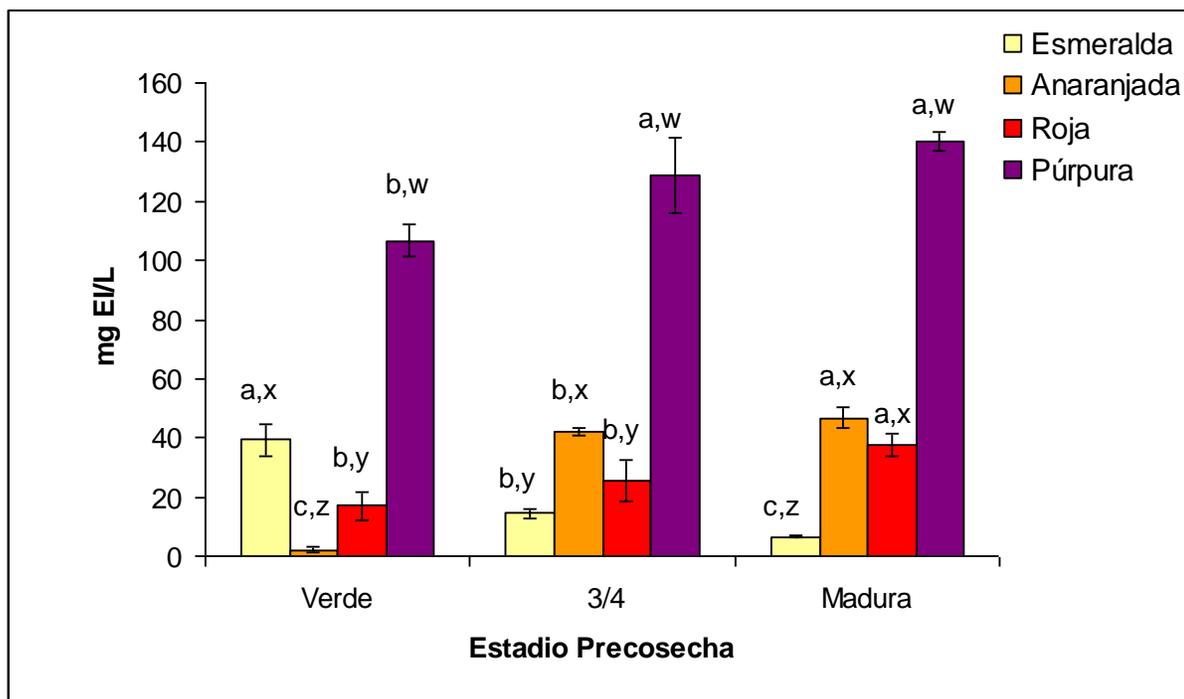
Stintzing *et al.*, (2005) realizaron un estudio donde encontraron que las tunas de color púrpura presentan mayor actividad antioxidante en comparación con las tunas amarillas y verdes, proponiendo que la actividad antioxidante esta relacionada con la concentración de betalaina, presente en mayor proporción en tunas de color púrpura y rojas comparando con las tunas de color verde. Tesoriere *et al.*, (2004) evaluarón la biodisponibilidad en pacientes, del pigmento betalaina presente en tunas, dando como resultado que la betalaina tiene un efecto benéfico al proteger a las células de la oxidación.

8.4.2 Concentración de betaxantinas.

Al igual que el contenido de betacianinas la tuna púrpura como era de esperar obtuvo los mayores valores con respecto a la concentración de betaxantinas seguida de la tuna roja, posteriormente tuna anaranjada y por último la tuna esmeralda esto en estadio de madurez precosecha llegando a su valor máximo cuando alcanzó el

grado de madurez comercial 140.14 ± 2.9 mg EI/L (Tabla 6, Anexos), los valores mas bajos se reportaron para la tuna anaranjada en estadio verde con 2.14 ± 0.75 mg EI/L (Figura 9).

Figura 9. Concentración de betaxantinas de las variedades de tuna en estadio precosecha.



* Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

* Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

Stintzing *et al.*, (2005) reportaron el contenido promedio en betaxantinas de diferentes variedades de tunas blancas (0.4 mg EI/L), anaranjada (76.3 mg EI/L), roja (67.9 mg EI/L) y púrpura (195.8 mg EI/L). Los valores obtenidos para las tunas con grado de madurez comercial en este trabajo de tesis son similares a los reportados y presentan la misma tendencia de menor a mayor contenido de pigmentos: tunas esmeraldas ($6,58 \pm 0,14$ mg EI/L), seguidas por las tunas rojas ($37.62 \pm 3,69$ mg EI/L), anaranjadas ($46,72 \pm 3,48$ mg EI/L) y púrpuras ($140.14 \pm 2,96$ mg EI/L) (Figura 9, Tabla 8).

Tabla 8. Concentración de betaxantinas de las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

Betaxantinas (mg EI/L)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	6.5±0.1 ^b	46.7±3.4^a	37.6±3.6 ^{d,e}	140.1±2.9 ^f
TA8	10.4±4.6^a	42.7±7.4^a	44.2±3.0^{a,b,c,d,e}	240.3±5.9 ^c
TA15	5.5±1.8 ^{b,c}	32.9±3.5 ^b	48.3±12.1^{a,b,c,d}	233.4±5.2 ^c
TA30	5.7±2.1 ^{b,c}	51.3±8.9^a	54.5±14.4^a	297.5±12.4^a
R0	6.5±0.1 ^b	46.7±3.4^a	37.6±3.6 ^{d,e}	140.1±2.9 ^f
R12	1.4±0.4 ^d	17.7±1.2 ^c	40.3±4.3 ^{c,d,e}	153.4±2.4 ^f
R24	1.0±0.4 ^d	21.1±2.8 ^c	36.5±4.5 ^{d,e}	180.7±11.9 ^e
R45	2.0±0.0 ^d	23.1±3.9 ^c	53.0±1.5^{a,b}	181.5±4.7 ^e
C0	6.5±0.1 ^b	46.7±3.4^a	37.6±3.6 ^{d,e}	140.1±2.9 ^f
C30	5.0±0.3 ^{b,c}	21.1±4.8 ^c	35.6±5.5 ^e	182.2±9.4 ^e
C60	1.3±0.7 ^d	24.6±2.4 ^c	50.7±3.4^{a,b,c}	195.1±12.4 ^d
C120	2.9±0.4 ^{c,d}	33.7±4.4 ^b	42.1±2.0 ^{b,c,d,e}	255.2±3.0 ^b

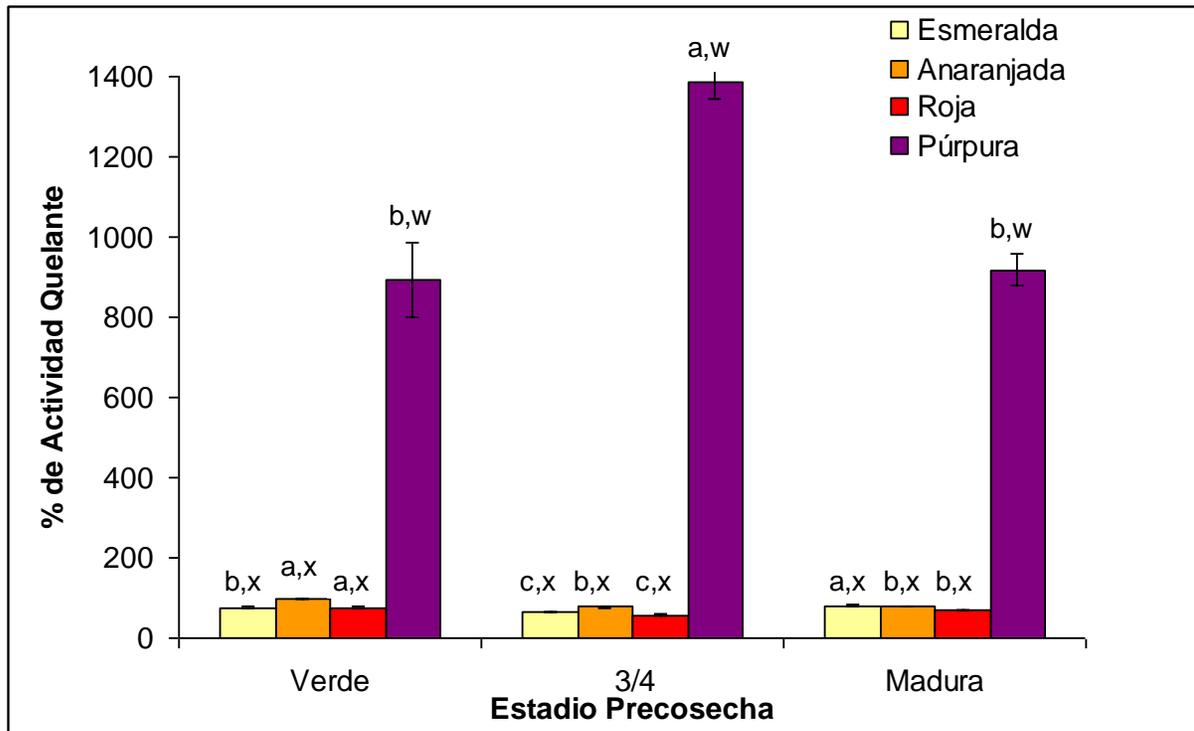
*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

8.5 Porcentaje de Actividad Quelante.

En cuanto al porcentaje de AQ en estadio de madurez precosecha los valores más altos corresponden a las tuna púrpura ($1385.5\% \pm 41.6$ en estadio $\frac{3}{4}$), demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los estadios de madurez precosecha, posteriormente la tuna anaranjada seguida de la tuna esmeralda y por ultimo la tuna roja (Figura 10).

