
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO



ESCUELA DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGO

TESIS

“CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
FRUTOS DE GUAYABA (*Psidium guajava*),
EN TRES ESTADOS DE MADURACIÓN ALMACENADO EN
FRIGORÍFICO”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:
LAURA GUADALUPE ARCIGA OROZCO

ASESOR
D.C. CONSUELO DE JESÚS CORTÉS PENAGOS



Morelia, Mich. Junio 2006

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO



ESCUELA DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGO

TESIS

“CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
FRUTOS DE GUAYABA (*Psidium guajava*),
EN TRES ESTADOS DE MADURACIÓN ALMAENADO EN
FRIGORÍFICO”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p.QFB. LAURA GUADALUPE ARCIGA OROZCO

ASESOR

D.C. CONSUELO DE JESÚS CORTÉS PENAGOS

SINODALES

M.C. BERENICE YAHUACA JUÁREZ

D.C. HECTOR EDUARDO MERTÍNEZ FLORES

M.C. JOSEFINA REYES CARMONA



Morelia, Mich. Junio 2006

La presente investigación se efectuó en el laboratorio de investigación en Biotecnología en alimentos “MC. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer[†]” en la Escuela de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección de la D.C. Consuelo de Jesús Cortes Penagos.

*El futuro tiene muchos nombres,
Para los débiles, es lo inalcanzable,
Para los temerosos, lo desconocido,
Para los valientes es la oportunidad*

Victor Hugo

Dedicatoria

Con mucho Cariño especialmente a mi *mamá* †
Que su sueño era verme concluir esta etapa y este día tan
importante para mí.
Estas conmigo a cada instante

A ti papi por tú apoyo, esfuerzo y sacrificios que has hecho
por nosotros.

A mis hermanos, Martucha . . . , Ceci y Rubén
Por apoyarme, escucharme y ayudarme siempre.

A las Maestras Bere y Consuelo por haber confiado en que
podría lograr este trabajo.

A todos mis fieles e inquebrantables amigos.

Agradecimientos

Gracias Dios por darme la oportunidad, de haber concluido esta etapa en mi vida, por la fuerza que me das día a día para salir adelante a pesar de las dificultades, por siempre estar a mi lado

A mis **padres**: por enseñarme el valor de la vida, del amor y apoyarme en todo a pesar de su esfuerzo y sacrificio.

Mami gracias por amarnos y preocuparte
por nosotros siempre hasta el fin
Papi por estar con nosotros y ser ese hombre trabajador e incansable.

A mis hermanos; **Martucha** gracias por soportarme a cada instante y momento, **Ceci** por ser ese ejemplo a seguir en mi vida, **Rubén** por tú ejemplo de vida día a día

A las Maestras Bere y Consuelo por brindarme la oportunidad de llegar a este laboratorio y abrirnos las puertas siempre de sus conocimientos, por su cariño, su amistad, su paciencia por ser ese ejemplo a seguir, las admiro y respeto mucho como maestras, y como ser humano, les agradezco de todo corazón

Al Profesor Raúl Chávez por toda su gran valiosa ayuda en este trabajo, de preguntas y dificultades que me resolvió, que me sirvieron demasiado como él dice: a ampliar mis dudas

A mis cuatro mejores amigas Lucas, Pety, Bere y Claudia por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles e impulsarme siempre a seguir adelante y no darme por vencida nunca.

A mis otras cinco mejores amigas Dulce, Belí, Crispín, Isabel y Ely por ser cada día esa chispa, que alegra mi vida, por todas las aventuras y momentos juntas, por su amistad inquebrantable y sus consejos

A mis otras seis mejores compañeras y amigas de la Universidad, Maquie, las gemelas (Lore y Yola), Bere, Sandra, Mireya y Elvía, por compartir esta etapa en mi vida, de trabajo y aventura juntas, sin ustedes no habría sido lo mismo, las quiero mucho.

A ti Iván por brindarme tú ayuda cuando más la necesite, y seguir haciéndolo.

Quiqueman por apoyarme y tú ayuda siempre.

De manera especial quiero agradecer a todos los compañeras del Laboratorio, sin ustedes no hubiera sido posible este trabajo, Elvía mil Gracias por todo tu apoyo, Ale, Tsanda, Leslie, Glenda, Miriam, Edith (Chonic) y a la Chona Mayor Rosy por haberme ensañado en un inicio su trabajo y estos últimos momentos de trabajo juntas

Fernando y Hexón por compartir momentos de risa y trabajo juntos Gracias.

Gracias.

RESUMEN

La guayaba (*Psidium guajava*) es considerada dentro de los principales cultivos de México a nivel mundial y en el estado de Michoacán a nivel nacional. La capacidad antioxidante del fruto de guayaba esta directamente proporcionada por la vitamina C primordialmente, que es la razón principal por la cual la guayaba ha cobrado gran importancia en el mercado, ya que su contenido supera ampliamente al registrado por los frutos cítricos como el limón y la naranja. La vitamina C es uno de los agentes antioxidantes mas poderosos que actúan contra los radicales libres, quienes ocasionan daño oxidativo a proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, hecho que los implica en la causa de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, envejecimiento acelerado, etc., Por lo que los antioxidantes desempeñan una función muy importante, en la prevención de estas enfermedades, neutralizando la acción de los radicales libres. El objeto del presente trabajo fue determinar, la capacidad antioxidante y evaluar color como indicativo de maduración en el fruto de guayaba en tres estados de maduración durante su almacenamiento en frigorífico. Metodología. Se adquirió fruto de guayaba en tres estados de maduración (verde, rayada y amarilla), el cual fue almacenado después de su transporte en una cámara frigorífica, manteniendo una humedad relativa de 80 a 95 %, una temperatura de 10° C para el fruto verde y 8° C para el fruto rayado y amarillo por 0, 3, 9, 12, y 6, 18, 24 días conforme al estado de maduración. La unidad experimental consistió de 3 frutos de guayaba por repetición completamente al azar por cada repetición para cada estado de maduración, se realizo 3 repeticiones a la vez para cada tiempo de almacenamiento, La variable de estudio de color se realizo en el mesocarpio del fruto por medio de un colorímetro de reflectancia Hunter Lab Modelo Colorflex, el cual se basa en registrar la intensidad de luz absorbida por el color negro rojo, azul, amarillo y verde. La determinación de la capacidad antioxidante del fruto se realizo a través del análisis del estado de los Antioxidantes Totales (TAS) utilizando para ello un kit comercial (RANDOX). Los resultados respecto a los valores obtenidos indican que la variable del Índice de color con respecto al tiempo de almacenamiento en el estado de maduración rayado, son óptimos para mantener el color verde del fruto por mayor tiempo de almacenamiento. El estado de maduración con mayor capacidad antioxidante del fruto de guayaba,

corresponde al fruto en estado de maduración rayado, debido a que fue el de concentración mayor. El fruto en estado de maduración amarillo presento un comportamiento constante tanto en el Índice de color como en la Capacidad antioxidante. Con respecto al color, se observo una correlación directa con la Capacidad Antioxidante, ya que esta se ve aumentada en los tres estados de maduración conforme madura y se obtiene una coloración amarilla.

CONTENIDO GENERAL

Resumen	I
Contenido General	III
Contenido de Cuadros	VI
Contenido de Figuras	VII
I. Introducción	1
II. Revisión Bibliográfica	3
2.1 Relación entre la alimentación y las enfermedades en la actualidad.	3
2.2 Radicales libres	3
2.2.1 Historia	3
2.2.2 Definición	5
2.2.3 Origen de los radicales libres en la célula	6
2.2.4 Formación de los radicales libres	7
2.2.5 Efectos de los radicales libres sobre la célula	10
2.2.6 Factores que influyen en la formación de R. L.	12
2.2.7 Efectos tóxicos de los radicales libres	13
2.2.8. Fundamentos fisiológicos del proceso oxidativo	15
2.3. Antioxidantes	16
2.3.1 Introducción	16
2.3.2. Definición	16
2.3.3. Mecanismo de acción de un antioxidante	16
2.3.4. Compuestos antioxidantes y su función	18
2.3.4.1. Defensas antioxidantes	18
2.3.4.2. Mecanismos protectores contra los R. L.	19
2.3.4.3. Antioxidantes naturales	21
2.3.4.4. Cofactores	25
2.3.4.5. Protectores de la membrana celular	26
2.3.5. Cada antioxidante posee una afinidad hacia un determinado R. L. o hacia varios	27
2.3.6. Sinergismo	28
2.3.7. Causas de deficiencia de antioxidantes	28
2.4. Capacidad antioxidante.	30
2.4.1. Introducción	30
2.4.2. Definición	30

2.4.3. Una buena nutrición _____	30
2.4.4. Funciones de la fruta _____	31
2.5. Antecedentes Históricos _____	32
2.5.1. Historia _____	32
2.5.2. Producción Mundial, Nacional y Estatal de Guayaba _____	33
2.5.2.1. Producción Nacional _____	33
2.5.2.2. Producción estatal _____	34
2.5.3. Comercialización del fruto _____	35
2.5.4. Generalidades del fruto _____	36
2.5.4.1. Descripción del fruto _____	36
2.5.4.2. Composición nutricional del fruto de Guayaba _____	37
2.5.5. Maduración _____	38
2.5.5.1. Maduración fisiológica del fruto _____	39
2.5.5.2. Maduración sensorial o comercial del fruto _____	40
2.5.6. Gradación de colores en la maduración de Guayaba _____	41
2.5.7. Cosecha, Empaque y Clasificación de Calidad de Fruto de Guayaba _____	42
2.5.7.1. Clasificación de Calidad. _____	43
2.5.8. Manejo Poscosecha _____	44
2.5.9. Relación de Vitamina C y Capacidad Antioxidante _____	45
III. Objetivo General _____	46
IV. Objetivos Específicos _____	46
V. Materiales y Métodos. _____	47
5.1. Almacenamiento del fruto de Guayaba. _____	48
5.2. Diseño del experimento _____	49
5.2.1. Unidad experimental _____	50
5.3. Determinación de color. _____	51
5.4. Obtención de la muestra para la determinación de la Capacidad Antioxidante. _____	52
5.5. Determinación de la Capacidad Antioxidante (Estado de Antioxidantes Totales – TAS) _____	53
5.6. Análisis estadístico de los resultados _____	54
VI. Resultados y Discusiones _____	55
6.1. Índice de color. _____	56
6.1.1. Evaluación de color en frutos en estado verde de maduración. _____	57
6.1.2. Evaluación de color en frutos en estado rayado de maduración. _____	58
6.1.3. Evaluación de color en frutos en estado amarillo de maduración. _____	59

6.1.4. Análisis de color entre los tres diferentes estados de maduración y el tiempo de almacenamiento _____	60
6.2. Capacidad Antioxidante _____	61
6.2.1. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración verde. _____	62
6.2.2. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración rayado. _____	63
6.2.3. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración amarillo. _____	64
6.2.4. Análisis de Capacidad Antioxidante en los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento _____	65
6.2.4.1. Análisis de Capacidad antioxidante en los tres estados de maduración para día el 0 de almacenamiento. _____	66
6.2.4.2. Análisis de Capacidad antioxidante en los tres estados de maduración para el día final de almacenamiento correspondiente _____	67
6.3. Análisis de Color y Capacidad Antioxidante para el Tiempo Intermedio de Almacenamiento _____	67
VII. Conclusiones _____	68
VIII. Perspectivas y recomendaciones _____	69
IX. Referencias Bibliográficas _____	70
Anexo 1 _____	76
Anexo 2 _____	77

CONTENIDO DE CUADROS

2.2.4. Formas de Oxígeno Activo _____	8
2.3.5. Uso de antioxidantes contra Radicales Libres _____	27
2.5.4.2. Composición nutricional del fruto de guayaba. _____	37
2.5.7.1. Grados de calidad de los frutos de guayaba producidos en la región de Aguascalientes y Zacatecas. _____	40
2.5.7.2. Distribución por calidad de los frutos de guayaba producida en la región Calvillo, Ags. Y Jalpa, Zac. _____	40
5.2.1. Evaluaciones Realizadas _____	47
5.5. Procedimiento de la determinación de Capacidad Antioxidante _____	52
6.1.1. Comportamiento del Índice de color en fruto verde evaluado en el tiempo de almacenamiento de 0 y 24 días _____	55
6.1.2. Comportamiento del Índice de color en fruto rayado en el tiempo de almacenamiento de 0 y 18 días. _____	56
6.1.3. Comportamiento del Índice de color en fruto amarillo en el tiempo de almacenamiento 0 y 6 días _____	57
6.1.4. Comportamiento del Índice de color de los tres estados de maduración respecto al tiempo de almacenamiento. _____	58
6.2.1. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto verde respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 24 días. _____	61
6.2.2. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto rayado respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 18 días. _____	62
6.2.3. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto amarillo respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 6 días. _____	63
6.2.4. Comportamiento de capacidad antioxidante de los tres estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento _____	65