Una vez llegando a la madurez comercial la tuna púrpura obtuvo el valor mas alto ($917.3\% \pm 38.9$), seguida de la tuna esmeralda ($81.08\% \pm 1.27$) posteriormente la tuna anaranjada ($78.37\% \pm 0.25$), y por ultimo la tuna roja ($69.50\% \pm 0.93$). Ángeles y García (2008) en un estudio realizado con 18 variedades de tuna *Opuntia* reportaron el valor máximo de AQ para la tuna Rojo San Martín Hgo $74\% \pm 12$ y el mas bajo para la tuna Torreoja Jal. $51\% \pm 0.61$ consideradas en un grupo de tunas púrpuras, concluyendo que la actividad quelante no depende del color.

Figura 10. Porcentaje de AQ para las variedades de tuna en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

La tuna que presento más cambios en AQ en lo que respecta a los diversos tratamientos de almacenamiento fue la de color púrpura ya que a temperatura ambiente esta presentó una disminución al llegar a 15 días de almacenamiento y un aumento al cabo del tratamiento (30 días), la tuna refrigerada y en congelación presentaron la misma tendencia ya que en la medición intermedia se observó una disminución y al cabo de los tratamientos se observó un incremento, el valor mas alto se obtuvo para la tuna púrpura almacenada en congelación durante 120 días $1118.01 \% \pm 83.85$ observando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en los diversos tratamientos de almacenamiento (Tabla 9).

Tabla 9. Porcentaje de AQ para las variedades de tuna en diversos tratamientos de almacenamiento.

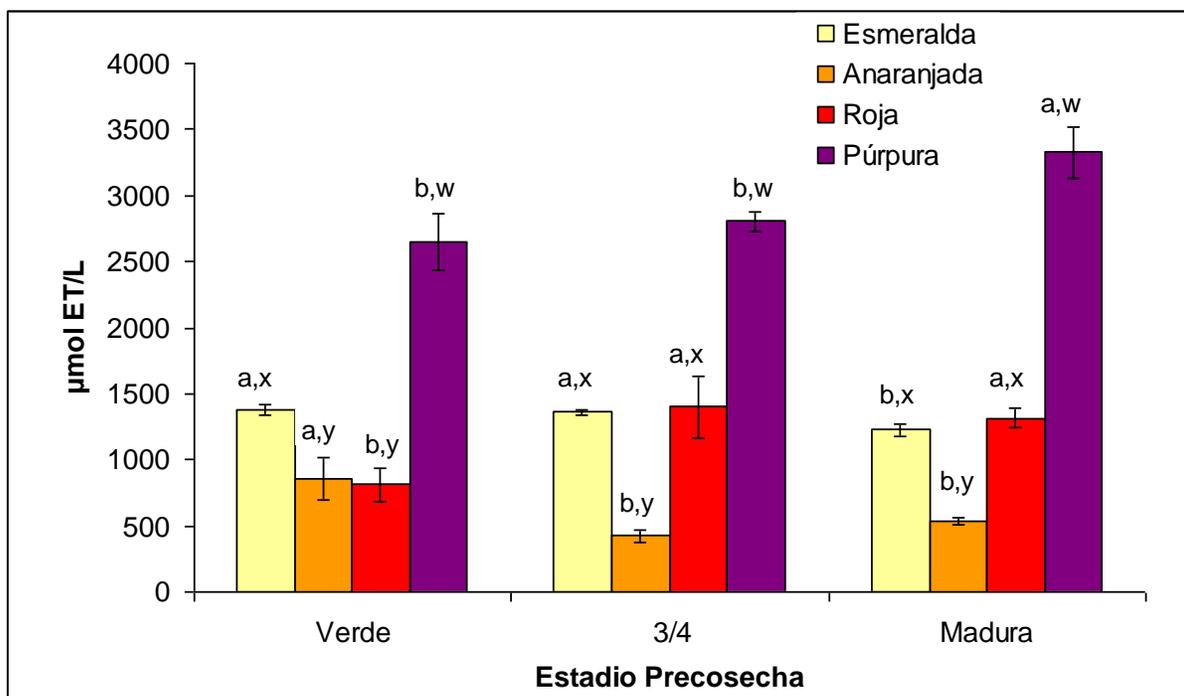
AQ (%)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	81.0±1.2^a	78.3±0.2^a	69.5±0.9^a	917.3±38.9 ^b
TA8	72.1±2.3 ^{b,c}	71.3±0.5 ^c	66.0±0.2 ^b	622.3±120.8 ^d
TA15	72.2±2.4 ^{b,c}	65.6±2.8 ^d	59.8±0.3 ^{d,e}	446.8±103.4 ^e
TA30	73.6±2.7 ^{b,c}	74.0±0.8 ^{a,b,c}	59.6±0.7 ^{d,e}	709.9±44.3 ^{c,d}
R0	81.0±1.2^a	78.3±0.2^a	69.5±0.9^a	917.3±38.9 ^b
R12	64.3±4.0 ^d	73.4±2.6^{a,b,c}	62.7±0.7 ^c	953.9±41.7 ^b
R24	63.9±6.8 ^d	70.6±5.9 ^c	65.6±0.9 ^b	678.4±74.7 ^{c,d}
R45	73.1±1.1 ^{b,c}	76.9±2.5^{a,b}	58.5±3.6 ^e	901.1±41.8 ^b
C0	81.0±1.2^a	78.3±0.2^a	69.5±0.9^a	917.3±38.9 ^b
C30	67.4±2.4 ^{c,d}	72.6±4.2 ^{b,c}	64.8±3.0 ^{b,c}	902.6±83.9 ^b
C60	69.8±5.7 ^{b,c,d}	73.5±2.1 ^{a,b,c}	62.1±0.4 ^{c,d}	758.0±66.3 ^c
C120	74.4±2.2 ^b	72.6±3.9 ^{b,c}	66.9±0.8^{a,b}	1118.0±36.3^a

*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

8.6 Capacidad antirradical por el método DPPH•.

La variedades de tuna que presentan la mayor capacidad antirradical son las púrpuras seguida de la tuna roja, esmeralda y por ultimo la tuna anaranjada, la capacidad antirradical para la tuna púrpura y roja fue en aumento, conforme maduro el fruto, llegando a un valor máximo en grado de madurez comercial para la tuna púrpura de $3328.78 \pm 192.91 \mu\text{mol ET/L}$ y de $1316.66 \pm 75.69 \mu\text{mol ET/L}$ para la tuna roja, aunque no se demostró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los estadios verde y $\frac{3}{4}$ para la tuna púrpura y en los estadios $\frac{3}{4}$ y madura para la tuna roja, en el caso de la tuna esmeralda y anaranjada su capacidad antirradical la alcanzaron incluso en estadio verde (1373.48 ± 40.73 y $857.83 \pm 158.69 \mu\text{mol ET/L}$ respectivamente) (Figura 11).

Figura 11. Capacidad antirradical de las variedades de tunas estudiadas en estadio precosecha.



*Letras de la a-c se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre una variedad en estadio de madurez precosecha.

*Letras de la w-z se observa diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), entre las 4 variedades a un estadio de madurez precosecha.

Kuti, (2004) reportó que las variedades de color rojo y púrpura tienen mayor actividad antioxidante, con respecto a las variedades de tunas blancas y amarillas. En el caso de las tunas dicha actividad será resultado de la suma de la actividad antirradical de los compuestos presentes en ella, tales como compuestos fenólicos, taurina, vitaminas, betalainas, ácido ascórbico, etc.

Stintzing *et al.*, (2005) realizaron un estudio donde encontraron que las tunas de color púrpura presentan mayor actividad antioxidante en comparación con las tunas amarillas y verdes, proponiendo que la actividad antioxidante esta relacionada con la concentración de betalaina, presente en mayor proporción en tunas de color púrpura y rojas comparando con las tunas de color verde. Resultados similares se observaron en este estudio ya que la tuna púrpura presentó los mayores niveles,

seguida de la tuna roja, esmeralda y anaranjada respectivamente (Figura 11, Tabla 10).

En los diversos tratamientos de almacenamiento se observó un incremento en la capacidad antirradical para las 4 variedades de tuna llegando a sus valores máximos en congelación (púrpura C120 6062.12 ± 158.85 $\mu\text{mol ET/L}$, roja C60 3131.81 ± 217.23 $\mu\text{mol ET/L}$, esmeralda C30 2193.18 ± 25.30 $\mu\text{mol ET/L}$ y anaranjada C120 1858.33 ± 89.22 $\mu\text{mol ET/L}$) a excepción de la tuna roja que a temperatura de refrigeración (R24 y R48) no se observó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Los mayores niveles observados en los diversos tratamientos de almacenamiento para la actividad antirradical fueron de tuna púrpura en C120 6062.12 ± 158.85 $\mu\text{mol ET/L}$, demostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) dentro de los diferentes tratamientos de almacenamiento (Tabla 10).

Tabla 10. Capacidad antirradical de las variedades de tunas estudiadas en diversos tratamientos de almacenamiento.

DPPH ($\mu\text{mol ET/L}$)				
	Esmeralda	Anaranjada	Roja	Púrpura
TA0	1225.0 \pm 43.8 ^e	535.6 \pm 21.4 ^f	1316.6 \pm 75.6 ^d	3328.7 \pm 192.9 ^e
TA8	979.5 \pm 37.2 ^f	441.6 \pm 85.3 ^{f,g}	1140.9 \pm 209.6 ^d	4146.9 \pm 120.0 ^d
TA15	1049.2 \pm 26.6 ^f	371.9 \pm 22.8 ^g	1119.6 \pm 36.7 ^d	3286.3 \pm 133.9 ^e
TA30	1938.6 \pm 23.6 ^d	949.2 \pm 66.2 ^e	2750.0 \pm 173.2 ^{b,c}	5204.5 \pm 78.7 ^b
R0	1225.0 \pm 43.8 ^e	535.6 \pm 21.4 ^f	1316.6 \pm 75.6 ^d	3328.7 \pm 192.9 ^e
R12	2002.2 \pm 115.9 ^{b,c}	1196.2 \pm 13.1 ^d	2737.8 \pm 232.5 ^{b,c}	5231.8 \pm 62.9 ^b
R24	2112.8\pm27.7^{a,b}	1485.6 \pm 77.3 ^b	2801.5\pm188.5^{a,b,c}	4165.1 \pm 84.4 ^d
R45	1940.1 \pm 42.2 ^d	1320.4 \pm 161.6 ^{c,d}	2822.7\pm184.5^{a,b,c}	4501.5 \pm 333.5 ^c
C0	1225.0 \pm 43.8 ^e	535.6 \pm 21.4 ^f	1316.6 \pm 75.6 ^d	3328.7 \pm 192.9 ^e
C30	2193.1\pm25.3^a	1323.4 \pm 84.5 ^{c,d}	2565.1 \pm 254.7 ^c	5046.9 \pm 75.6 ^b
C60	2084.0 \pm 4.5 ^{b,c}	1450.7 \pm 86.9 ^{b,c}	3131.8\pm217.2^a	5210.6 \pm 176.5 ^b
C120	2150.7\pm57.7^{a,b}	1858.3\pm89.2^a	2965.1\pm414.6^{a,b}	6062.1\pm158.8^a

*Letras diferentes expresan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), de una variedad entre tratamientos de almacenamiento.

9. CONCLUSIONES.

- Los valores de pH y °Brix para las tunas en estadio de madurez precosecha alcanzaron su máximo al llegar al estadio $\frac{3}{4}$, excepto para la tuna roja que en ambos parámetros su valor máximo lo alcanzo en estadio verde.
- Los valores de pH y °Brix para las tunas maduras estudiadas indicaron un adecuado grado de madurez comercial, de acuerdo a la norma oficial.
- El pH de las tunas almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración disminuyo durante el tiempo de estudio, excepto para el pH de las tunas rojas en refrigeración el cual fue en aumento.
- Las tunas almacenadas a temperatura de congelación no presentaron cambios significativos en cuanto a los valores de pH. Por lo que respecta a °Brix las tunas roja y púrpura aumentaron su valor conforme al tiempo de almacenamiento.
- Las variedades de tuna roja y esmeralda en estadio verde precosecha presentaron los valores más altos de CFT. Sin embargo, una vez llegando al estadio de madurez comercial la tuna púrpura presentó los valores mas altos casi el doble de lo que respecta a las tunas esmeralda, anaranjada y roja
- Los valores de CFT para las tunas esmeralda, anaranjada y roja almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración se mantuvieron constantes, excepto para la tuna púrpura la cual incremento sus valores en TA8, TA30 y R12
- Las 4 variedades de tuna almacenadas a temperaturas de congelación presentaron una disminución en cuanto al contenido de CFT esto conforme al tiempo de almacenamiento.

- El contenido de AA aumentó para las tunas esmeralda y púrpura conforme las tunas maduraron, y en el caso de las tunas rojas y anaranjadas los valores máximos los obtuvieron en estadio verde
- El contenido de AA incrementó conforme al tiempo de almacenamiento en los 3 tratamientos estudiados, excepto para la tuna púrpura y esmeralda en congelación ya que en éstas se observó una disminución.
- La mayor concentración de betacianinas y betaxantinas se reportó para las tunas de color púrpura esto en precosecha y poscosecha seguida de la tuna roja, anaranjada y por último la esmeralda.
- El mayor % de AQ se reportó para las tunas de color púrpura seguida de la tuna anaranjada, esmeralda y roja esto en precosecha y almacenamiento poscosecha, reportando valores superiores al 50% con respecto al EDTA al 0.1 M.
- Los valores de actividad antirradical para la tuna esmeralda no presentó variaciones significativas en relación al estadio precosecha, mientras que la tuna anaranjada presento una disminución significativa entre el estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madurez comercial. Por su parte se observó un aumento significativo en la actividad antirradical para las tunas rojas y púrpuras en función de la madurez precosecha.
- Durante el almacenamiento de las 4 variedades de tuna con los tratamientos y los tiempos estudiados se observo un aumento en la actividad antirradical con respecto al tiempo inicial del estudio. Sin embargo, la mayor actividad antirradical se presento en las tunas almacenadas en refrigeración y congelación.

Recomendaciones.

- Se sugiere un estudio posterior de análisis sensorial para las tunas expuestas a los diferentes tratamientos de almacenamiento, ya que si bien la actividad antirradical y los otros parámetros estudiados en esta tesis aumentan, la calidad sensorial de las tunas puede verse afectada por dichos tratamientos. Esto con la finalidad de determinar el mejor método de almacenamiento que asegure mantener las características y/o propiedades físicas y químicas de las tunas.
- Se sugiere un estudio comparativo con las mismas variedades pero de otra región o Estado de la República, con la finalidad de encontrar si existen diferencias estadísticamente significativas al ser cultivadas en otro tipo de suelo o condiciones climáticas.
- Realizar estudios *in vitro* e *in vivo* con la finalidad de obtener dosis recomendada para su consumo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ángeles, C.J.L y García M.A.E. 2007. Estudio de la actividad antioxidante de 18 variedades de tuna de 6 Estados de la República Mexicana: Jalisco, Guanajuato, Puebla, Hidalgo, Zacatecas y Estado de México. En: Tesis para obtener el título de Licenciado en Nutrición. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, pp: 63-64
- Baldwin, E.A., Arriado, M.O. y Moshonas, M.G. 1991. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 65-269.
- Beverly, R.B., Latimer, J.G. y Smittile, D.A. 1993. Postharvest Handling: A System Approach. Academic. New York. pp: 73-98.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E y Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.*,22:25-30.
- Bohm, H., Boeing, H., Hempel, J., Raab, B., y Krok, A. 1998. Flavonols, Flavone and anthocyanins as naturaantioxidants of foods and their possible role in the prevention of chronic diseases. *Emnahrungswiss.* 2:147-163.
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., Kohen, R., y Livrea, M. A. 2002. Antioxidant Activities of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruit Extracts and Reducing Properties of Its Betalains: Betanin and Indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.* 50(23):6895-901.
- Castellar, R., Obón J. M., Alacid, M y Fernández-López, J. A. 2003. Color Properties and Stability of Betacyanins from *Opuntia* fruit. *J. Agric. Food Chem.* 51(9):2772-2776.
- Crisosto, C.H., y Mitchell, F.G. 2007. Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 55-62.
- Demirkol, O., Adams, C. y Ercal, N. 2004. Biologically Important Thiols in Various Vegetables and Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 52:8151-8154.
- Dorman, H., Bachmayer, O., Kosar, M. y Hiltunen, R. 2004. Antioxidant Properties of Aqueous Extracts from Selected Lamiaceae Species Grown in Turkey. *J. Agric.*

- Food Chem.* 52(4):762-770.
- Duru, B y Turker, N. 2005 Changes in Physical Properties and Chemical Composition of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) During Maturation. *J PACD.*22-33
- Dürüst, N., Dogan, S. y Dürüst, Y. 1997. Ascorbic acid and element contents of foods of trabzon (Turkey). *J Agric Food Chem.* 45 (6): 2085-2087.
- Flores, V. C., Luna M. J., y Ramírez, P. P. 1995. Mercado mundial de la tuna, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. 8-12.
- Flores-Hernández, A., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Valdez Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L. 2004. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *J. PACD.* 23-34.
- Fogliano, V., Verde, V., Randazzo, G y Ritieni, A. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47:1588-1592.
- Frankel, E. y Meyer, A. 2000. The problems using one-dimensional methods to evaluate multidimensional food and biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 80:1925-1941.
- Galati, E. M., Mondello, M. R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miceli. N., Pergolizzi, S., y Taviano, M. F. 2003. Chemical Characterization and Biological Effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Fruit Juice: Antioxidant and Antiulcerogenic Activity. *J. Agric. Food Chem.* 51(17):4903-4908.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P. y Amiot, M. J. 2005. Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *J. Agric. Food Chem.* 53(5): 1370-1373.
- Gil, M, I., Aguayo, E y kader, A, A. 2006. Quality Changes and Nutrient Retention in Fresh-Cut versus Whole Fruits during Storage. *J. Agric. Food Chem.* 54:4284-4296.
- González, G. R., Morales, O. T., Olivares, S. E., Aranda, R. J. y Gallegos, V. C. 2001. Conservación de una variedad de tuna (Burrón) bajo diferentes manejos