CONTENIDO DE FIGURAS

2.2.8. Estrés oxidativo a la célula	15
2.3.4.2.1. Estructura de la vitamina E	21
2.3.4.2.2. Estructura de la vitamina C	22
2.3.4.2.3. Estructura del β -Caroteno	24
2.3.4.2.4. Vitamina A. (Retinol)	24
2.5.1. Fruto de guayaba	31
2.5.2. Mapa Mundial donde se muestran los principales Países productores del fruto de guaya.	32
2.5.2.1 Gráfico donde se muestran las principales Zonas productoras de Guayaba en México	33
2.5.2.2. Gráfico donde se muestran las principales Zonas productoras de Guayaba en Michoacán	34
2.5.4.1. Fruto típico de guayaba y flor de guayaba	36
2.5.6. Tres estados de maduración	40
5. Diagrama general del proceso	44
5.1.1. Estados de maduración verde, rayada y amarilla.	45
5.1.2. Almacenamiento del fruto en cámara frigorífica marca MABE	46
5.3. Colorímetro de reflectancia Hunter Lab Modelo Colorflex.	48
5.4.1. Fruto en trozos, sin semillas	48
5.4.2. Obtención del zumo en el extractor	49
5.4.3. Balanza Analítica, pesando la muestra procesada	49
5.4.4. Homogenización de la muestra	50
5.4.5. Diferencia de muestra filtrada	50
5.5.1. Kit comercial Randox, Estado de Antioxidante Totales (TAS)	51
5.5.2. Incubación de las celdas con la muestra	52
5.5.3. Lectura de Abs. en Espectrofotómetro	52
6.1.4. Índice de color de los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento correspondiente.	59
6.2.1. Supresión de color proporcional a la concentración de antioxidantes	61
6.2.4. Capacidad Antioxidante de los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento correspondiente.	64

II. INTRODUCCIÓN

Se sabe que una buena nutrición es importante, pues el alimento contribuye, no sólo a la salud física, sino también a la salud mental y emocional del hombre. Es importante conocer, no solo la calidad de los alimentos que consumimos, sino también su clase. Una alimentación correcta favorecerá que el organismo funcione regularmente, obteniendo, por tanto, la deseada normalidad en los cambios que se efectúan en nuestro cuerpo a través de las distintas edades, y conseguir el máximo de salud, ya que la dieta, muchas veces, va asociada o vinculada a las deficiencias en el organismo y posteriormente a consecuentes enfermedades. (Cameron, 1999)

A mediados de la década de 1950 el Dr. Harman sugirió que los radicales libres son una causa importante del envejecimiento a nivel celular y de enfermedades degenerativas, tales como cáncer, afecciones cardiovasculares, ictus, arteriosclerosis, hipertensión, esclerosis múltiple, Alzheimer, parkinson, cataratas, retinitis pigmentosa, artritis, diabetes, alergias, etc.; todas ellas asociadas a daño oxidativo.

<http://www.saludparati.com/radicaleslibres.htm>

El radical libre (RL) se define como un átomo, grupo de átomos o moléculas que poseen un electrón extra no apareado en su orbita externa, generando una alta inestabilidad, altamente reactivo y de vida efímera (milésimas de segundos), con una enorme capacidad para combinarse inespecíficamente en la mayoría de los casos.

En el organismo, la formación de radicales libres puede verse aumentada por algunas situaciones fisiológicas y psicológicas, cuyas causas pueden tener origen exógeno como endógeno. Los factores exógenos son: exposición a radiaciones ionizantes, contaminación atmosférica, radiaciones electromagnéticas, consumo de fármacos, humo de tabaco, ingestión de fritos y alimentos con mayor o menor nivel de oxidación (no detectable organolépticamente). Entre los factores endógenos están el ejercicio físico de

alta intensidad, procesos oxidantes metabólicos: respiración celular, infección, acción de enzimas oxidativas. (Lurie, 1998)

Un gran número de investigaciones han demostrado que el efecto lesivo de los RL está implicado en una amplia gama de enfermedades y desórdenes (Younson, 2004) principalmente daños en corazón y pulmón como órganos más afectados, pero desde luego no son los únicos (Ortemberg, 2000)

Los antioxidantes, constituyen las defensas naturales del organismo para combatir la agresión oxidativa. Los antioxidantes neutralizan los radicales libres y juegan un papel muy importante a la hora de mantener la salud e integridad de las células del organismo. Los antioxidantes se producen en el organismo pero además se pueden aportar mediante la alimentación; por lo tanto, el funcionamiento eficaz de los antioxidantes depende del funcionamiento óptimo del metabolismo del organismo, así como de la nutrición. Los efectos lesivos de los RL pueden ser limitados o incluso prevenidos tomando grandes dosis de antioxidantes y así impedir el daño a las células. (Younson, 2004)

La Capacidad (actividad o potencial) antioxidante de frutas, vegetales, leguminosas, bebidas y otros alimentos se refiere a la cantidad de compuestos hidrofílicos y lipofílicos, capaces de neutralizar una cierta cantidad de RL, donde esta, depende directamente de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él. (Reyes, 2002)

El efecto beneficioso de los alimentos vegetales se atribuye principalmente a sustancias con **actividad antioxidante**, como los compuestos polifenólicos, el ácido ascórbico (vitamina C), los carotenoides y la vitamina E. (Ortemberg, 2000)

En el fruto de guayaba conforme avanza a su maduración, de un estado verde a un rayado o amarillo, existe una disminución de clorofila y aumenta el contenido carotenos y **vitamina C**, agentes antioxidantes poderosos que le proporcionan directamente la capacidad antioxidante al fruto.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.- Relación entre la alimentación y las enfermedades en la actualidad

Las enfermedades en seres humanos se relacionan con frecuencia a los estilos de vida, y en teoría son prevenibles. Las agresiones de la vida moderna, la reducción en la actividad física, el consumo de alimentos procesados y la manipulación o exposición a sustancias químicas contribuyen a la disminución de la resistencia a las enfermedades. (Reyes, 2002)

Actualmente estudios realizados han revelado que los radicales libres (RL) y antioxidantes están relacionados con un sin número de enfermedades, por ejemplo, el Síndrome X, que es un cúmulo de trastornos metabólicos que se caracterizan por la resistencia a la insulina, la obesidad abdominal, los altos niveles de colesterol y la alta presión, y cuando no se lleva a cabo una revisión médica, conduce generalmente al desarrollo de la Diabetes *Mellitus* Tipo II y se aumenta considerablemente el riesgo de enfermedades coronarias, el punto importante, es que aunque el factor hereditario forma parte del problema, los estilos de vida incluyendo la falta de actividad física, la obesidad y el consumo excesivo de carbohidratos influyen de manera importante en el desarrollo de este síndrome. (Reyes, 2002)

2.2.- Radicales libres

2.2.1.-Historia

En 1832, los químicos alemanes barón von Liebig y Wöhler descubrieron que, al tener lugar las reacciones químicas, estos pequeños agregados, en vez de romperse para liberar los átomos individuales de que estaban hechos, tendían a actuar casi como moléculas por propio derecho, reteniendo su identidad de grupo y uniéndose, por entero, a otras moléculas. No persistían, sin embargo, indefinidamente a su aire, sino que trataban siempre de ligarse a una molécula. Se decidió dar a estos grupos el nombre de radicales. Esta palabra proviene del latín *radix*, que significa raíz, y se seleccionó debido a que el agregado de

átomos cuelga de la molécula como una raíz, y puede enraizarse en otras moléculas. (Younson, 2004)

A mediados de la década de 1950 el Dr. Harman sugiere que los radicales libres son una causa importante del envejecimiento a nivel celular y de enfermedades degenerativas, tales como cáncer, afecciones cardiovasculares, ictus, arterioesclerosis, hipertensión, esclerosis múltiple, Alzheimer, parkinson, cataratas, retinitis pigmentosa, artritis, diabetes, alergias, etc.; todas ellas asociadas a daño oxidativo.

<http://www.saludparati.com/radicaleslibres.htm>

Los radicales libres se encuentran dotados de gran **capacidad oxidante**. En condiciones ideales debería existir un equilibrio entre los radicales libres que penetran o son originados en nuestro organismo y los sistemas que los neutralizan pero, cuando se produce un desequilibrio se origina un **estrés oxidativo** que agrede a los tejidos. <http://www.uninet.com.py/cemo/>

Estas sustancias tóxicas (**RL**), provienen del metabolismo habitual, utilizando el **oxígeno** como fuente principal para su formación, sin embargo representan una amenaza para la salud, ya que del **oxígeno** que respiramos el organismo absorbe un 95 por ciento, siendo transformado en radicales libres, el 5 por ciento restante, siguiendo un proceso normal que se realiza desde que nacemos. (Ortemberg, 2000)

Los radicales libres presentan desventajas enormes para el organismo cuando su producción supera la **capacidad antioxidante natural** del organismo. En esas condiciones de adversidad para el cuerpo humano pueden ocurrir situaciones patológicas que desencadenan enfermedades de tipo degenerativo crónico para los tejidos.

Esta absolutamente comprobado que los radicales libres o son precursores de enfermedades o están presentes en toda enfermedad crónica degenerativa.

<http://www.uninet.com.py/cemo/>

2.2.2.- Definición

Radical libre (RL) se define como un átomo, grupo de átomos o moléculas que poseen un electrón extra no apareado en su orbita externa, generando una alta inestabilidad, altamente reactivo y de vida efímera, con una enorme capacidad para combinarse inespecíficamente en la mayoría de los casos, así como con la diversidad de moléculas integrantes de estructura celular: carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y derivados de cada uno de ellos, constituyendo una amenaza constante para los tejidos sensibles. Una vez que los radicales libres comienzan a actuar, se activa una reacción en cadena que culmina en la destrucción total de la célula. (Reyes, 2002)

Cualquier molécula estable podría transformarse en radical libre mediante tres mecanismos diferentes:

1. Ganando un electrón.
2. Perdiendo un electrón.
3. Por fusión hemolítica simétrica de una unión covalente. (Geerd, 2002)

Al romperse un enlace covalente en forma simétrica, ambos fragmentos retienen un e^- y por tanto, se convierte en radical libre, este e^- desapareado confiere al radical libre cierta inestabilidad tanto energética como cinética, lo que los hace compuestos altamente reactivos. (Reyes, 2002)

Los R.L. son elaborados continuamente como un producto del metabolismo normal de cada célula tienen una vida muy corta (milésimas de segundos) y cumplen dos características principalmente:

- Alta reactividad
- Gran inestabilidad

Ambas características vienen determinadas por la presencia de un número impar de electrones en la órbita más externa de sus átomos y explican la agresividad con que actúan, ya que para intentar lograr su "equilibrio" tienden a unirse con electrones de átomo vecinos, dando lugar a reacciones en cadena. (<http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/08=Exactas/E-013.pdf>.)

Reacciones en cadena de los radicales libres dependen de:

De la actividad intrínseca de los R. L.

De la concentración de los R. L.

De la concentración de los substratos susceptibles de ser atacados.

La temperatura (a menor temperatura, menor actividad)

<http://www.aaqc.org.ar/cyt-polif.htm>

2.2.3. Origen de los R.L. en la célula

Los lugares de máxima producción de sustancias oxidantes, es donde el oxígeno tiene mayor actividad:

Retículo endoplasmático: Los citocromos sufren reacciones de autooxidación con formación de radicales libres O_2 y $H_2 O_2$.

http://www.lukor.com/ciencia/radicales_libres.htm

Mitocondrias: la ubiquinona y la NADH-deshidronasa pueden autooxidarse dando aumento de radicales libres O_2 y $H_2 O_2$ y OH.

La mitocondria constituye la fuente principal de RL. Este fenómeno se efectúa a nivel de la cadena de transporte de electrones, que es la última etapa de producción de protones de alta energía, y cuyo pasaje a través de la membrana interna mitocondrial genera un gradiente eléctrico que aporta la energía necesaria para formar el ATP o adenosina trifosfato.

En el proceso de fosforilación oxidativa el oxígeno actúa como aceptor final de electrones, adquiriendo en más del 95 % de estas reacciones un total de 4 electrones de moléculas con producción de 2 moléculas de agua. Una consecuencia directa de este proceso es que entre los nutrientes iniciales y la generación de energía al final del proceso, se forman varias moléculas con diferente grado de oxidación. Algunas de ellas puede entregar 1 ó 2 electrones al oxígeno y producir intermediarios parcialmente reducidos que son los RL.

(<http://www.educ.ar/educar/superior/biblioteca/1122233340-digital/verdocbiblio.jsp?url=S-BD-SECC>)

Peroxisomas citoplásmico: Organelas del citosol muy ricas en oxidasas y que generan H_2O_2 , el cual es depurado por enzimas específicas (catalasas) y transformado en agua.

Membrana plasmática: Por acción de la lipooxigenasa y la prostaglandina sintetasa dentro de las reacciones inflamatorias mediadas por el ácido araquidónico. (Vierling, 1991)

Leucocitos polimorfonucleares: constituyen una fuente importante, cuando se activan por diversas proteínas que actúan específicamente sobre ellos (complemento, interleukinas, etc). Los leucocitos poseen en sus membranas la enzima NADPH oxidasa generadora de O_2^- que en presencia de hierro se transforma en el altamente tóxico OH^- . Esta situación se da particularmente en los procesos inflamatorios.

La enzima xantina deshidrogenasa predomina en los endotelios, normalmente depura las xantinas (isquemia, estimulación del Ca^{+2} , etc), genera O_2^- .

Se puede apreciar, por lo tanto, que los RL se forman en condiciones fisiológicas en proporciones controlables por los mecanismos defensivos celulares. En situación patológica esta producción se incrementa sustancialmente, ingresándose al estado de estrés oxidativo. (Chaves, 2000)

2.2.4.- Formación de los Radicales Libres

Los RL son elaborados continuamente como un producto del metabolismo normal de cada célula, son componentes normales de células y tejidos, existiendo una poza de RL particular en cada estirpe celular y en algunos tipos celulares permiten la mejor adaptación a su hábitat. Al elevarse o disminuir las concentraciones fisiológicas de las especies reactivas de oxígeno (EROS) puede acarrear importantes alteraciones funcionales.

El oxígeno molecular (O_2) es fundamentalmente birradical ya que tiene 2 electrones no apareados en su orbital externo, ambos con el mismo giro paralelo, impidiendo que capte 2 electrones simultáneamente en las reacciones que interviene. El oxígeno solo puede intervenir en reacciones univalente y aceptar los electrones de uno en uno. (Mepivoseth, 2004)

La mayor parte del oxígeno utilizado por el organismo humano es reducido a agua por acción del complejo citocromo-oxidasa (citocromo A+a3) de la cadena respiratoria mitocondrial, según la reacción global siguiente:



Por razones anteriores, la reacción se hace en 4 pasos univalentes:



http://www.bvs.sld.cu/revistas/mil/vol30_1_01/mil07101.htm

El oxígeno posee una alta biodisponibilidad para participar en reacciones que supongan aceptación de electrones, dando lugar a diversas formas de oxígeno activo: (Cuadro 2.2.4)

Radicales Libres	No Radicales
$O_2^{\bullet -}$ Anión Superóxido	H_2O_2 Peróxido de hidrógeno
$HO_2^{\bullet}$ Radical hidroperóxido	1O_2 Oxígeno Singlete+
$ROO^{\bullet}$ Radical Peróxido+	
$OH^{\bullet}$ Radical Hidroxilo	

Cuadro 2.2.4. Formas del oxígeno activo

1. Anión Superóxido (O_2^-)

Se forma a partir de la captación de un electrón (e^-) por una molécula de oxígeno. (a)



Es generado de forma natural en la cadena respiratoria durante la transferencia de electrones. No es muy reactivo y puede difundir considerables distancias de lugar de producción y combinarse con otras especies reactivas como el óxido nítrico para producir otras más reactivas como el peroxinitrito. Por medio de la superóxido dismutasa se convierte rápidamente en H_2O_2 . (Reyes, 2002)

2. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

Se forma cuando el radical superóxido capta 2 protones.



No es un radical libre pues tienen todos sus electrones apareados. Es fuente del que se ha considerado radical libre derivado del oxígeno más dañino: el $OH^\cdot$. Cualquier sistema biológico que genere O_2^- también genera H_2O_2 por dismutación del H_2O_2 .

<http://www.saludparati.com/radicaleslibres.htm>

3. Radical Hidroperóxido ($HO_2^\cdot$)

Se constituyen cuando el O_2 se une a un protón (H).



4. Radical Hidroxílico (OH⁻)

El peróxido de hidrógeno (H₂O₂) no es estrictamente un RL pero por su capacidad de generar el OH⁻ en presencia de metales como el hierro, se le incorpora como tal. La sangre, cumple entre otras funciones la de transportar el oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos, y es aquí donde este actúa como sustrato en diversas reacciones bioquímicas intracelulares y como resultado se desencadena una gran producción de H₂O₂ y superóxido, entre otras EROS. (Core, 2005)

Aparece cuando el peróxido de hidrógeno se une al superóxido.



Todos ellos se producen de forma espontánea como fruto de los procesos bioquímicos normales que tienen lugar en nuestro organismo y por lo tanto, necesitamos protegernos de su poder oxidante, que en unos casos afectará a estructuras celulares próximas a su lugar de formación y en otros, por su facilidad de difusión (peróxido de hidrógeno y radical superóxido) ejercerán su efecto tóxico a distancia de la célula en que es producido, bien directamente o a través de la formación de otros compuestos más reactivos.

En el momento que se ha formado un radical libre, éste reacciona rápidamente captando un electrón de otra molécula próxima a él, de tal forma que crea un compuesto desestabilizado, obligado también a captar el electrón que le ha sido robado de otra molécula próxima y ésta, a su vez, de otra, es decir, ha comenzado una reacción en cadena que producirá como resultado, una erosión en la membrana celular o en las cadenas de ADN y ARN, ello abre las puertas al cáncer y a otras importantes enfermedades.

<http://home.worldonline.es/biosport/docs/dietinox.htm>

2.2.5.-Efectos de los R. L. sobre la célula

Por la alta inestabilidad atómica de los RL colisionan con una biomolécula y le sustraen un electrón, oxidándola, perdiendo de esta manera su función específica en la célula.

1.-Peroxidación de los lípidos insaturados de las membranas celulares y Lipoproteínas

Dando lugar a productos tóxicos de degradación que a la larga, producen la destrucción de la membrana celular al perder su impermeabilidad y fluidez por alteración de los gradientes iónicos, con lo que se pierde su capacidad de barrera selectora y la célula muere.

Las lipoproteínas. La oxidación de las LDL, génesis de la placa ateromatosa

Los radicales libres pueden actuar sobre cualquier molécula del organismo, aunque algunas parecen ser más susceptibles y tener, por lo tanto, consecuencias más importantes que otras.

Las características de la oxidación lipídica por los RL, tratan de una reacción en cadena en la que el ácido graso al oxidarse, se convierte en radical de ácido graso con capacidad de oxidar a otra molécula vecina. (Zoffoli, 2005)

Este proceso es conocido como peroxidación lipídica, genera numerosos subproductos, muchos de ellos como el malondialdehído (MDA), cuya determinación en tejidos, plasma u orina es uno de los métodos de evaluar el estrés oxidativo.

2.- Alteraciones del ADN y otros ácidos nucleicos.

Los ácidos nucleicos son especialmente sensibles, ya que pueden presentar anomalías importantes como consecuencia de la hidroxilación de bases nitrogenadas (formando timidina glicol, 5 hidroximetiltiouracilo y 8 hidroxiguanidina) y de roturas de hebras de DNA. Durante todo el proceso de la vida esos radicales libres erosionan en cadenas de ADN y ARN. Sabemos que la función de estos ácidos nucleicos es la fabricación continua de sustancias

indispensables para la vida: proteínas musculares, enzimas, inmunoglobulinas, etc. Por lo tanto, es muy fácil deducir que un daño en los ácidos nucleicos generará no solamente la disminución de su función, sino la fabricación de "sustancias equivocadas" que a su vez podrán generar con el paso del tiempo la disminución de nuestro potencial inmunológico y también la aparición de diversos tipos de cáncer.

<http://www.institutobiologico.com/seminarios/radicales%20libres.htm>

La dimerización del ADN se mantiene en las sucesivas duplicaciones de la célula, repitiéndose los errores de lectura del código genético, dando lugar a mutaciones. (Zoffoli, 2005)

3.- Oxidación de aminoácidos en proteínas

En caso de las proteínas se oxidan preferentemente los aminoácidos (fenilalanina, tirosina, triptofano, histidina y metionina) y como consecuencia se forman entrecruzamientos de cadenas peptídicas, fragmentación de la proteína y formación de grupos carbonilos e impiden el normal desarrollo de sus funciones (transportadores iónicos de membranas, receptores y mensajeros celulares, enzimas que regulan el metabolismo celular, etc).

4.- Inactivación de enzimas portadores de grupos sulfhídricos

Todo ello acaba generando graves problemas sobre el estado genético y la propia reserva Funcional de las células. (Armstrong, 1989)

2.2.6. Factores que influyen en la formación de R. L.

Existen situaciones fisiológicas y psicológicas que aumentan, en gran medida, la formación de radicales libres, que pueden tener tanto origen exógeno como endógeno.

a) Factores exógenos:

- Exposición a radiaciones ionizantes.
- Contaminación atmosférica.

- Radiaciones electromagnéticas.
- Consumo de Fármacos.
- Humo de tabaco
- La ingestión de fritos y alimentos con mayor o menor nivel de oxidación, no detectable organolépticamente.

b) Factores endógenos:

- Ejercicio Físico de alta intensidad.
- Procesos oxidantes metabólicos:
- Respiración celular.
- Infección
- Acción de enzimas oxidativas.
- Reacciones inflamatorias.
- Estrés mantenido
- El exceso de iones metálicos. (Lurie, 1998)

2.2.7. Efectos tóxicos de los radicales libres

Un gran número de investigaciones han demostrado que el efecto lesivo de los RL está implicado en una amplia gama de enfermedades y desórdenes (Mepivoseth, 2004) principalmente daños en corazón y pulmón como órganos más afectados, pero desde luego no son los únicos también se incluyen las siguientes enfermedades:

a) Patología pulmonar:

- Bronquitis Crónica.
- Enfisema Pulmonar.
- Carcinoma Bronquial.

b) Hematología: Anemia hemolítica por bajo GI - 6 -P - DH.

c) Patología hepática: Patología alcohólica y tóxica.

d) Patologías inmunológicas:

- Artritis reumatoide.
- Problemas autoinmunes.

e) Cataratas.

f) Arteriosclerosis.

g) Desarrollo de tumores.

h) Procesos de envejecimiento.

i) Trombosis coronaria

j) Angina de pecho

k) Apoplejía

l) Daños cerebrales

m) Enfermedades renales.

n) Cáncer

ñ) Mal de Parkinson, etc. (Ortemberg, 2000), (Younson, 2004)

2.2.8. Fundamentos fisiológicos del proceso oxidativo.

En condiciones ideales debería existir un equilibrio entre los radicales libres que penetran o son originados en nuestro organismo y los sistemas que los neutralizan pero, cuando se produce un **desequilibrio** se origina un “**estrés oxidativo**” que agrede los tejidos (Younson, 2004). Este daño causado por los RL, caracteriza la reacción química conocida como **oxidación**. (Ortemberg, 2000; <http://home.worldonline.es/biosport/docs/dietinox.htm>; Younson, 2004)

Durante el ejercicio, la enfermedad, exposición a radiaciones o contaminantes del medio ambiente e inevitablemente durante el envejecimiento, la producción de los radicales libres es mucho mayor y su agresión oxidativa puede producir alteraciones en la estructura de las membranas plasmáticas, ADN y otros componentes celulares. (Fig. 2.2.8) (Guzmán, 2002)

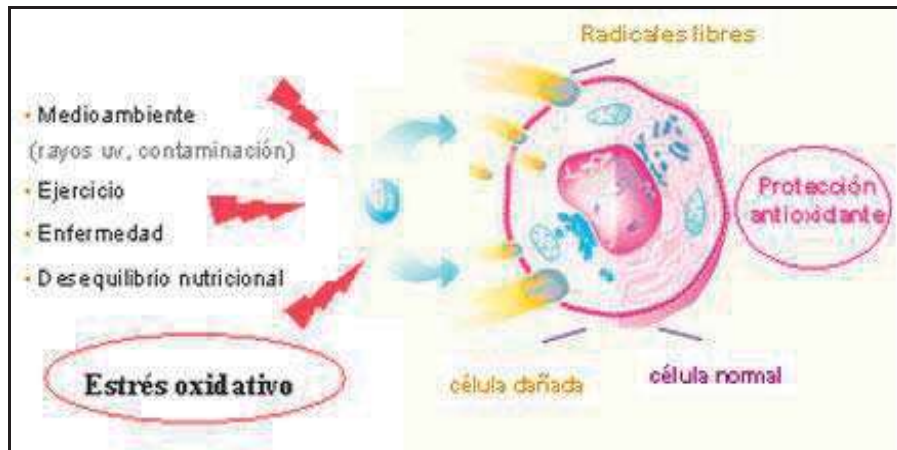


Fig. 2.2.8. Estrés oxidativo a la célula

2.3. Antioxidantes

2.3.1. Introducción

Los antioxidantes, constituyen las defensas naturales del organismo para combatir la agresión oxidativa. Los antioxidantes neutralizan los radicales libres y juegan un papel muy importante a la hora de mantener la salud e integridad de las células del organismo. Los antioxidantes se producen en el organismo pero además se pueden aportar mediante la alimentación; por lo tanto, el funcionamiento eficaz de los antioxidantes depende del funcionamiento óptimo del metabolismo del organismo, así como de la nutrición.

http://tienda.vetpunta.com/newsdesk_info.php/newsdesk_id/114

2.3.2. Definición

Son sustancias de diverso tipo, que previenen o retardan el daño oxidativo producido por los radicales libres. Para que una sustancia actúe como antioxidante debe ser capaz de reaccionar fácil y específicamente con un radical libre, neutralizándolo e impidiendo el daño oxidativo a las macromoléculas biológicas. (Meyer, 2002)