- poscosecha. CIENCIA UANL. 4(3):322-329.
- Gulcin, Il., Buyukokurogl, M. E. y Kufrevioglu, O. I. 2003. Metal chelating and hydrogen peroxide scavenging effects of melatonin. *J. Pineal Res.* 34:278–281.
- Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, C. M., Tomaselli, F., Bonomo, R. P., y Rizzarelli, E. 2000. Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) and Perspectives for the Storage of Its Juice. *J. Agric. Food Chem.* 48(11):5424-5431.
- INE, Instituto Nacional de Ecología 1994a. Nopal Verdura: Cultivo alternativo para las zonas áridas y Semiáridas de México. Editorial INE, CONAZA; México.
- INE, Instituto Nacional de Ecología 1994b. Nopal Tunero (*Opuntia spp.*); Cultivo alternativo para las zonas áridas y Semiáridas de México. Editorial INE, CONAZA; México.
- Kader, A.A. 2007a. Biología y tecnología poscosecha: Un panorama. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 43-54.
- Kuskoski, E.M., Vega, J.M., Rios, J.J., Fett, R., Troncoso, A.M. y Asuero, A.G. 2003. Characterization of anthocyanins from the fruits of baguaçu (*Eugenia umbelliflora* Berg). *J. Agric. Food Chem.* 51: 5450-5454.
- Kuti, J.O. 2004. Antioxidant compounds from tour *Opuntia cactus* pear fruit varieties. *Food Chemistry.* 85: 527-533.
- Lee, J., Kim, H., Kim, J. y Jang, Y. 2002. Antioxidant Property of an Etanol Extract of the Stem of *Opuntia Ficus Indica* var. Saboten. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6490-6496.
- Méndez, G, S, J. y García, H, J. 2006. La Tuna: Producción y Diversidad. *Biodiversitas.* 68:2-16.
- Mercado, E. 2004. Cultivos no tradicionales y su potencial de exportación como frutos mínimamente procesados en México. *Universidad Autónoma de Querétaro, facultad de Química,* 101-102.

- Morales, F. J., Jiménez-Pérez, S. 2001. Free radical scavenging capacity of maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *J. Agric. Food Chem.* 72: 119-125.
- Morales, G. J. A., Fernández, S. A. M., Bautista, A. M., Vargas, M. N. y Madrigal, S. E. O. Los Antioxidantes y las enfermedades crónico degenerativas. Tomo I. 1ª Edición. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. pp. 78.
- Morelli, R., Russo-Volpe, S., Bruno, N., Lo Scalzo, R. 2003. Fenton-dependent damage to carbohydrates: free radical scavenging activity of some simple sugars. *J. Agric. Food Chem.* 51: 7418-7425.
- NMX-FF-015-1982 Productos alimenticios no industrializados para uso humano – Fruta Fresca – Determinación de sólidos solubles totales, publicada el 10/06/1982.
- Peña-Varela, G., Salinas-Moreno, Y y Ríos-Sánchez, R. 2006. Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubís idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Rev. Chapingo serie Horticultura.* 12(2): 159-163.
- Pérez, G. 2003. Los flavonoides: antioxidants o prooxidantes. *Rey Cubana Invest Biomedic.* 22:48-57.
- Poovaliah, B.W., Glenn, G.M., Reddy, A.S.N. 1988. Calcium and Fruit Softening: Physiology and Biochemistry. *Hort. Rev.* 10: 107-152.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 1231-1237.
- Reyes-Agüero, J., Aguirre-Rivera, R y Hernández, M. H. 2005. notas sistémicas y una descripción detallada de *Opuntia Ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia.* 39(4):395-408.
- Ríos, R, J y Quintana, M, V. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Secretaria de la reforma Agraria.
- Romajaro, F, Martínez Madrid M.C y Pretil. M.T. 2010. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios,

- www.horticom.com/pd/imagenes/65/906/65906.pdf. Fecha de consulta enero 2010
- Russo, A., Acquaviva, R., Campisi, A., Sorrenti, V., y Di Giacomo O. 2000. Bioflavonoids as antiradicals, antioxidants and DNA cleavage protectors Cell, *Biol Toxicol.* 16:91-98.
- Sams, C.E. 1999. Preharvest factors affecting *postharvest* texture. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 249-254.
- Shackel, K.A., Greve, L.C., Labovitch, J.M., Ahmadin, H. 1991. Plant Physiol. 97: 814-816.
- Shewfelt, R.L. 1990. Sources of variation in the nutrient content of agricultural commodities from the farm to the consumer. *J. Food Qual.* 13: 37-54.
- SIACON. Servicio de Información Agropecuaria de consulta. Fecha de consulta Junio 2006
- SIAP; (2001). Análisis de producción y consumo de tuna. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/antuna.html>. Fecha de consulta Junio 2006
- SIIT. Sistema Integrado de Información Taxonómica. Fecha de consulta Junio 2006
- Silos, E. H., Paredes, L. O., Guevara, L. F y Osuna, C. J. 2002. Estudio molecular del nopal. Parte 1. Calidad y proceso de maduración del fruto. SEP-CONACYT. 9-27.
- Soares-Gomes, A., Trugo, L.C., Botrel, N., Da Silva-Souza, L.F. 2005. Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharv. Biol. Technol.* 35, 201-207.
- Stintzing, F. C., Herbach, k. M., Mosshammer, M. R., Carie, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., y Feiker, P. 2005. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *J. Agric. Food Chem.* 53(2):442-451.
- Stintzing, F, C., Schieber, A., y Carle, R. 2002. Identification of Betalains from Petioles of Differently Colored Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* [L.] Alef. Cv. Bright Lights) by High-Performance Liquid Chromatography-Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 50(8):2302-2307.
- Sun, J., Chu, Y. F., Wu, X. y Liu, R. H. 2002. Antioxidant and antiproliferative

- activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50:7449-7454.
- Tesoriere, L., Allegra, M., Butera, D. y Livrea, M. A. 2004. Absorption, excretion and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potencial health effects of betalains in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 80: 941-945.
- Tesoriere, L., Allegra, M., Butera, D y Livrea, M, A. 2005. Biothoils, Taurine, and Lipid Soluble Antioxidants in the Edible Pulp of Sicilian Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruits and Changes of Bioactive Juice Components upon Industrial Processing. *J. Agric. Food Chem.* 53(4):7851-7855.
- Williner, R. M., Pirovani, E.M. y Quemes, R. D. 2003. Ellagic acid content in strawberries of different cultivars and ripening stages. *Journal of the Science of Food and Agricultura.* 83: 842-845.

Anexos.

Figura 12. Tuna esmeralda estadio verde y madura.



Figura 13. Tuna anaranjada estadio verde y madura.



Figura 14. Tuna roja estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madura.



Figura 15. Tuna púrpura estadio verde, $\frac{3}{4}$ y madura.



Figura 16. Curva estándar ácido gálico empleada en la determinación de la concentración de compuestos fenólicos totales.

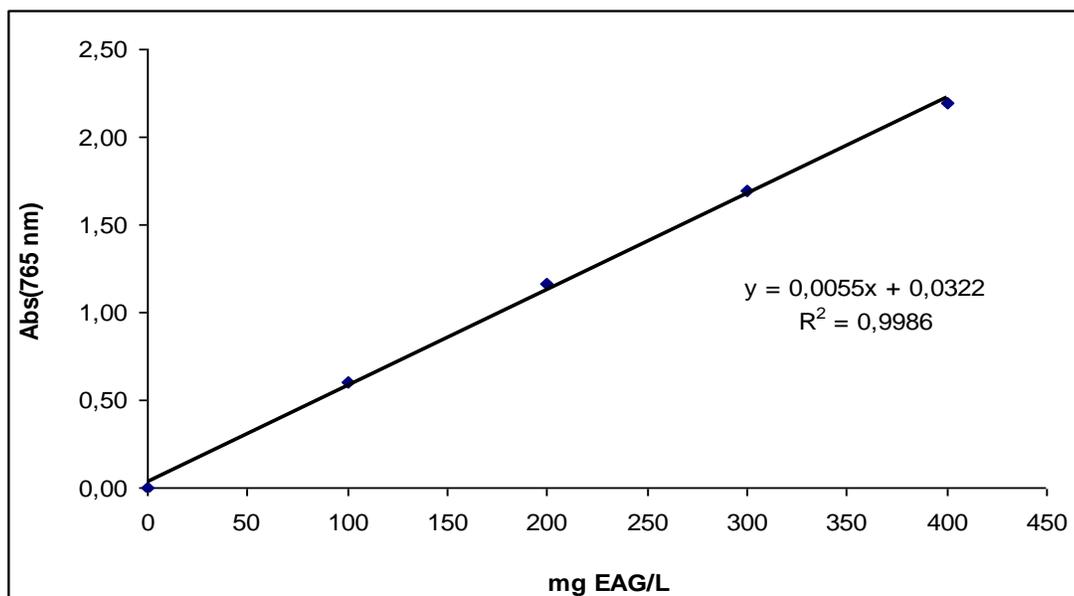


Figura 17. Curva estándar empleada en la determinación del ácido ascórbico.