2.3.3. Mecanismo de acción de un Antioxidante

El antioxidante al colisionar con el RL le cede un electrón oxidándose a su vez y transformándose en un RL débil no tóxico y que en algunos casos como la vitamina E, puede regenerarse a su forma primitiva por la acción de otros antioxidantes. (Harris, 1977)

Los mecanismos antioxidantes de los organismos vivos, particularmente en los seres humanos, son múltiples. Dentro de las células el sistema antioxidante es principalmente de tipo enzimático y en el espacio extracelular, como por ejemplo el plasma, es de tipo no enzimático. Así, contamos con antioxidantes específicos capaces de actuar oportunamente en distintos lugares. (Harris, 1977)

La primera defensa antioxidante al interior de la célula está dada por las enzimas antioxidantes, como la catalasa, glutatión peroxidasa y superóxido dismutasa. Son endógenas, es decir se sintetizan al interior del organismo y su acción depende de la presencia de ciertos metales tales como cobre, fierro, magnesio, zinc o selenio. La deficiencia de alguno de ellos afecta la función de estas enzimas y por ello se les ha denominado "*metales antioxidantes*". (Trevans, 1990)

La segunda defensa antioxidante corresponde a los antioxidantes no enzimáticos que actúan tanto a nivel celular como extracelular. Estas son sustancias de diverso tipo que atrapan o neutralizan radicales libres porque les ceden un electrón, previniendo así el daño oxidativo. Al hacer esto se consumen porque el antioxidante sufre una modificación química transformándose en un radical libre flojo o inactivo. Por lo tanto, a diferencia de las enzimas antioxidantes, estos compuestos antioxidantes deben ser reemplazados. Aquellos de origen **endógeno** como glutatión, urato, ubiquinol y proteínas plasmáticas, son sintetizados por el organismo. Los de origen **exógeno**, provenientes de la dieta, como vitamina C, vitamina E, carotenoides, polifenoles y flavonoides, (incluyendo flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas y catequizas), al no ser sintetizados por las células, para ser reemplazados necesitan ser nuevamente ingeridos en la dieta. (Younson, 2004)

Un antioxidante dietario es una sustancia presente en los alimentos, que disminuye significativamente los efectos adversos de los radicales libres protegiendo al organismo de diversas enfermedades crónicas. Las frutas y verduras contienen gran cantidad y variedad de antioxidantes naturales, por lo que tiene no sólo una alta "**capacidad antioxidante**" sino que también son una muy buena combinación de estos. La suplementación de uno de ellos, podría no ser tan adecuada como la suplementación del conjunto a través de una dieta balanceada con suficientes frutas y verduras, la que además de ser efectiva es más económica. Es decir, cuando comemos y bebemos no sólo ingerimos alimentos sino también antioxidantes, especialmente vitamina E (alfa-tocoferol), vitamina C (ácido ascórbico), β -caroteno (pro vitamina A) y polifenoles. (Younson, 2004)

2.3.4. Compuestos antioxidantes y su función

Mecanismos protectores contra los radicales libres

2.3.4.1. Defensas Antioxidantes

Enzimas de desintoxicación

- Dismutasas de superóxidos , SOD (cobre, zinc, manganeso)
- Catalasas (hierro)
- Peroxidasas de glutathione, GPX (selenio)
- Transferasa de glutathione

Proteínas auxiliares

- Reductasa de glutathione
- Glucosa 6-fosfato dehidrogenasa (niacina)
- Albúmina
- Transferrina (hierro)
- Ceruloplasmina (cobre)
- Metalocienina (cisteína)

Vitaminas antioxidantes

- β -caroteno (provitamina A)
- Vitamina C
- Vitamina E (tocoferoles)

Antioxidantes de plantas (no-vitaminas)

- Carotenoides y xantofilas
- Ácidos fenólicos y polifenoles
- Diquetones
- Tocotrienoles

Metabolitos

- Coenzima Q10
- Ácido Úrico
- Cisteína
- Glutathione

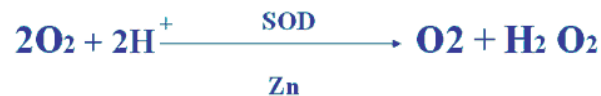
- Ácidos orgánicos (ácido cítrico, ácido málico)
- Bilirrubina, biliverdina
- Ácido lipoico
- Histidina
- Melatonina
- Peptides (carnosita, anserina) Ácidos grasos Poliinsaturados.
- Flavonoides

(Ortemberg, 2000)

2.3.4.2. Mecanismos protectores contra los radicales libres

1. Súper-oxido-dismutasa (SOD)

Es una metaloenzima que actúa en el citosol, cloroplastos y mitocondria, cataliza la dismutación del anión superóxido a peróxido de hidrógeno y oxígeno, en concentraciones a 10 siempre en presencia de Zinc evitando la formación de radicales ($\text{OH}^\cdot$), según la siguiente reacción:



La SOD es imprescindible para todos los organismos aerobios, habiéndose establecido una correlación entre los niveles de SOD y el índice la longevidad <http://www.nutrinform.com.ar/pagina/info/vita0.html>

2. Catalasas (CAT)

Reducen el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno molecular, eliminando esta agua oxigenada casi al mismo tiempo que se va formando.



Estas enzimas se encuentran en el interior de unos orgánulos citoplasmáticos llamados Peroxisomas, y en la mitocondria distribuidas en bacterias aeróbicas, plantas y animales. <http://www.nutrinform.com.ar/pagina/info/vita0.html>

3. Glutation peroxidasa (GPx)

Su actividad está estrechamente ligada a la presencia de Selenio. Esta enzima actúa principalmente en las mitocondrias y cloroplastos catalizando dos tipos de reacciones:

A) La reducción del agua oxigenada a radical hidroperóxido en presencia de Glutación (GSH) y Selenio.

<http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/vita0.html>



B) La reducción del hidroperóxido a compuestos más estables también en presencia de GSH.



- Una de las funciones más importantes del glutatión es proteger a la célula contra la acción de los radicales libres H_2O_2 .
- Protege a los lípidos de la membrana celular de la peroxidación.
- Cuando los organismos han sido expuestos a fármacos, radiaciones, sustancias oxido-reductoras, estará disminuida la síntesis de glutatión, llegando a ser insuficientes sus concentraciones y reduciéndose las posibilidades defensivas de la célula frente a estos R.L.
- Una dieta equilibrada puede llegar a aportar unos 150 mg de GSH al día.

http://www.biopsicologia.net/fichas/page_1101.html; (Potter, 1978)

4. Coenzima Q-10

Ayuda a las enzimas a realizar su función además de participar en numerosos procesos corporales. Existe una gran similitud entre las propiedades antioxidantes de la vitamina E y las de la coenzima Q-10. Esta juega un papel muy importante en la generación de energía celular, es un potente estimulante inmunológico, mejora la circulación y es beneficiosa como protectora del sistema cardiovascular.

http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/salud_y_alimentacion/deporte/2001/12/20/35635.php

2.3.4.3. Antioxidantes naturales

1. D-alfa-tocoferol (Vitamina E)

La estructura de la Vitamina E se muestra en la siguiente Fig.2.3.4.3.1

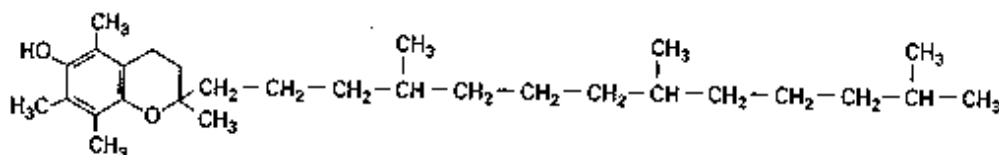


Fig.2.3.4.3.1. Estructura de la vitamina E

El antioxidante más ampliamente distribuido en la naturaleza, es la forma más activa de la vitamina "E" natural, es un término genérico y se refiere a 8 formas estructurales diferentes, variantes del tocoferol o tocotrioles, ellos son antioxidantes solubles en lípidos. Que aportan estabilidad a la membrana celular protegiendo sus lípidos insaturados contra las agresiones de los R.L. (Harris, 1977)

Su sitio activo se localiza en el grupo -OH en la posición 6 del anillo cromano (Reyes, 2002). En situaciones de *deficit* no se neutralizan todos los radicales OH y comienza la peroxidación de estos lípidos, alterándose la estabilidad funcional y estructural de la célula.

<http://www.monografias.com/trabajos11/lasvitam/lasvitam.shtml>

Aunque el α -tocoferol es capaz de reaccionar con el anión superóxido y con el oxígeno singulete, su principal función en las membranas es interrumpir la propagación de la peroxidación de los lípidos, reaccionando con los radicales peroxil, ayudando de esta manera, a la reparación de la membrana. (García, 1998)

Debido a que es liposoluble, su acción se desencadena protegiendo los lípidos de la membrana celular que existen en los nervios, músculos y revestimiento de los vasos sanguíneos.

<http://www.monografias.com/trabajos11/lasvitam/lasvitam.shtml>

El Selenio facilita la absorción de esta vitamina, por lo que debe asociarse en su administración.

<http://www.monografias.com/trabajos11/lasvitam/lasvitam.shtml>

2. Ácido ascórbico (Vitamina C)

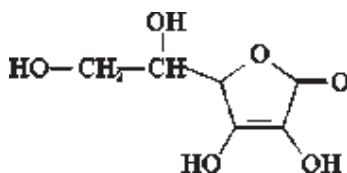


Fig. 2 3.4.3.2. Vitamina C (ácido ascórbico)

El ácido ascórbico (vitamina C), es un antioxidante biológico que se obtiene de frutas y vegetales. Dado que la vitamina C es soluble en agua, puede actuar como una primera línea de defensa, reaccionando con los radicales libres de la sangre y otras sustancias del organismo con base acuosa. Presenta una importante acción antioxidante protegiendo a los lípidos plasmáticos de la oxidación.

<http://www.latinsalud.com/articulos/00069.asp?ap=3>

La vitamina C, tiene dos papeles como antioxidante:

1) recicla a la vitamina E, regenerando los radicales oxidados de la vitamina "E" cediéndoles un electrón para devolverlas en su forma reducida y antioxidante

2) neutraliza directamente a los radicales libres.

<http://www.gssiweb-sp.com/reflib/refs/163/CardioprotectionSSE.cfm?pid=96&CFID=3152222&CFTOKEN=56766638>

El ácido ascórbico también puede actuar, como sinergista en el proceso de conversión del tocoferol oxidado a tocoferol reducido, regenerándose nuevamente por la acción del glutatión reducido o por el NADH+.

Al ser hidrosoluble, es el mayor captador de elementos oxidantes en la fase acuosa del organismo, antes de que estos puedan llegar a dañar a los elementos lipídicos. <http://www.labnutricion.cl/estres.htm>

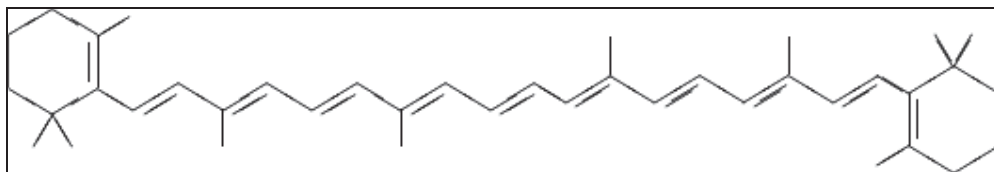
Es la más conocida de las sustancias hidrosolubles la vitamina C, ya que posee propiedades oxidantes o antioxidantes dependiendo de la concentración de hierro que tenga nuestro organismo. En condiciones de baja concentración de hierro tisular, la vitamina C ejerce una acción antioxidante. Sin embargo, si la concentración de hierro es alta, el ácido ascórbico generará hierro ferroso, que a su vez facilitará la producción de radicales libres (radical hidróxilo).

3. Ácido alfa lipoico

Carotenoide extraído de algunas verduras y frutas, que ayuda a neutralizar los efectos de los radicales libres en nuestro organismo potenciando las funciones antioxidantes de las vitaminas C, E y del enzima glutatión peroxidasa. Es un antioxidante soluble en agua presente en forma natural que puede reciclar a la vitamina C. <http://www.nutrar.com/detalle.asp?ID=7737>

4. β-caroteno

El β-caroteno pertenece a la familia de los carotenoides presentes en los vegetales. El organismo es capaz de transformarlo en vitamina A (retinol), de ahí su denominación "provitamina A". El β-caroteno posee conjuntamente las propiedades de la vitamina A y la de los antioxidantes que actúan sobre los radicales libres, neutralizando el oxígeno singlete. Más recientemente se ha reconocido su acción sobre la prevención de las cataratas, su efecto beneficioso en procesos inflamatorios y los relacionados con el proceso de envejecimiento. (Córdoba, 2000)

Fig. 2.3.4.3.3 .Estructura del β -Caroteno

Protege a los neutrófilos frente a los Radicales Libres producidos en las reacciones inflamatorias sin alterar la capacidad destructora de bacterias de estos.