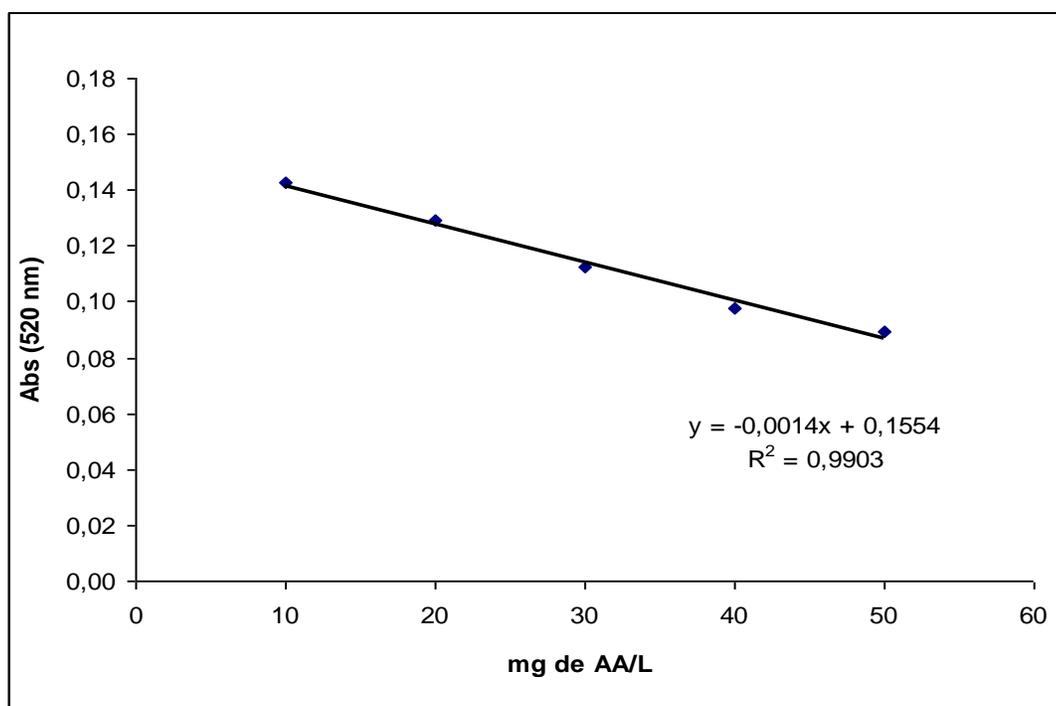


Figura 18. Curva estándar de Trolox empleada en el método DPPH•.

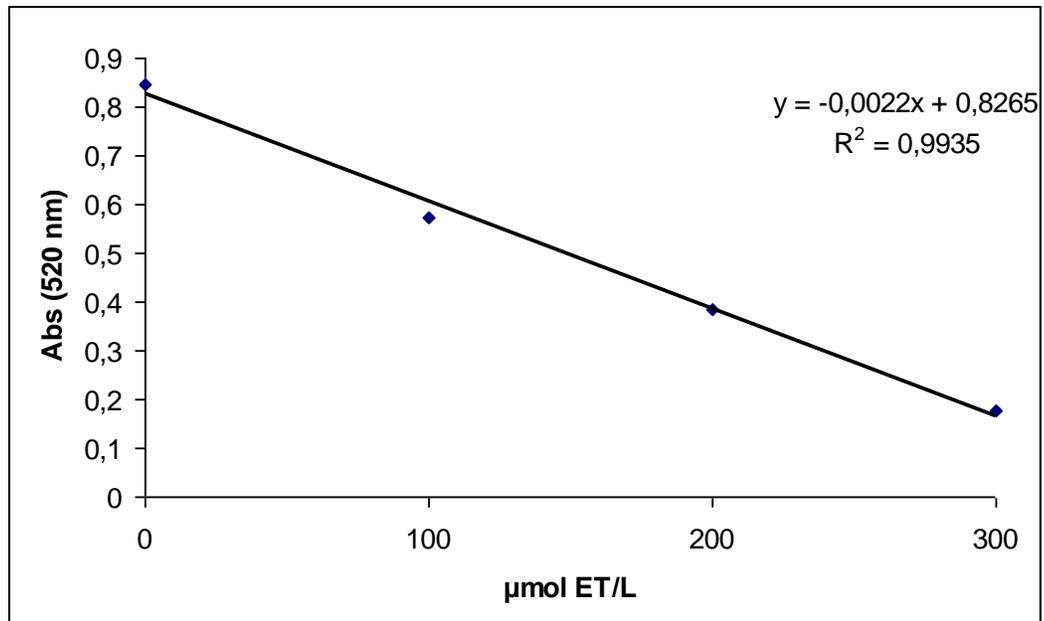


Tabla 11. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna en estadio precosecha.

		Verde	3/4	Madura
pH	Esmeralda	4.7±0.01 ^{c,y}	5.7±0.02 ^{a,z}	5.6±0.03 ^{b,z}
	Anaranjada	4.0±0.02 ^{c,z}	6.2±0.01 ^{a,w}	6.0±0.0 ^{b,w}
	Roja	5.9±0.03 ^{a,w}	5.9±0.0 ^{b,y}	5.8±0.0 ^{c,y}
	Púrpura	4.9±0.01 ^{c,x}	6.0±0.04 ^{a,x}	5.9±0.01 ^{b,x}
°Bx	Esmeralda	3.8±0.0	13.0±0.0	12.0±0.0
	Anaranjada	4.0±0.0	11.9±0.0	13.5±0.0
	Roja	12.4±0.0	13.2±0.0	14.0±0.0
	Púrpura	9.6±0.0	12.0±0.0	13.2±0.0
CFT mg EAG/L	Esmeralda	973.5±27.2 ^{a,x}	401.4±22.0 ^{c,x}	451.1±35.9 ^{b,x}
	Anaranjada	1352.9±1.0 ^{a,w}	375.3±7.5 ^{b,y}	342.6±7.3 ^{c,y}
	Roja	198.0±7.5 ^{c,z}	274.4±9.1 ^{b,z}	361.6±5.5 ^{a,y}
	Púrpura	553.2±34.3 ^{b,y}	576.2±5.5 ^{b,w}	713.2±40.0 ^{a,w}
AA mg de AA/L	Esmeralda	248.5±24.7 ^{b,w}	453.3±29.7 ^{a,w}	396.1±32.9 ^{a,x}
	Anaranjada	96.1±21.8 ^{a,x}	110.4±29.7 ^{a,y}	110.4±8.2 ^{a,z}
	Roja	248.5±14.2 ^{a,w}	215.2±116.3 ^{a,x,y}	205.7±62.2 ^{a,y}
	Púrpura	234.2±0.0 ^{c,w}	310.4±21.8 ^{b,x}	477.1±37.7 ^{a,w}
Betacianinas mg EB/L	Esmeralda	52.4±9.4 ^{a,x}	13.7±7.6 ^{b,x}	9.5±0.4 ^{b,y}
	Anaranjada	4.0±4.4 ^{b,y}	13.9±0.2 ^{a,x}	14.4±0.8 ^{a,y}
	Roja	16.5±6.8 ^{b,y}	27.6±7.1 ^{b,x}	50.0±4.9 ^{a,x}
	Púrpura	224.2±16.0 ^{c,w}	265.9±25.0 ^{b,w}	323.6±5.3 ^{a,w}
Betaxantinas mg EI/L	Esmeralda	39.3±5.5 ^{a,x}	14.4±1.4 ^{b,y}	6.5±0.1 ^{c,z}
	Anaranjada	2.1±0.7 ^{c,z}	41.9±1.2 ^{b,x}	46.7±3.4 ^{a,x}
	Roja	16.8±4.7 ^{b,y}	25.3±7.1 ^{b,y}	37.6±3.6 ^{a,y}
	Púrpura	106.5±5.3 ^{b,w}	128.8±12.6 ^{a,w}	140.1±2.9 ^{a,w}
AQ %	Esmeralda	76.3±2.0 ^{b,x}	63.5±0.4 ^{c,x}	81.0±1.2 ^{a,x}
	Anaranjada	98.6±0.5 ^{a,x}	77.8±1.1 ^{b,x}	78.3±0.2 ^{b,x}
	Roja	75.1±1.5 ^{a,x}	58.0±1.7 ^{c,x}	69.5±0.9 ^{b,x}
	Púrpura	893.7±92.7 ^{b,w}	1385.5±41.6 ^{a,w}	917.3±38.9 ^{b,w}
DPPH µmol ET/L	Esmeralda	1373.4±40.7 ^{a,x}	1361.3±20.8 ^{a,x}	1225.0±43.8 ^{b,x}
	Anaranjada	857.8±158.6 ^{a,y}	421.9±48.6 ^{b,y}	535.6±21.4 ^{b,y}
	Roja	813.6±124.9 ^{b,y}	1398.4±237.2 ^{a,x}	1316.6±75.6 ^{a,x}
	Púrpura	2643.9±212.2 ^{b,w}	2804.5±77.6 ^{b,w}	3328.7±192.9 ^{a,w}

*letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas, Duncan (p<0.05).

*letras de la **a-c** corresponden al análisis de una variedad de tuna en estadio precosecha por variable.

*letras de la **w-z** corresponden al análisis de las 4 variedades de tuna a un estadio precosecha por variable.

Tabla 12. Valores estadísticos para las 4 variedades de tuna en estadio precosecha.