<http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/vita0.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Caroteno>

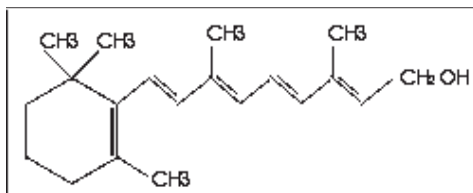


Fig. 2.3.4.3.4. Vitamina A. (Retinol)

La vitamina A y los carotenoides son sensibles a la oxidación. Es por esto que la cantidad de la vitamina presente en el alimento va a depender del tiempo de almacenamiento y la forma de conservación. <http://www.dsalud.com/numero57-2htm>

2.3.4.4. Cofactores

Es necesaria la incorporación al organismo de ciertos **oligoelementos** como el cobre, hierro, cinc, selenio y manganeso, pues forman parte del núcleo activo de las enzimas antioxidantes.

1. Selenio

- ♦ La glutatión peroxidasa es una de las enzimas dependientes del Selenio.

- ◆ Su misión es proteger a las células contra la acumulación de radicales superóxido, que lesionan la membrana celular, neutralizando compuestos de acción mutagénica o carcinogénica.
- ◆ Una dieta equilibrada no debería producir carencia de Selenio, pero existen grupos de riesgos:
 - Ancianos, alcohólicos crónicos
 - Síndrome de mala absorción.
- ◆ Están expuestos a riesgos de aparición de enfermedades cardiovasculares y neoplasias por déficit de esta elección.
- ◆ Se le relaciona con un menor riesgo de aparición de tumores de piel, hígado, colon y mama. Así mismo está vinculado al funcionamiento de la glutatión peroxidasa (Younson, 2004)

2. Cobre

- ◆ Es un componente de numerosas enzimas:
 - OXIDASAS : Citocromo - oxidasa
 - S. O. D.
- ◆ Junto con el Hierro es necesario para la síntesis de hemoglobina.
- ◆ También forma parte del Ácido Nucleico. <http://www.aaqc.org.ar/cyt-polif.htm>

3. Hierro

Es parte fundamental de las proteínas transportadoras de Oxígeno (Hemoglobina y mioglobina), además participa en la síntesis de enzimas y favorece el transporte de electrones en la cadena respiratoria. (Core, 2005)

Zinc

- ◆ Forma parte de la S.O.D., realizando su acción antioxidante al proteger los grupos sulfidrilos de su oxidación.

- ◆ Se encuentra asociado a más de 100 enzimas, a la síntesis de proteínas y Ácidos nucleicos, al metabolismo de los glucidos, los lípidos, y a la estabilidad de la membrana celular.
- ◆ Aumenta la supervivencia de la célula a las radiaciones Ultravioleta
- ◆ Favorece la formación de nuevas proteínas (renovación celular), participa en la lucha contra los radicales libres y en la síntesis de enzimas, interviene en el sistema inmune o de defensas, favorece el buen estado de piel y mucosas (tonicidad y elasticidad de la piel) y tiene relación con el sentido del gusto.
- ◆ <http://www.educ.ar/educar/superior/biblioteca/1122233340-digital/verdocbiblio.jsp?url=S-BD-SECC>

2.3.4.5. Protectores de la membrana celular

1. Flavonoides

Comprenden a los flavonoles, los antocianidoles y a las flavonas, colorantes naturales con acción antioxidante que constituyen el grupo más importante de la familia de los polifenoles, muy presentes en el mundo vegetal. Se ha demostrado que son factor protector del sistema cardiovascular. Además, activan las enzimas glutathion peroxidasa y catalasa, antioxidantes presentes de forma natural en nuestro organismo.

- ◆ Actúan como estabilizadores de la membrana protegiendo de forma eficaz la estructura y función de las células por tanto impiden que las radiaciones ultravioletas y los R.L. ataquen piel, mucosas y otros tejidos además de ayudar a la recuperación de las zonas ya lesionadas.
- ◆ **Cardo mariano:** Rico en silimarinas que son flavonoides con gran efecto estabilizador de la membrana celular.
- ◆ **Hesperidina:** Citroflavonoide de acción similar.(Ortemberg, 2000)

2.3.5. Cada antioxidante posee una afinidad hacia un determinado RL o hacia varios:

La vitamina E, el betacaroteno y el licopeno actúan en el medio liposoluble de la célula y su absorción y transporte se hayan muy vinculados con el de los lípidos. La vitamina E es considerada el protector más importante de las moléculas lipídicas.

Vitamina C: neutraliza el oxígeno singlete, captura radicales hidroxilos, captura anión hiperóxidos y regenera la forma oxidada de vitamina E.

Vitamina E: neutraliza el oxígeno singlete, captura radicales libres hidroxilos, neutraliza peróxidos y captura anión superóxido.

β -caroteno: neutraliza el oxígeno singlete.

http://www.bvs.sld.cu/revistas/mil/vol30_1_01/mil07101.htm

La eliminación de los RL se hace a través del uso de eliminadores o antioxidantes de RL con sus correspondientes agentes eliminadores tal como se muestra en la siguiente Cuadro 2.3.5.

<http://www.texas-foods.com/RadicalesLibres.htm#inicio>

Radical Libre	Antioxidantes correspondientes
Radical Superoxido Aniónico	Vitamina C Glutation (GSH)
Peróxido de Hidrógeno	Glutation (GSH)
Radical Hidroxilo	Vitamina C Melatonina
Oxígeno Singulete	Vitamina A Vitamina C Glutation (GSH)
Radical Ácido Graso Poliinsaturado	Vitamina A (VA) Vitamina E (VE)
Hidroperoxidos Orgánicos/	Glutation (GSH)

de ácido graso	
Proteína Oxidada	Glutation (GSH)

Cuadro 2.3.5. Uso de antioxidantes contra RL

2.3.6. Sinergismo

Los antioxidantes actúan directa o indirectamente contra las especies de **RL**, potencializando la acción de otros antioxidantes, inhibiendo la formación de **RL**, evitando que se agoten los antioxidantes y otras sustancias bioquímicas que produce nuestro cuerpo. El uso integrativo de antioxidantes es básico para la eliminación de **RL**, ya que al trabajar de manera **sinérgica** restauran el funcionamiento normal de los tejidos del cuerpo. (Reyes, 2002)

2.3.7. Causas de Deficiencia de antioxidantes

La deficiencia de antioxidantes en el organismo puede obedecer entre otras razones a:

- ◆ Dieta deficiente en antioxidantes.
- ◆ Enfermedades que reducen la absorción de antioxidantes de la dieta (ej. enfermedad de Cronh).
- ◆ Nutrición estrictamente parenteral.
- ◆ Diálisis renal.(Meyer, 2002)

Es muy importante tener en cuenta que todos los antioxidantes actúan en cadena, complementándose unos a otros en su misión de neutralizar a los radicales libres. Se necesita la actuación coordinada de varios antioxidantes para que su eficacia sea máxima. Esto tiene una consecuencia práctica y es que si se quiere proporcionar una protección adecuada hay que planificar una dieta que contenga alimentos que proporcionen las cantidades adecuadas de los antioxidantes principales. (Meyer, 2002)

2.4. Capacidad antioxidante

2.4.1. Introducción

Se cree que los antioxidantes son esencialmente importantes para el organismo por el poder que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo y debido a que estos fitonutrientes se encuentran de manera natural en las frutas y vegetales proporcionándoles una capacidad antioxidante al alimento.

<http://www.unne.edu.ar/cyt/2000/8-exactas/e-pdf/e-049.pdf>

2.4.2. Definición

La Capacidad (actividad o potencial) antioxidante de frutas, vegetales, leguminosas, bebidas y otros alimentos se refiere a la cantidad de compuestos hidrofílicos y lipofílicos, capaces de neutralizar una cierta cantidad de RL, donde esta, depende directamente de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él. (Reyes, 2002)

El efecto beneficioso de los alimentos vegetales se atribuye principalmente a sustancias con **actividad antioxidante**, como los compuestos polifenólicos, el ácido ascórbico (vitamina C), los carotenoides y la vitamina E (Ortemberg, 2000). Se ha sugerido que estas sustancias aumentan la defensa antioxidante del organismo, contra el “**estrés oxidativo**”, responsable de diferentes tipos de daño celular.

http://www.florida.co.cr/estudio_antioxidantes.htm

2.4.3. Una buena nutrición

Actualmente se sabe que una buena nutrición es importante, pues el alimento contribuye, no sólo a la salud física, sino también a la salud mental y emocional del ser humano. Por todo ello, es conveniente conocer, no solo la calidad de los alimentos que consumimos, sino también su clase. Una alimentación correcta favorecerá que el organismo funcione regularmente, obteniendo, por tanto, la deseada normalidad en los cambios que se efectúan en nuestro cuerpo a través de las distintas edades, y conseguir el máximo de salud, ya que la dieta,

muchas veces, va asociada o vinculada a las deficiencias en el organismo y posteriormente a consecuentes enfermedades. (Carbó, 1994)

2.4.4. Funciones de la fruta

Las frutas pertenecen al grupo de alimentos, ricos en azúcares, vitaminas(A, B, C,) y sales minerales, Por ello pertenece al grupo de alimentos reguladores del organismo. (Carbó, 1994). Las frutas poseen un sabor y un aroma característicos y presentan unas propiedades nutritivas y una composición química que las distingue de otros alimentos. Además de localizarse en el segundo piso de la pirámide de alimentos, conjuntamente con las verduras, contiendo similitudes en nutrientes, aunque en el caso de las frutas el contenido en hidratos de carbono es más elevado y ello las convierte en alimentos un poco más energéticos.

<http://www.latinsalud.com/articulos/00069.asp?ap=3>

Por lo tanto:

- Son alimentos de bajo valor calórico, ya que casi el 80% de su composición es agua.
- Contienen fibra dietética.
- La fruta contiene múltiples micronutrientes que actúan sinérgicamente como antioxidantes protegiéndonos de múltiples enfermedades crónicas.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Fruta>

<http://www.institutobiologico.com/seminarios/radicales%20libres.htm>

2.5. ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA GUAYABA

2.5.1. Historia

El fruto de guayaba tiene un uso muy antiguo, aproximadamente desde hace 2000 años fue domesticada en América, existe una gran diversidad de nombres comunes que se le han asignado de acuerdo a las diferentes razas nativas, por ejemplo en México, xalxocotl; en Brasil, “araca-iba” al árbol y “araca guacu” a la fruta, en El Salvador se conoce como Guayabín, Guayabillo, Guayaba, Goiaba en Portugal, en Perú y Santo Domingo se le denominaba “guajavos” o “guajavas” Guyave en Francia, Guava en USA, Guyaaba en Holanda, Kuawa en Hawaii, Abas en Guam, Jambu-batu en Malasia, Bayabas en Filipinas y Amarood, Jamphal, Jamrukh, Piyara, Safari en India, pero no existe indicación precisa alguna del origen. Evidentemente, la especie fue silvestre en gran parte del continente, en el tiempo del descubrimiento de América y más notable en las áreas tropicales y subtropicales. (Mata y Col. 2000)



Figura 2.5.1. Fruto de guayaba

El fruto de guayaba es importante para tratar casi medio centenar de padecimientos. Es utilizada con frecuencia en infusión o como agua de uso para enfermedades gastrointestinales como diarrea, escalofríos y dolor de estómago, también puede tomarse con leche, bicarbonato, azúcar y hojas de hierbabuena. En Panamá, se emplea en cocimiento para tratar la debilidad y vómito; la cocción de las hojas sirve para la disentería y los cólicos. En padecimientos de la piel, las hojas solas o mezcladas con otras hierbas, se ponen a hervir y después se aplican de forma local en lavados o cataplasmas.

Por otro lado, se recomienda para la caries, hinchazón, bilis, escarlatina, hemorragia vaginal, heridas, fiebre y deshidratación. (Mepivoseth, 2004)

2.5.2. Producción Mundial, Nacional y estatal de Guayaba.

En la actualidad, a la guayaba se le encuentra prácticamente en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo. Son países productores Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, India, Sudáfrica, California, Estados Unidos, México, Filipinas, Venezuela, Costa Rica, Cuba y Puerto Rico.

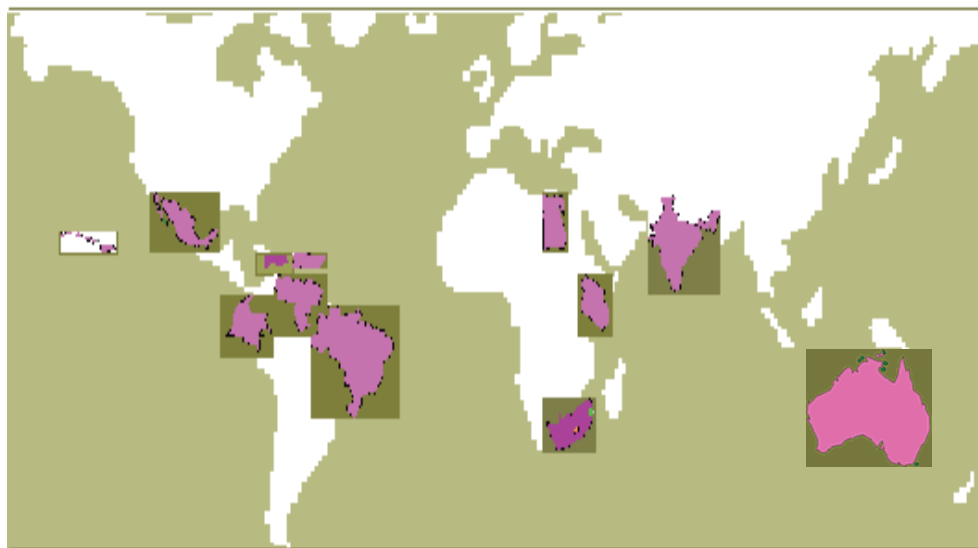


Fig. 2.5.2. Mapa Mundial donde se muestran los principales Países productores del fruto de guaya.

2.5.2.1. Producción Nacional

En México, el cultivo de guayaba esta cobrando importancia, SAGARPA (2004) actualmente se reporta una superficie de 23 mil 386.74 Hectáreas y un volumen de producción de 302 mil 648.65 Toneladas, distribuidas en todos los estados de la Republica Mexicana, abarcando un 88.84 % de la superficie sembrada, los estados de: Michoacán con 8779.74 Hectáreas y 127mil 441.46 (Ton), Aguascalientes con 6877.00 Hectáreas y 107 mil 869.00 (Ton) y Zacatecas con 5122.00 Hectáreas y un volumen de producción de 44 mil 412.00 (Ton).(SAGARPA 2004)

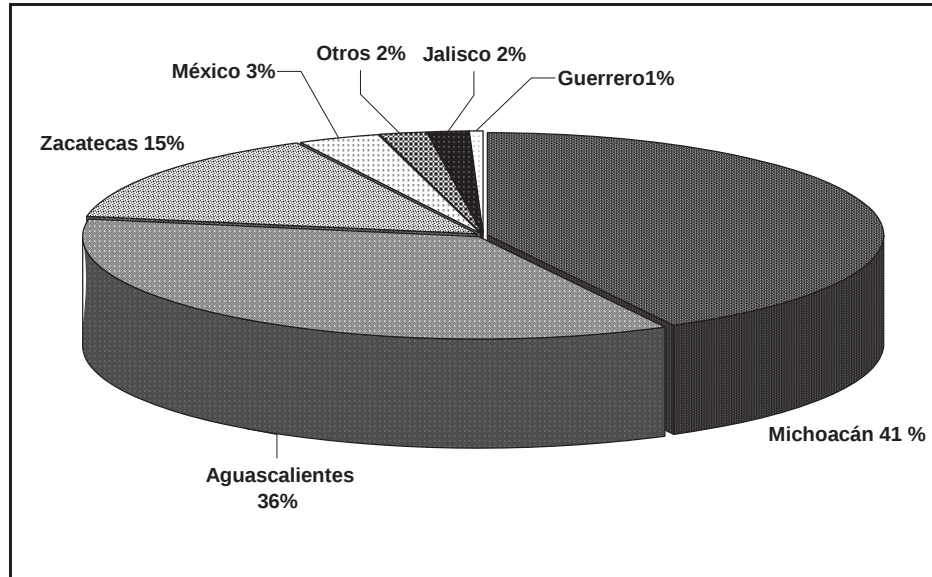


Fig. 2.5.2.1. Gráfico donde se muestran las principales Zonas productoras de Guayaba en México

(SAGARPA 2004)

2.5.2.2. Producción Estatal

La producción de guayaba en Michoacán participa con un 41% de la producción total nacional (127,441.46 Ton.). Y en el interior del estado, que se presenta en el siguiente grafico, muestra que la producción record la tiene el Municipio de Jungapeo con 2,700.00 hectáreas cosechadas y con una producción de 43,200.00 Ton., seguido por el municipio de Juárez y Zitácuaro entre otros.(SAGARPA, 2005)

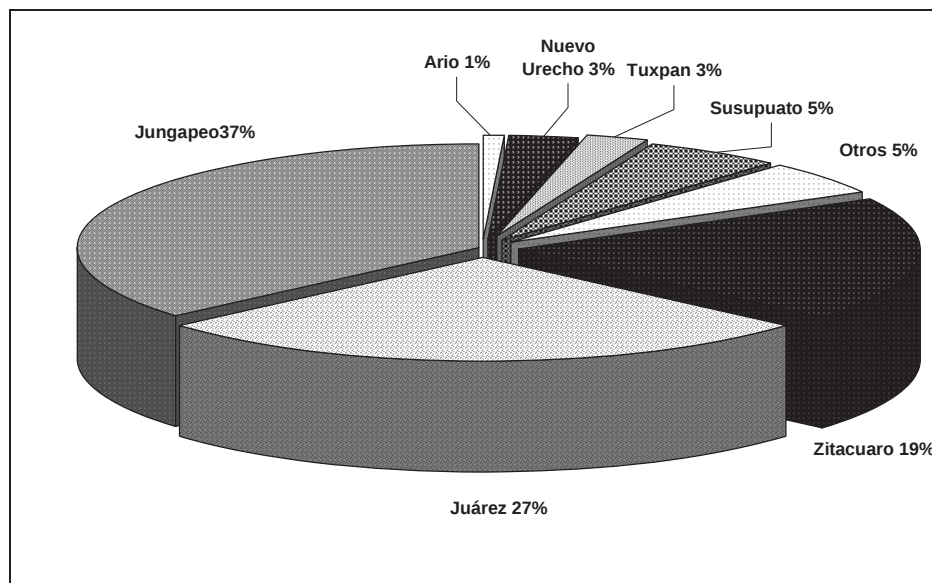


Fig. 2.5.2.2. Gráfico donde se muestran las principales Zonas productoras de Guayaba en Michoacán (SAGARPA 2004)

El fruto de guayaba tiene un valor de producción de 830 millones de pesos, ya que genera mas de 48 mil 800 empleos directos, la siembra es de una superficie de 23 mil 327 hectáreas en 22 estados de la república mexicana, con un padrón de mil 978 productores, mismos que producen alrededor de 300 mil toneladas anuales.

2.5.3. Comercialización del fruto.

La guayaba mexicana tiene amplias expectativas de crecimiento en su producción y comercialización en el mercado interno y externo, ya que puede abastecer la demanda de naciones como Canadá, USA, Japón, y parte de Europa. A nivel nacional, la guayaba es distribuida a través de once centros de abastos. (SIAP, 2003).

La guayaba se consume en mayor proporción en fresco, también tiene un uso como materia prima en la agroindustria en la producción de alimentos como: bebidas, batidos, zumos, helados, compotas, mermeladas, jaleas, miel y vinos. (Younson, 2004). Posiblemente una de las mezclas que más enriquece a la guayaba es la combinación con lácteos (leche, queso, yogurt). También se comercializa enlatada, en almíbar, en rodajas, lo que permite disponer de ella durante todo el año. También se le utiliza en la industria en la elaboración de productos farmacéuticos. <http://www.bioline.org.br/request?cg03005>

<http://huitoto.udea.edu.co/FrutasTropicales/guayaba.html>

2.5.4. Generalidades del fruto

2.5.4.1. Descripción botánica.

El guayabo es una planta arbórea, perteneciente a la Familia de las *Myrtaceae* del Género *Psidium* y la especie *guajava*. Este fruto es reconocido por su alto contenido de nutrientes, principalmente vitamina C, que es uno de los agentes antioxidantes más poderosos. (SARH, 1994)

El guayabo llega a medir de 3 a 10 m de altura, sus raíces son poco profundas, aproximadamente 1 mm de diámetro, pero con un alto poder de captación de agua, sus hojas verde oscuro son oblongas de 3 a 6.5 cm, de ancho y de 5 a 15 cm de largo. Sus flores son hermafroditas y miden de 2.5 a 3 cm de diámetro, están compuestas por cuatro pétalos blancos, nacen solas o en grupos de 2 o 3 en las axilas de las hojas. (Regalado, 1999)

El fruto es una baya globosa u ovoide de hasta 8 cm de diámetro dependiendo de la variedad, es un fruto carnoso de color externo verde, amarillo-verdoso, amarillo o rosado en su plena madurez; en su interior la pulpa puede ser de color blanco, amarillo, rosado o anaranjado, la baya contiene numerosas semillas, es de olor fragante y sabor agridulce.

<http://chat.terra.com.vel/especiales/medicinanatural/guayaba.htm>

http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/psidium_guajava.htm



Fig. 2.5.4.1. Fruto típico de guayaba y flor de guayaba

2.5.4.2. Composición nutricional del fruto de guayaba.

La composición química varía entre cultivares y localidades. A continuación se anotan algunos compuestos y sus cantidades en 100 g de muestra. Su componente mayoritario es el agua, es de bajo valor calórico por su escaso aporte de hidratos de carbono y menor aún de proteínas y grasas, la guayaba consiste de aproximadamente 20% de cáscara, 50 % de de pulpa y 30% de semillas. Destaca su contenido en vitamina C (que la caracteriza como la reina de la vitamina C); concentra unas siete veces más que la naranja. Si la pulpa es anaranjada, es rica en pro-vitamina A o β -caroteno que se transforma en vitamina A en nuestro organismo conforme éste lo necesita. Ambas vitaminas, cumplen una función antioxidante. Respecto a los minerales, destaca el aporte de calcio. Su aporte de fibra es elevado por lo que posee un suave efecto laxante y previene o reduce el riesgo de ciertas alteraciones y enfermedades. Cuadro (2.5.4.2). (Trewavas, 1986).

Componente	Contenido por Porción de 100gm
Energía Total	46.0 calorías
Humedad	81.2 g
Proteína	1.1 g
Grasa	0.2 g
Carbohidratos	10.0 g
Fibra	6.8 g
Volátiles	0.7 g
Calcio	33.0 mg
Fósforo	15.0 mg
Hierro	1.2 mg
Sodio	23.0 mg
Potasio	12.0 mg
Beta caroteno	60.0 ug
Vitamina B1	0.10 mg
Vitamina B2	0.05 mg
Niacina	1.1 mg
Vitamina C	152.0 mg

Cuadro 2.5.4.2. Composición nutricional del fruto de guayaba.

<http://www.geocities.com/guayabamanzana/propiedades.htm>

2.5.5. Maduración del fruto

2.5.5.1. Maduración fisiológica del fruto

El ciclo de crecimiento y desarrollo del fruto, para alcanzar su madurez fisiológica requiere de aproximadamente 150 días a partir de la fecha de floración, aunque se requieren mas días en las estaciones frías que en las estaciones con temperaturas mayores; es decir, que las temperaturas más frías retardan el crecimiento de la fruta y por lo tanto su metabolismo. (Mercado 1998).

Durante el proceso de desarrollo y maduración de la fruta de guayaba muchos cambios bioquímicos y fisicoquímicos se llevan a cabo; su peso y volumen aumentan considerablemente a partir de los primeros 50 días y hasta los 100 días. El color de la fruta permanece verde hasta la madurez fisiológica; también el ablandamiento de la fruta se ve reflejado después de aproximadamente 115 días después de la antesis. (Regalado, 1999)

Su contenido de azúcares aumenta durante el desarrollo, como en el caso de la fructosa que aumenta rápidamente, mientras que la glucosa se incrementa lentamente. El contenido de pectina en la guayaba aumenta durante la maduración y disminuye en la fruta sobremadura. La acidez disminuye, mientras el ácido ascórbico aumenta durante el proceso de desarrollo. (Regalado, 1999)

El fruto de guayaba, pertenece al grupo de los climatéricos, es decir, que pueden cosecharse cuando han alcanzado su pleno desarrollo pero no han empezado a madurar. Su velocidad de respiración aumenta (climaterio) y disminuye gradualmente (Regalado, 1999)

2.5.5.2. Maduración sensorial o comercial

Es un proceso por el que los frutos adquieren las características sensoriales (color, aroma, sabor, textura, etc.) que los definen como comestibles, proceso que, generalmente comienza durante las etapas finales de la maduración fisiológica.

Durante dicho proceso tienen lugar una serie de cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos determinantes de la calidad y vida poscosecha del fruto, como son:

- **Cambio de color**
- Cambios en la composición de proteínas
- Carbohidratos (dulzura)
- Producción de aromas
- Cambios en los ácidos orgánicos y en los polifenoles.

Todos estos asociados a un transitorio pico respiratorio y vinculado estrechamente a la producción autocatalítica del etileno. (López, 2003).

En el caso de la guayaba, el color es debido a diferentes pigmentos en el pericarpio del fruto, como la clorofila, que conforme avanza a su maduración de un estado verde a un rayado o amarillo, va disminuyendo y aumentando los carotenos que actúan como antioxidantes; así como también el contenido de **vitamina C** es mayor en estado amarillo del fruto, pudiendo incrementarse la **capacidad antioxidante** del mismo.

http://canales.laverdad.es/cienciaysalud/5_3_2.html

2.5.6. Gradación de colores en la maduración de guayaba

De acuerdo al grado de maduración el fruto presenta una coloración externa específica:

Totalmente verde. El color externo es un verde intenso. En esta etapa, el fruto esta en proceso de terminar con el crecimiento y alcanza su tamaño máximo. A este fruto se le conoce como fruto verde.