		Verde	3/4	Madura
pH	Esmeralda	4.7±0.01 ⁱ	5.7±0.02 ^f	5.6±0.03 ^g
	Anaranjada	4.0±0.02 ^j	6.2±0.01^a	6.0±0.0 ^b
	Roja	5.9±0.03 ^c	5.9±0.0 ^d	5.8±0.0 ^e
	Púrpura	4.9±0.01 ^h	6.0±0.04 ^b	5.9±0.01 ^d
°Bx	Esmeralda	3.8±0.0	13.0±0.0	12.0±0.0
	Anaranjada	4.0±0.0	11.9±0.0	13.5±0.0
	Roja	12.4±0.0	13.2±0.0	14.0±0.0
	Púrpura	9.6±0.0	12.0±0.0	13.2±0.0
CFT mg EAG/L	Esmeralda	973.5±27.2 ^b	401.4±22.0 ^f	451.1±35.9 ^e
	Anaranjada	1352.9±1.0^a	375.3±7.5 ^{f,g}	342.6±7.3 ^g
	Roja	198.0±7.5 ⁱ	274.4±9.1 ^h	361.6±5.5 ^g
	Púrpura	553.2±34.3 ^d	576.2±5.5 ^d	713.2±40.0 ^c
AA mg de AA/L	Esmeralda	248.5±24.7 ^{c,d}	453.3±29.7^{a,b}	396.1±32.9 ^b
	Anaranjada	96.1±21.8 ^e	110.4±29.7 ^e	110.4±8.2 ^e
	Roja	248.5±14.2 ^{c,d}	215.2±116.3 ^d	205.7±62.2 ^d
	Púrpura	234.2±0.0 ^{c,d}	310.4±21.8 ^c	477.1±37.7^a
Betacianinas mg EB/L	Esmeralda	52.4±9.4 ^d	13.7±7.6 ^{e,f}	9.5±0.4 ^{e,f}
	Anaranjada	4.0±4.4 ^f	13.9±0.2 ^{e,f}	14.4±0.8 ^{e,f}
	Roja	16.5±6.8 ^{e,f}	27.6±7.1 ^e	50.0±4.9 ^d
	Púrpura	224.2±16.0 ^c	265.9±25.0 ^b	323.6±5.3^a
Betaxantinas mg EI/L	Esmeralda	39.3±5.5 ^d	14.4±1.4 ^{f,g}	6.5±0.1 ^{g,h}
	Anaranjada	2.1±0.7 ^h	41.9±1.2 ^d	46.7±3.4 ^d
	Roja	16.8±4.7 ^{e,f}	25.3±7.1 ^e	37.6±3.6 ^d
	Púrpura	106.5±5.3 ^c	128.8±12.6 ^b	140.1±2.9^a
AQ %	Esmeralda	76.3±2.0 ^c	63.5±0.4 ^c	81.0±1.2 ^c
	Anaranjada	98.6±0.5 ^c	77.8±1.1 ^c	78.3±0.2 ^c
	Roja	75.1±1.5 ^c	58.0±1.7 ^c	69.5±0.9 ^c
	Púrpura	893.7±92.7 ^b	1385.5±41.6^a	917.3±38.9 ^b
DPPH µmol ET/L	Esmeralda	1373.4±40.7 ^c	1361.3±20.8 ^c	1225.0±43.8 ^c
	Anaranjada	857.8±158.6 ^d	421.9±48.6 ^e	535.6±21.4 ^e
	Roja	813.6±124.9 ^d	1398.4±237.2 ^c	1316.6±75.6 ^c
	Púrpura	2643.9±212.2 ^b	2804.5±77.6 ^b	3328.7±192.9^a

*letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas, Duncan ($p < 0.05$).

*Análisis estadístico para las 4 variedades de tuna en estadio precosecha por variable.

Tabla 13. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a Temperatura Ambiente.

		TA0	TA8	TA15	TA30
pH	Esmeralda	5.6±0.03 ^{y,j}	6.3±0.01 ^{w,c,d}	6.1±0.01 ^{x,f}	6.0±0.01 ^{x,f,g}
	Anaranjada	6.0±0.0 ^{y,g}	6.4±0.01^{w,a,b}	6.4±0.0 ^{w,b}	6.2±0.01 ^{x,d}
	Roja	5.8±0.0 ^{z,i}	6.4±0.01^{w,a}	6.2±0.0 ^{x,e}	6.2±0.01 ^{y,e}
	Púrpura	5.9±0.0 ^{z,h}	6.4±0.0 ^{w,b}	6.3±0.0 ^{x,c}	6.2±0.0 ^{y,e}
°Bx	Esmeralda	12.0±0.0 ^{z,k}	13.3±0.1 ^{x,f}	12.8±0.0 ^{y,i}	13.6±0.0 ^{w,e}
	Anaranjada	13.5±0.0 ^{w,e,f}	13.4±0.1 ^w	13.2±0.0 ^{x,g}	13.2±0.0 ^{x,g}
	Roja	14.0±0.0 ^{x,c}	14.4±0.0^{w,a}	14.1±0.1 ^{x,b}	13.7±0.1 ^{y,d}
	Púrpura	13.2±0.0 ^{w,g}	13.0±0.12 ^{w,h}	12.2±0.12 ^{x,j}	12.2±0.0 ^{x,j}
CFT	Esmeralda	451.1±35.9 ^{w,c,d}	484.4±43.0 ^{w,c}	483.8±2.1 ^{w,c}	457.2±8.9 ^{w,c,d}
mg EAG/L	Anaranjada	342.6±7.3 ^{x,g}	400.2±17.4 ^{w,e,f}	385.6±10.0 ^{w,e,f,g}	385.6±6.3 ^{w,e,f,g}
	Roja	361.6±5.5 ^{y,f,g}	445.3±30.2 ^{w,c,d}	398.0±16.3 ^{x,e,f}	418.6±14.6 ^{w,x,d,e}
	Púrpura	713.2±40.0 ^{x,b}	1005.3±30.2^{w,a}	749.5±11.1 ^{x,b}	988.3±38.4^{w,a}
	Esmeralda	396.1±32.9 ^{x,f}	458.0±35.9 ^{w,x,d,e,f}	496.1±29.7 ^{w,b,c,d}	539.0±70.4 ^{w,b,c}
mg de AA/L	Anaranjada	110.4±8.2 ^{z,i}	200.9±8.2 ^{x,g,h}	243.8±21.8 ^{w,g}	143.8±16.4 ^{y,h,i}
	Roja	205.7±62.2 ^{y,g,h}	515.2±50.1 ^{w,b,c,d}	500.9±16.4 ^{w,x,b,c,d}	415.2±57.7 ^{x,e,f}
	Púrpura	477.1±37.7 ^{y,c,d,e}	677.1±14.2^{w,a}	562.8±24.7 ^{x,b}	639.0±16.4^{w,a}
	Esmeralda	9.5±0.4 ^{w,g}	14.7±7.5 ^{w,g}	8.7±2.1 ^{w,g}	9.9±0.4 ^{w,g}
Betacianinas mg EB/L	Anaranjada	14.4±0.8 ^{w,x,g}	22.6±3.7 ^{w,g}	10.6±2.2 ^{x,g}	14.1±8.5 ^{w,x}
	Roja	50.0±4.9 ^{w,f}	55.0±4.2 ^{w,e,f}	65.6±17.4 ^{w,e,f}	71.9±19.4 ^{w,e}
	Púrpura	323.6±5.3 ^{y,d}	525.0±11.7 ^{x,b}	507.8±10.0 ^{x,c}	618.1±22.3^{w,a}
	Esmeralda	6.5±0.1 ^{w,g}	10.4±4.6 ^{w,g}	5.5±1.8 ^{w,g}	5.7±2.1 ^{w,g}
Betaxantinas mg EI/L	Anaranjada	46.7±3.4 ^{w,d,e}	42.7±7.4 ^{w,x,d,e,f}	32.9±3.5 ^{x,f}	51.3±8.9 ^{w,d}
	Roja	37.6±3.6 ^{w,e,f}	44.2±3.0 ^{w,d,e,f}	48.3±12.1 ^{w,d,e}	54.5±14.4 ^{w,d}
	Púrpura	140.1±2.9 ^{y,c}	240.3±5.9 ^{x,b}	233.4±5.2 ^{x,b}	297.5±12.4^{w,a}
	Esmeralda	81.0±1.2 ^{w,e}	72.1±2.3 ^{w,e}	72.2±2.4 ^{w,e}	73.6±2.7 ^{w,e}
AQ %	Anaranjada	78.3±0.2 ^{w,e}	71.3±0.5 ^{x,e}	65.6±2.8 ^{y,e}	74.0±0.8 ^{x,e}
	Roja	69.5±0.9 ^{w,e}	66.0±0.2 ^{x,e}	59.8±0.3 ^{y,e}	59.6±0.7 ^{y,e}
	Púrpura	917.3±38.9^{w,a}	622.3±120.8 ^{x,c}	446.8±103.4 ^{y,d}	709.9±44.3 ^{x,b}
	Esmeralda	1225.0±43.8 ^{w,f,g}	979.5±37.2 ^{w,h}	1049.2±26.6 ^{w,g,h}	1938.6±23.6 ^{w,e}
DPPH µmol ET/L	Anaranjada	535.6±21.4 ^{x,i}	441.6±85.3 ^{x,y,i}	371.9±22.8 ^{y,i}	949.2±66.2 ^{w,h}
	Roja	1316.6±75.6 ^{x,f}	1140.9±209.6 ^{x,f,g,h}	1119.6±36.7 ^{x,g,h}	2750.0±173.2 ^{w,d}
	Púrpura	3328.7±192.9 ^{y,c}	4146.9±120.0 ^{x,b}	3286.3±133.9 ^{y,c}	5204.5±78.7^{w,a}
	Esmeralda	1225.0±43.8 ^{w,f,g}	979.5±37.2 ^{w,h}	1049.2±26.6 ^{w,g,h}	1938.6±23.6 ^{w,e}

*letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas, Duncan (p<0.05).

*Letras de la **w-z** corresponde al análisis estadístico de una variedad de tuna por variable.

*Letras a partir de la **a** corresponden al análisis estadístico de las 4 variedades de tuna para un tratamiento por variable.

Tabla 14. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a temperatura de Refrigeración.