Verde claro. El color amarillo verde se vuelve menos intenso de manera general en toda la superficie del fruto, manifestando la madurez fisiológica.

Verde-amarillo. El color amarillo empieza a notarse en la superficie del fruto, pero no más alto del 50% de su superficie. La firmeza disminuye ligeramente, en comparación a las dos etapas anteriores. El fruto esta en proceso de alcanzar las características de color, sabor, textura, aroma, etc. y es comúnmente conocido como fruto rayado.

Amarillo-verde. El color amarillo empieza a dominar observándose en más del 50% de la superficie del fruto.

Totalmente amarillo. El aspecto del fruto es de un amarillo brillante, la firmeza es menor, que en todas las etapas anteriores. El fruto expresa las características típicas de la especie. Comúnmente conocido como fruto amarillo (Cisneros, 2004).



Fig. 2.5.6. Tres estados de maduración verde, rayado y amarillo.

Se recomienda que los frutos se corten en estado verde cambiante, cuando están todavía muy firmes, pero que hayan terminado su madurez fisiológica. (Regalado, 1999)

2.5.7. Cosecha, empaque y clasificación de calidad de fruto de Guayaba

La guayaba se cosecha manualmente y el momento del corte depende del destino de la fruta, así los frutos que se destinan a la industria pueden cosecharse en un estado de madurez más avanzado que los destinados a su consumo en fresco, pero el corte debe de realizarse cuando sean capaces de generar etileno; necesario para que el proceso de maduración sensorial continúe, aún separado de la planta madre. (Regalado, 1999)

Los materiales de empaque son variables en tipos y dimensiones; en México los más comunes son las cajas de madera de 13 Kg. pero también se utilizan las cajas de cartón de dimensiones similares a la caja de madera. Para los pequeños volúmenes de fruta que se exportan, se utiliza la caja de cartón con separadores plásticos para evitar la compresión de los frutos. (Regalado, 1999)

2.5.7.1. Clasificación de calidad

Aun cuando existe Norma Oficial Mexicana NOM-075-FITO-1997, de calidad de guayaba, las propias regiones productoras tienen sus propios estándares, así en Calvillo Ags. y Jalpa, Zac., los frutos se clasifican en base a su tamaño como se muestra en el cuadro (2.5.7.1); y el porcentaje de cada una de las calidades que se producen se muestra cuadro (2.5.7.2). (Bautista, 1996)

GRADO DE CALIDAD	CARACTERISTICAS (Diámetro externo en cm.)
Extra	Mayor de 5.5 cm.
Primera A	Entre 5.0 a 5.5 cm.
Primera B	Entre 4.5 a 5.0 cm.
Segunda A	Entre 4.0 a 4.5 cm.
Segunda B	Entre 3.5 a 4.0 cm.
Tercera	Menor a 3.5 cm.

Cuadro 2.5.7.1. Grados de calidad de los frutos de guayaba producidos en la región de Aguascalientes y Zacatecas.

TAMAÑO	Porcentaje (%)
Extra	4.0 - 6.0
Primera A	17.0 - 23
Primera B	30.0 - 36.0
Segunda A	16.0 - 20.0
Segunda B	15.0 - 17.0
Tercera	6.0 - 10.0

Cuadro 2.5.7.2. Distribución por calidad de los frutos de guayaba producida en la región Calvillo, Ags. y Jalpa, Zac.

2.5.8. Manejo Poscosecha

Una vez cosechados, clasificados y empacados, los frutos siguen sujetos a cambios metabólicos continuos, algunos no deseables por el consumidor, por lo que es necesario aplicar tratamientos poscosecha al fruto para reducir esta actividad. (Regalado, 1999)

Las bajas temperaturas se aplican a la mayoría de los frutos para retrasar el proceso natural de maduración y así prolongar su vida de anaquel, la temperatura de almacenamiento óptima para cualquier fruto está en función del tiempo y de su grado de madurez, así por ejemplo, la guayaba en estado de madurez III es mas resistente al frío que la fruta en estado de madurez II. Es posible conservar frutos de guayaba en estado III por 12 días a 10º C y por lo menos 3 días a temperatura ambiente (Bautista, 1994). Sin embargo, (Kader, 1993) indica que este fruto sufre daño por frío cuando es almacenado por debajo de 7º C, siendo su principal sintomatología su incapacidad para madurar, oscurecimiento interno y alteraciones en la generación de aromas. No existen reportes de los efectos sobre los antioxidantes naturales (Vitamina C) y las actividades de enzimas relacionadas al catabolismo de lípidos de membrana.

2.5.9. Relación de vitamina C y Capacidad antioxidante.

Resultados anteriormente evaluados respecto al contenido de Vitamina C, por (Silva, 2004); en frutos de guayaba en tres estados de maduración, muestran un comportamiento similar al de la tasa respiratoria del fruto, dando su máxima concentración en los frutos maduros.

En el fruto de guayaba conforme avanza a su maduración, de un estado verde a un rayado o amarillo, existe una disminución de clorofila y aumenta el contenido carotenos y **vitamina C**, agentes antioxidantes poderosos que le proporcionan directamente la capacidad antioxidante al fruto.

III. OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad antioxidante y evaluar el color como indicativo de maduración en el fruto de guayaba *Psidium guajava*, almacenado en tres estados de maduración en frigorífico.

IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Almacenar los frutos de guayaba en frigorífico de acuerdo a su estado de maduración.
- Determinar y analizar el comportamiento de color como indicador de calidad, en el fruto de guayaba en tres estados de maduración
- Determinar y comparar la Capacidad Antioxidante en fruto de guayaba de acuerdo a su estado de maduración y tiempo de almacenamiento.
- Comparar la Capacidad Antioxidante y color en fruto de guayaba de acuerdo a su estado de maduración y tiempo de almacenamiento.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Diagrama general:

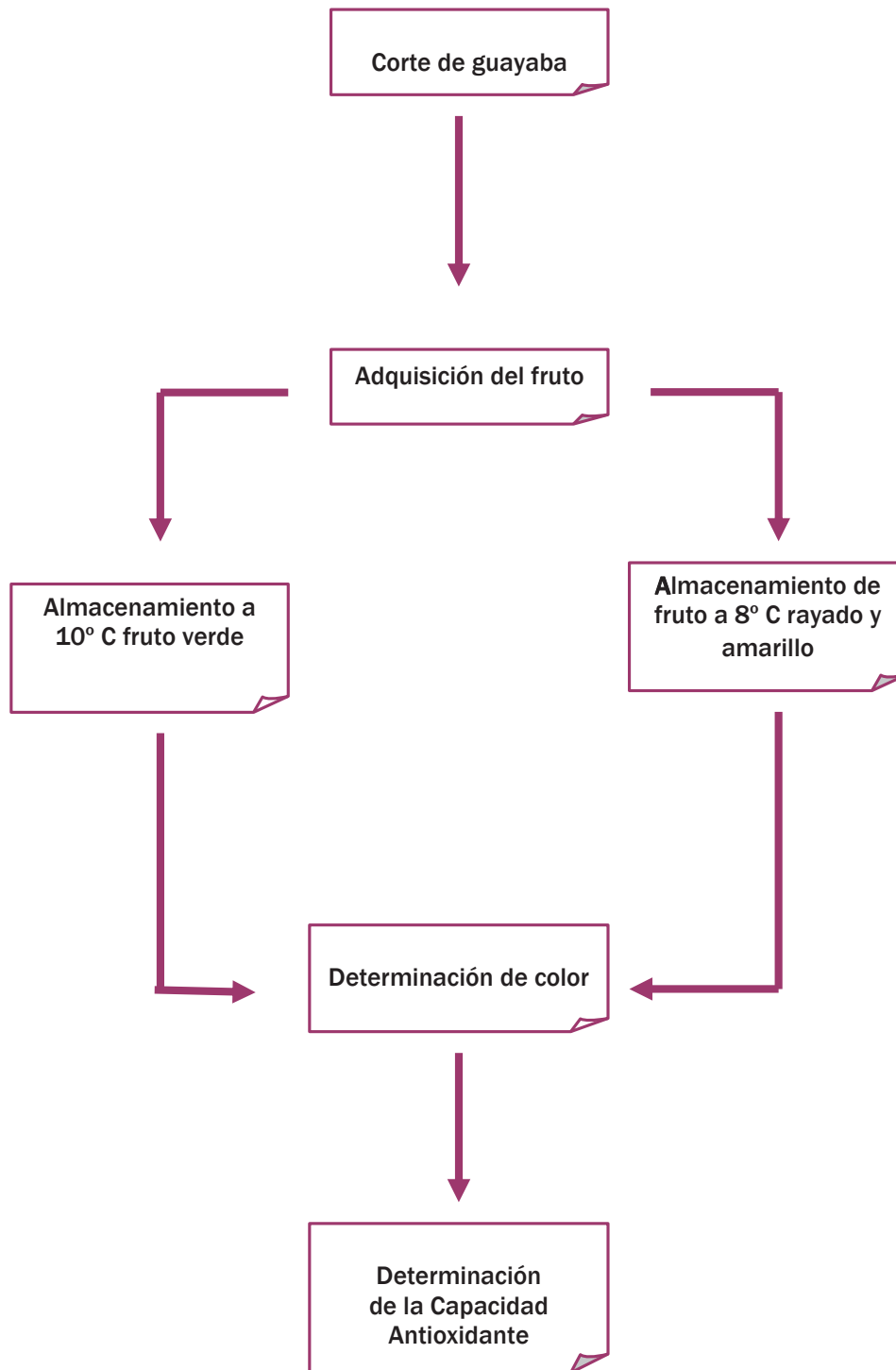


Fig.5. Diagrama general del proceso

5.1. Almacenamiento del fruto de guayaba.

Se adquirió fruto de guayaba en tres estados de maduración verde, rayada y amarilla.



Fig. 5.1.1. Estados de maduración verde, rayada y amarilla.

El fruto fue transportado al laboratorio, posteriormente fue almacenado en una cámara frigorífica marca MABE para cada estado de maduración; se colocó en las parrillas manualmente manteniendo una temperatura de 10° C para el fruto verde, 8° C para el fruto rayado y amarillo, a una Humedad Relativa de 80-95 % para los tres estados de maduración como se observa en la figura 14.



Fig. 5.1.2. Almacenamiento del fruto en cámara frigorífica marca MABE

5.2. Diseño del experimento

1. **Diseño experimental:** completamente al azar con tres repeticiones.
2. **Arreglo de tratamientos:** Unifactorial
3. **Factores de estudio:**
 - a) F1. Fruto amarillo temperatura de 8° C, Tiempo de Almacenamiento 0, 3, 6 días.
 - b) F2. Fruto rayado temperatura de 8° C, Tiempo de Almacenamiento 0, 9, 18 días.
 - c) F3. Fruto verde temperatura de 10° C, Tiempo de Almacenamiento 0, 12, 24 días.
4. **Variables dependientes**
 - a) Color
 - b) Capacidad Antioxidante

5.2.1 Unidad experimental.

La unidad experimental consistió de 9 frutos de guayaba *Psidium guajava*, por repetición para cada uno de los estados de maduración, en los diferentes tiempos de almacenamiento, como se muestra en el Cuadro 5.2.1

Fruto verde	Fruto rayado	Fruto amarillo
T'0	T'0	T'0
T'3		
T'6	Compra T'9	
T'9	Compra T'18	Compra T'3
T'12	T'9	T'3
T'15		
T'18		Compra T'6
T'21		
T'24	T'18	T'6

Cuadro 5.2.1. Evaluaciones realizadas

5.3. Determinación de color

El color del pericarpio del fruto de guayaba se determinó en 9 frutos por cada estado de maduración analizado, se tomó la lectura en tres puntos equidistantes de la superficie de cada fruto usando un colorímetro de reflectancia Hunter Lab Modelo Colorflex. (Figura 5.3). Que mide el color de las superficies planas, simulando la luz del día y cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro, rojo, azul, amarillo y verde.

El método se basó en la determinación por registro de coordenadas de tres parámetros, el parámetro "L" que mide el grado de luminosidad y varía desde 100 para blanco perfecto a 0 para el negro; los parámetros "a" y "b", son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de "a", están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro "b" están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul.



Fig. 5.3. Colorímetro de reflectancia Hunter Lab Modelo Colorflex.

Con los valores obtenidos de cada coordenada se determinó el Índice de Color del fruto (IC). Aplicando la ecuación: (Jiménez y col., 1981).

$$IC = (1000 * a) / (L * b)$$

Valores menores a cero expresan coloraciones verdes, valores mayores a cero tonalidades amarillas. (Cisneros, 2004)

5.4. Obtención de la muestra para la determinación de la Capacidad Antioxidante.

Para la obtención de una muestra, primeramente se picaron tres frutos y se retiró el contenido de semillas, para facilitar la extracción del zumo solamente utilizamos el endocarpio.