		R0	R12	R24	R45
pH	Esmeralda	5.6±0.03 ^{w,g}	5.6±0.0 ^{x,h}	5.4±0.02 ^{y,i}	5.6±0.02 ^{x,h}
	Anaranjada	6.0±0.0 ^{w,b}	6.0±0.02 ^{w,b}	5.8±0.01 ^{x,f}	5.5±0.0 ^{y,i}
	Roja	5.8±0.0 ^{y,f}	5.9±0.01 ^{x,d}	6.2±0.02^{w,a}	6.2±0.05^{w,a}
	Púrpura	5.9±0.01 ^{y,e}	6.0±0.01 ^{w,c}	6.0±0.03 ^{z,d}	6.0±0.01 ^{x,b}
°Bx	Esmeralda	12.0±0.0 ^l	13.0±0.0 ^j	14.0±0.0 ^d	13.6±0.0 ^f
	Anaranjada	13.5±0.0 ^{y,g}	14.0±0.1 ^{x,d}	13.2±0.0 ^{z,i}	13.8±0.0 ^{w,e}
	Roja	14.0±0.0 ^{z,d}	14.2±0.0 ^{y,c}	14.5±0.1 ^{x,b}	15.0±0.0^{w,a}
	Púrpura	13.2±0.0 ⁱ	13.0±0.0 ^j	12.8±0.0 ^k	13.4±0.0 ^h
CFT	Esmeralda	451.1±35.9 ^{w,d}	470.5±7.9 ^{w,d}	401.7±24.1 ^{x,f,g}	450.5±18.9 ^{w,d}
mg EAG/L	Anaranjada	342.6±7.3 ^{x,h}	383.2±11.0 ^{w,f,g,h}	386.3±6.3 ^{w,f,g}	344.4±5.2 ^{x,h}
	Roja	361.6±5.5 ^{y,g,h}	370.1±18.1 ^{y,f,g,h}	442.9±15.8 ^{w,d,e}	406.5±15.8 ^{x,e,f}
	Púrpura	713.2±40.0 ^{x,b}	908.3±51.2^{w,a}	617.4±13.1 ^{y,c}	722.9±16.6 ^{x,b}
	AA	Esmeralda	396.1±32.9 ^{w,x,c}	291.4±111.5 ^{x,d}	429.5±29.7 ^{w,c}
mg de AA/L	Anaranjada	110.4±8.2 ^{y,f}	220.0±14.2 ^{w,x,d,e}	253.3±21.8 ^{w,d,e}	177.1±49.4 ^{x,e,f}
	Roja	205.7±62.2 ^{x,e}	467.6±29.7 ^{w,c}	453.3±29.7 ^{w,c}	429.5±32.9 ^{w,c}
	Púrpura	477.1±37.7 ^{y,c}	710.4±29.7^{w,a}	715.2±45.9^{w,a}	610.4±21.8 ^{x,b}
	Betacianinas	Esmeralda	9.5±0.4 ^{w,e}	2.7±0.7 ^{x,y,e}	1.8±0.6 ^{y,e}
mg EB/L	Anaranjada	14.4±0.8 ^{w,e}	6.9±1.9 ^{w,e}	8.6±3.7 ^{w,e}	14.6±8.7 ^{w,e}
	Roja	50.0±4.9 ^{x,y,d}	54.0±5.3 ^{x,d}	43.9±4.5 ^{y,d}	67.4±1.7 ^{w,c,e}
	Púrpura	323.6±5.3 ^{x,b}	316.3±3.0 ^{x,b}	363.2±22.6^{w,a}	366.1±8.3^{w,a}
	Betaxantinas	Esmeralda	6.5±0.1 ^{w,g}	1.4±0.4 ^{x,y,g}	1.0±0.4 ^{y,g}
mg EI/L	Anaranjada	46.7±3.4 ^{w,d,e}	17.7±1.2 ^{x,f}	21.1±2.8 ^{x,f}	23.1±3.9 ^{x,f}
	Roja	37.6±3.6 ^{x,f}	40.3±4.3 ^{x,e,f}	36.5±4.5 ^x	53.0±1.5 ^{w,d}
	Púrpura	140.1±2.9 ^{y,c}	153.4±2.4 ^{x,b}	180.7±11.9^{w,a}	181.5±4.7^{w,a}
	AQ	Esmeralda	81.0±1.2 ^{w,d}	64.3±4.0 ^{y,d}	63.9±6.8 ^{y,d}
%	Anaranjada	78.3±0.2 ^{w,d}	73.4±2.6 ^{w,x,d}	70.6±5.9 ^{x,d}	76.9±2.5 ^{w,x,d}
	Roja	69.5±0.9 ^{w,d}	62.7±0.7 ^{x,d}	65.6±0.9 ^{x,d}	58.5±3.6 ^{y,d}
	Púrpura	917.3±38.9^{w,a,b}	953.9±41.7^{w,a}	678.4±74.7 ^{x,c}	901.1±41.8 ^{w,b}
	DPPH	Esmeralda	1225.0±43.8 ^{y,g,h}	2002.2±115.9 ^{w,x,f}	2112.8±27.7 ^{w,f}
µmol ET/L	Anaranjada	535.6±21.4 ^{y,i}	1196.2±13.1 ^{x,h}	1485.6±77.3 ^{w,g}	1320.4±161.6 ^{w,x,g,h}
	Roja	1316.6±75.6 ^{x,g,h}	2737.8±232.5 ^{w,e}	2801.5±188.5 ^{w,e}	2822.7±184.5 ^{w,e}
	Púrpura	3328.7±192.9 ^{y,d}	5231.8±62.9^{w,a}	4165.1±84.4 ^{x,c}	4501.5±333.5 ^{x,b}

*letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas, Duncan (p<0.05).

*Letras de la **w-z** corresponde al análisis estadístico de una variedad de tuna por variable.

*Letras a partir de la **a** corresponden al análisis estadístico de las 4 variedades de tuna para un tratamiento por variable.

Tabla 15. Valores estadísticos de las 4 variedades de tuna almacenadas a temperatura de congelación.

		C0	C30	C60	C120
pH	Esmeralda	5.6±0.03 ^{y,k}	5.7±0.01 ^{x,j}	6.1±0.01 ^{w,b}	5.7±0.0 ^{x,j}
	Anaranjada	6.0±0.0 ^{y,d}	6.2±0.01^{w,a}	5.6±0.02 ^{z,l}	6.1±0.06 ^{x,c}
	Roja	5.8±0.0 ^{z,i}	6.0±0.0 ^{w,e}	5.9±0.01 ^{y,f}	6.0±0.01 ^{x,d}
	Púrpura	5.9±0.01 ^{z,h}	6.0±0.01 ^{w,e}	5.9±0.01 ^{y,g}	6.1±0.01 ^{x,c}
°Bx	Esmeralda	12.0±0.0 ^l	12.4±0.0 ^k	12.6±0.0 ^j	12.0±0.0 ^l
	Anaranjada	13.5±0.0 ^{z,g}	14.0±0.0 ^{x,d}	14.6±0.0 ^{w,c}	13.8±0.1 ^{y,e}
	Roja	14.0±0.0 ^{y,d}	13.6±0.0 ^{z,f}	14.7±0.1 ^{x,b}	15.8±0.0^{w,a}
	Púrpura	13.2±0.0 ^h	12.8±0.0 ⁱ	13.6±0.0 ^f	15.8±0.0^a
CFT mg EAG/L	Esmeralda	451.1±35.9 ^{w,d}	463.8±4.5 ^{w,d}	432.3±6.5 ^{w,d}	291.7±5.5 ^{x,f}
	Anaranjada	342.6±7.3 ^{w,e}	367.5±1.0 ^{w,e}	346.3±26.4 ^{w,e}	287.5±5.2 ^{x,f}
	Roja	361.6±5.5 ^z	177.4±18.1 ^{x,g}	205.3±12.7 ^{w,g}	88.9±8.3 ^{y,h}
	Púrpura	713.2±40.0^{w,a}	645.3±30.9 ^{x,b}	613.8±7.2 ^{x,b,c}	605.3±36.7 ^{x,c}
AA mg de AA/L	Esmeralda	396.1±32.9 ^{x,e,f}	391.4±37.7 ^{x,e,f}	534.2±14.2 ^{w,c,d}	358.0±82.4 ^{x,f}
	Anaranjada	110.4±8.2 ^{y,i}	239.0±32.9 ^{w,g}	196.1±21.8 ^{x,g,h}	158.0±8.2 ^{x,h,i}
	Roja	205.7±62.2 ^{y,g,h}	591.4±37.7 ^{w,b,c}	505.7±14.2 ^{x,c}	439.0±21.8 ^{x,d,e}
	Púrpura	477.1±37.7 ^{y,c,d}	686.6±16.4^{w,a}	615.2±50.1 ^{x,b}	362.8±0.0 ^{z,f}
Betacianinas mg EB/L	Esmeralda	9.5±0.4 ^{w,g}	7.7±0.5 ^{x,g}	3.1±1.2 ^{y,g}	4.4±0.4 ^{y,g}
	Anaranjada	14.4±0.8 ^{w,g}	8.3±5.6 ^{w,x,g}	4.9±1.3 ^{y,g}	14.0±7.0 ^{w,g}
	Roja	50.0±4.9 ^{x,f}	46.1±8.4 ^{x,f}	67.1±4.9 ^{w,e}	46.7±2.8 ^{x,f}
	Púrpura	323.6±5.3 ^{y,d}	347.8±17.5 ^{y,c}	392.4±24.8 ^{x,b}	516.3±8.8^{w,a}
Betaxantinas mg EI/L	Esmeralda	6.5±0.1 ^{w,j}	5.0±0.3 ^{x,j}	1.3±0.7 ^{z,j}	2.9±0.4 ^{y,j}
	Anaranjada	46.7±3.4 ^{w,e,f}	21.1±4.8 ^{y,i}	24.6±2.4 ^{y,i}	33.7±4.4 ^{x,h}
	Roja	37.6±3.6 ^{x,g}	35.6±5.5 ^{x,g}	50.7±3.4 ^{w,e}	42.1±2.0 ^{x,f,g}
	Púrpura	140.1±2.9 ^{y,d}	182.2±9.4 ^{x,c}	195.1±12.4 ^{x,b}	255.2±3.0^{w,a}
AQ %	Esmeralda	81.0±1.2 ^{w,d}	67.4±2.4 ^{y,d}	69.8±5.7 ^{x,y,d}	74.4±2.2 ^{x,d}
	Anaranjada	78.3±0.2 ^{w,d}	72.6±4.2 ^{w,d}	73.5±2.1 ^{w,d}	72.6±3.9 ^{w,d}
	Roja	69.5±0.9 ^{w,d}	64.8±3.0 ^{x,y,d}	62.1±0.4 ^{y,d}	66.9±0.8 ^{w,x,d}
	Púrpura	917.3±38.9 ^{x,b}	902.6±83.9 ^{x,b}	758.0±66.3 ^{y,c}	1118.0±36.3^{w,a}
DPPH µmol ET/L	Esmeralda	1225.0±43.8 ^{y,i}	2193.1±25.3 ^{w,f}	2084.0±4.5 ^{x,f,g}	2150.7±57.7 ^{w,x}
	Anaranjada	535.6±21.4 ^{y,j}	1323.4±84.5 ^{x,i}	1450.7±86.9 ^{x,i}	1858.3±89.2 ^{w,h}
	Roja	1316.6±75.6 ^{y,i}	2565.1±254.7 ^{x,e}	3131.8±217.2 ^{w,c,d}	2965.1±414.6 ^{w,x,d}
	Púrpura	3328.7±192.9 ^{y,c}	5046.9±75.6 ^{x,b}	5210.6±176.5 ^{x,b}	6062.1±158.8^{w,a}

*letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas, Duncan (p<0.05).

*Letras de la **w-z** corresponde al análisis estadístico de una variedad de tuna por variable.

*Letras a partir de la **a** corresponden al análisis estadístico de las 4 variedades de tuna para un tratamiento por variable.

Tabla 16. Correlaciones para tuna esmeralda en estadio de madurez precosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	0.998**	-0.995**	0.940**	-0.947**	-0.936**	-0.313	-0.464
°Bx	0.998**	1	-0.996**	0.949**	-0.941**	-0.929**	-0.347	-0.437
CFT	-0.995**	-0.996**	1	-0.940**	0.931**	0.930**	0.326	0.435
AA	0.940**	0.949**	-0.940**	1	-0.808**	-0.812**	-0.506	-0.355
Betacianinas	-0.947**	-0.941**	0.931**	-0.808**	1	0.966**	0.134	0.527
Betaxantinas	-0.936**	-0.929**	0.930**	-0.812**	0.966**	1	0.009	0.636
AQ	-0.313	-0.347	0.326	-0.506	0.134	0.009	1	-0.578
DPPH	-0.464	-0.437	0.435	-0.355	0.527	0.636	-0.578	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 17. Correlaciones tuna esmeralda almacenada en diversos tratamientos poscosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	0.097	0.246	0.597**	0.450**	0.397*	0.007	-0.292
°Bx	0.097	1	0.206	0.315	-0.186	-0.227	-0.569**	0.271
CFT	0.246	0.206	1	0.246	0.455**	0.428**	-0.044	-0.461**
AA	0.597**	0.315	0.246	1	0.225	0.129	-0.052	-0.078
Betacianinas	0.450**	-0.186	0.455**	0.225	1	0.949**	0.405	-0.687**
Betaxantinas	0.397	-0.227	0.428**	0.129	0.949**	1	0.420	-0.718**
AQ	0.007	-0.569**	-0.044	-0.052	0.405	0.420	1	-0.556**
DPPH	-0.292	0.271	-0.461**	-0.078	-0.687**	-0.718**	-0.556**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 18. Correlaciones para tuna anaranjada en estadio de madurez precosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	0.975**	-0.996**	0.351	0.906**	0.983**	-0.997**	-0.900**
°Bx	0.975**	1	-0.992**	0.349	0.909**	0.994**	-0.981**	-0.843**
CFT	-0.996**	-0.992**	1	-0.357	-0.914**	-0.994**	0.996**	0.882**
AA	0.351	0.349	-0.357	1	0.506	0.375	-0.328	-0.456
Betacianinas	0.906**	0.909**	-0.914**	0.506	1	0.916**	-0.921**	-0.850**
Betaxantinas	0.983**	0.994**	-0.994**	0.375	0.916**	1	-0.987**	-0.866**
AQ	-0.997**	-0.981**	0.996**	-0.328	-0.921**	-0.987**	1	0.893**
DPPH	-0.900**	-0.843**	0.882**	-0.456	-0.850**	-0.866**	0.893**	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 19. Correlaciones tuna anaranjada almacenada en diversos tratamientos poscosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	-0.486**	0.325	0.026	0.301	0.437**	-0.332	-0.521**
°Bx	-0.486**	1	-0.350	0.113	-0.373*	-0.508**	0.131	0.528**
CFT	0.325	-0.350	1	0.470**	-0.025	-0.122	-0.383	-0.394
AA	0.026	0.113	0.470**	1	-0.432**	-0.686**	-0.706**	0.315
Betacianinas	0.301	-0.373	-0.025	-0.432**	1	0.507**	0.235	-0.378
Betaxantinas	0.437**	-0.508**	-0.122	-0.686**	0.507**	1	0.346	-0.608**
AQ	-0.332	0.131	-0.383	-0.706**	0.235	0.346	1	-0.093
DPPH	-0.521	0.528**	-0.394	0.315	-0.378	-0.608**	-0.093	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 20. Correlaciones para tuna roja en estadio de madurez precosecha.

	pH	°Bx	CFT	Betacianinas	Betaxantinas	AA	AQ	DPPH
pH	1	-0.970**	-0.958**	-0.913**	-0.863**	0.278	0.186	-0.619
°Bx	-0.970**	1	0.995**	0.919**	0.884**	-0.268	-0.322	0.708
CFT	-0.958**	0.995**	1	0.922**	0.890**	-0.244	-0.296	0.698
Betacianinas	-0.913**	0.919**	0.922**	1	0.987**	-0.154	-0.127	0.695
Betaxantinas	-0.863**	0.884**	0.890**	0.987**	1	-0.125	-0.206	0.770
AA	0.278	-0.268	-0.244	-0.154	-0.125	1	0.196	-0.043
AQ	0.186	-0.322	-0.296	-0.127	-0.206	0.196	1	-0.745
DPPH	-0.619	0.708	0.698	0.695	0.770	-0.043	-0.745	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 21. Correlaciones tuna roja almacenada en diversos tratamientos poscosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	0.230	0.306	0.666**	0.273	0.386	-0.557**	0.144
°Bx	0.230	1	-0.404	0.163	-0.022	0.178	-0.081	0.423
CFT	0.306	-0.404	1	-0.215	0.219	0.129	-0.159	-0.407
AA	0.666**	0.163	-0.215	1	0.157	0.218	-0.611**	0.455**
Betacianinas	0.273	-0.022	0.219	0.157	1	0.968**	-0.636**	0.115
Betaxantinas	0.386	0.178	0.129	0.218	0.968**	1	-0.637**	0.225
AQ	-0.557**	-0.081	-0.159	-0.611**	-0.636**	-0.637**	1	-0.423
DPPH	0.144	0.423	-0.407	0.455**	0.115	0.225	-0.423	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 22. Correlaciones para tuna púrpura en estadio de madurez precosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	0.897**	0.478	0.643	0.687	0.795	0.616	0.525
°Bx	0.897**	1	0.788	0.902**	0.907**	0.904**	0.225	0.797
CFT	0.478	0.788	1	0.880**	0.891**	0.740	-0.296	0.849**
AA	0.643	0.902**	0.880**	1	0.882**	0.766	-0.160	0.834**
Betacianinas	0.687	0.907**	0.891**	0.882**	1	0.956**	0.009	0.818**
Betaxantinas	0.795	0.904**	0.740	0.766	0.956**	1	0.262	0.723
AQ	0.616	0.225	-0.296	-0.160	0.009	0.262	1	-0.291
DPPH	0.525	0.797	0.849**	0.834**	0.818**	0.723	-0.291	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 23. Correlaciones tuna púrpura almacenada en diversos tratamientos poscosecha.

	pH	°Bx	CFT	AA	Betacianinas	Betaxantinas	AQ	DPPH
pH	1	-0.146	0.584**	0.238	0.806**	0.776**	-0.540**	0.150
°Bx	-0.146	1	-0.445**	-0.619**	0.006	0.054	0.656**	0.475**
CFT	0.584**	-0.445**	1	0.349	0.457**	0.373	-0.318	-0.001
AA	0.238	-0.619**	0.349	1	-0.012	0.071	-0.449**	0.151
Betacianinas	0.806**	0.006	0.457**	-0.012	1	0.978**	-0.418	0.333
Betaxantinas	0.776**	0.054	0.373	0.071	0.978**	1	-0.360	0.488**
AQ	-0.540**	0.656**	-0.318	-0.449**	-0.418	-0.360	1	0.345
DPPH	0.150	0.475**	-0.001	0.151	0.333	0.488**	0.345	1

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).