Fig. 5.4.1. Fruto en trozos, sin semillas

El fruto ya picado en trozos fue procesado mediante el uso de un extractor marca Turmix para la obtención de una muestra



Fig. 5.4.2. Obtención del zumo en el extractor

Debido a que la extracción del zumo se obtenía de forma pastosa y el análisis no podía ser determinado, se realizó una dilución de 1:10. Para la cual, se peso de la muestra procesada aproximadamente 1 gr. en una Balanza Analítica Marca Sartorius, tomando 4 unidades después del punto decimal en gramos.

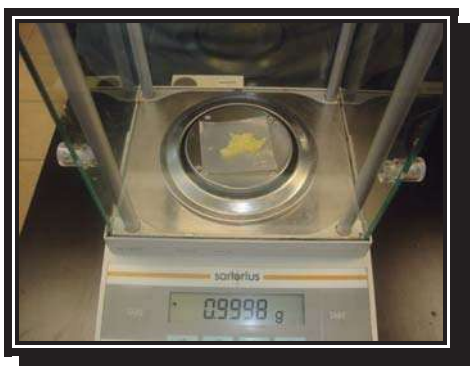


Fig. 5.4.3. Balanza Analítica, pesando la muestra procesada

Posteriormente se disolvió el zumo en 10 ml de agua destilada, y homogenizó la muestra en el Vortex marca Daigger.



Fig. 5.4.4. Homogenización de la muestra en vortex

Posteriormente se filtro de manera que se obtuviera una muestra homogénea y transparente para poder ser leída en el espectrofotómetro.

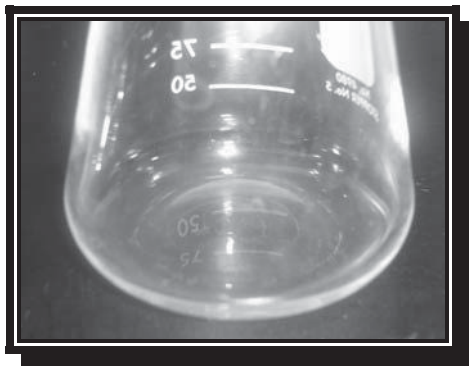


Fig. 5.4.5. Diferencia de muestra homogénea con la muestra filtrada

5.5. Determinación de la Capacidad Antioxidante (Estado de Antioxidantes Totales - TAS)

Para la determinación de la capacidad antioxidante del fruto se realizó a través del análisis del estado de los Antioxidantes Totales (TAS) utilizando para ello un kit comercial (RANDOX) que consistía de:

1. Buffer (fosfato buffered salina)
2. Cromógeno [Metaglobina ABTS [®], 2,2-Azino-di (3 etilbenzotiazolin sulfonato)].
3. Sustrato (peróxido de hidrógeno en forma estabilizada)
4. Standard 6-hidroxi - 2, 5, 7, 8 - tetrametilcroman - 2 - ácido carboxílico.



Fig. 5.5.1. Kit comercial Randox, Estado de Antioxidante Totales (TAS)

Principio del análisis:

El ABTS [®], es incubado con una peroxidasa (metaglobina) y H₂O₂ que produce el radical ABTS [®] ⁺. Este tiene un color relativamente estable azul-verde, que es medido a 600 nm. en un Espectrofotómetro SmartSpec Plus, marca BIO RAD. Antioxidantes en la muestra agregada causa supresión de estos colores producidos a un grado que es proporcional a su concentración.

Procedimiento:

Después de haber obtenido la muestra filtrada se colocó la cantidad indicada de analito como se muestra en el (cuadro 5.5) en una celda 1cm con camino para luz, más el cromógeno, estos fueron incubados a Baño María a una temperatura de 37° C por tres min (Fig. 5.5.2.) Exactos e inmediatamente se tomó la lectura a una longitud de onda de 600 nm Abs. 1, a continuación se le adicionó el sustrato se incubó en el tiempo y temperatura indicados y se tomó la segunda lectura Abs 2. (Fig. 5.5.3)

	Reactivo blanco	Standard	Muestra
DDH ₂ O	20 µl	-	-
Standard	-	20 µl	-
Muestra	-	-	20µl
Cromógeno	1 ml	1 ml	1 ml
Mezclar e incubar a una temperatura de 37° C por 3' exactos. Leer Absorbancia A ₁			
Sustrato	200 µl	200 µl	200 µl
Mezclar e incubar a la misma temperatura y tiempo. Leer Absorbancia A ₂			

Cuadro 5.5. Procedimiento de la determinación de Capacidad Antioxidante

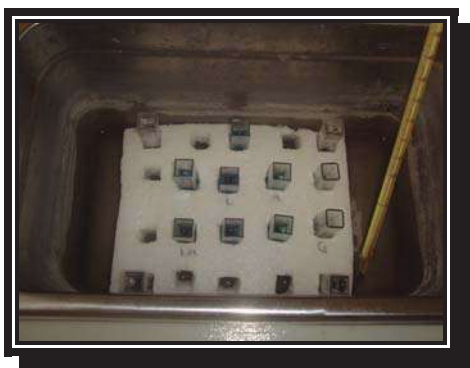


Fig. 5.5.2. Incubación de las celdas con la muestra a una temperatura de 37 °C , por 3 min.



Fig. 5.5.3. Lectura de las muestras a una $\lambda=600$ nm en Espectrofotómetro

La capacidad antioxidante de la muestra fue expresada como micromoles por litro concentración que es proporcional a los antioxidantes contenidos en la misma, para lo cual se hizo uso de las ecuaciones siguientes:

La diferencia de las absorbancia (ΔA) se utilizó para obtener la concentración en mmol/L

$$\Delta A = A_2 - A_1$$

La concentración del estándar es específica para cada No. de lote

$$\text{Factor} = \text{Concentración de Estándar} / (\Delta A^{\text{blanco}} - \Delta A^{\text{Standard}})$$

$$\text{mmol/L} = \text{Factor} \times (\Delta A^{\text{del blanco}} - \Delta A^{\text{de la muestra}})$$

5.6. Análisis estadístico de los resultados

A los resultados obtenidos se les realizó comparación de medias mediante pruebas el rango múltiple de Duncan y correlaciones utilizando el paquete operacional Statistical Analysis System (SAS, 1999).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Índice de color

Uno de los más importantes atributos que determinan la calidad de un fruto es el color que esta proporcionado en función del estado de madurez, especie o variedad, que en el caso de la guayaba, es debido a diversos pigmentos tales como la clorofila, que conforme avanza a su maduración de un estado verde a un rayado o amarillo, va disminuyendo y aumentando el contenido de flavonas, antocianinas y los carotenoides, característica que se utiliza para determinar el estado de madurez y el tiempo optimo de cosecha (Mata, 2000)

El índice de color es un parámetro importante en el caso del fruto de guayaba, ya que se ha relacionado con la capacidad antioxidante de éste.

En la determinación del índice de color, se sustituyen las coordenadas obtenidas del colorímetro, en la ecuación descrita en la metodología 5.3. anterior, en la cual valores negativos indican coloración verde en el fruto, y positivos dan indicio de tonalidad amarilla.

6.1.1. Evaluación de color en frutos en estado verde de maduración.

La evolución del índice de color (IC) del fruto verde almacenado a 10 °C se muestra en el cuadro 6.1.1. a un tiempo de almacenamiento de 0 y 24 días

El análisis de varianza del fruto en estado verde de maduración almacenado en frigorífico, muestra que existe una diferencia estadística significativa ya que presenta un cambio en la coloración de verde a amarillo reflejado en los resultados negativos del día cero al día 24 que son positivos (Cuadro 6.1.1), lo que significa que los cambios físicos y bioquímicos del proceso de maduración no se ven afectados por el tiempo de almacenamiento presentándose de manera normal la coloración esperada.

Tiempo de almacenamiento	Fruto verde
0	-7281.8 b
24	2780.0 a

Cuadro. 6.1.1. Comportamiento del Índice de color en fruto verde evaluado en el tiempo de almacenamiento de 0 y 24 días

El progreso del índice de color es el normal en términos de maduración, lo que significa que el fruto pasa del color verde al color amarillo. Cuando el fruto de guayaba madura, se manifiestan varios eventos bioquímicos causados por enzimas que hidrolizan moléculas complejas a moléculas mas simples. Las moléculas de clorofila se localizan en los cromoplastos de las células, se hidroliza disminuyendo la coloración verde y revelando los pigmentos rojos, amarillos que normalmente aparecen en el fruto maduro constituido por antocianinas y carotenos. (Harris, 1997).

La clorofila es el principal pigmento responsable del color verde del fruto de guayaba, es un pigmento de aceptación primaria de luz en plantas que realizan la fotosíntesis como medio de fijación de bióxido de carbono y liberación de oxígeno. Las clorofilas no son solubles en agua y su función principal es absorber energía solar y convertirla en energía química. (Cisneros, 2004)

Los carotenos son un amplio grupo de pigmentos asociados a la clorofila en los cloroplastos. Proporcionan un rango de colores del rojo al naranja y del amarillo al café, estos últimos son responsables de la coloración del fruto de guayaba. (Dziedzic, 1985)

6.1.2. Evaluación de color en frutos en estado rayado de maduración.

En el cuadro 6.1.2. aparecen los resultados para la variable del Índice de color respecto al día de almacenamiento a una temperatura de 8° C.

El índice de color para este estado de maduración presenta una diferencia estadística significativa, entre el día 0 y 18 de almacenamiento, como se muestra en el cuadro 6.1.2, en el cual se manifiesta que al día cero de la evaluación el valor es negativo, lo que significa que el fruto presentaba una coloración verde-claro; para el día 18 de almacenamiento, se observa un valor positivo el cual claramente significa una coloración amarilla desarrollada hasta ese día de la evaluación.

Tiempo de almacenamiento	Fruto Rayado
0	-1726.2 b
18	597.2 a

Cuadro. 6.1.2. Comportamiento del Índice de color en fruto rayado en el tiempo de almacenamiento de 0 y 18 días.

La evolución del color en el almacenamiento esta determinada por factores específicos como la producción del etileno, respiración del fruto, índice de madurez en el que es sometido el fruto cuando es almacenado. (Cisneros, 2004)

6.1.3. Evaluación de color en frutos en estado amarillo de maduración.

El índice de color (IC) del fruto amarillo almacenado a 8° C se muestra en el cuadro 6.1.3. con respecto al día de almacenamiento

El análisis de varianza utilizado para la evaluación del índice de color en fruto en estado de maduración amarilla a los días 0 y 6 de almacenamiento, no presentan ninguna diferencia estadística, como se muestra en el Cuadro 6.1.3, lo que significa que no hay un cambio en la coloración permaneciendo la tonalidad amarilla del mismo, situación que puede deberse a que el índice de madurez con que fue almacenado el fruto permaneció hasta el día 6 de evaluación, que demuestra que el fruto ya no sufre ningún cambio físico (color) susceptible por el colorímetro.

Tiempo de almacenamiento en días	Fruto Amarillo
0	3120.0 a
6	2229.9 a

Cuadro. 6.1.3. Comportamiento del Índice de color en fruto amarillo en el tiempo de almacenamiento

El fruto en estado de maduración amarillo es susceptible al almacenamiento, ya que se encuentra en una etapa cercana a la senescencia, por lo que se debe tomar precauciones en el ambiente de almacenamiento, pues la tasa respiratoria del fruto en este estado de maduración es mayor que para un fruto rayado o verde, siendo más susceptible a daños causados por frío, daños mecánicos o por m. o. (Jiménez, 1981)

En el fruto de guayaba en estado de maduración amarillo, las moléculas de clorofila que se localizan en los cromoplastos de las células se han hidrolizado disminuyendo la coloración verde y revelando los pigmentos rojos o amarillos que normalmente aparecen en el fruto maduro, razón por la cual permanece constante la coloración del fruto. (Regalado, 1999).

6.1.4. Análisis de color entre los tres diferentes estados de maduración y el tiempo de almacenamiento

El índice de color se puede apreciar en la (Fig. 6.1.4.) de forma específica para cada uno de los tres estados de maduración respecto al tiempo de almacenamiento.

La evolución del índice de color (IC) en los tres diferentes estados de maduración en el tiempo cero, muestra una diferencia estadística significativa muy clara entre estos (Cuadro 6.1.4. **A**), lo que es normal en términos de maduración, ya que es el índice de madurez que tiene el fruto cuando es sometido al almacenamiento.

Para el día final de almacenamiento respectivamente a cada estado de maduración, el índice de color presenta una diferencia estadística significativa entre los frutos verde y amarillo con respecto al amarillo (cuadro 6.1.4 **B**), lo que significa que tal variabilidad, solamente puede estar en función del índice de madurez al que fue sometido al almacenamiento, como puede ser el caso del fruto rayado, donde se pudieron estar llevando a cabo los cambios bioquímicos y físicos en la maduración de este; y al exponerlo al almacenamiento los cambios anteriores pudieron sufrir alguna alteración y estos verse reflejados en la demora de la evolución de la maduración del fruto.

Estado de maduración	A T`0	B T`6, 18, 24
amarilla	3120.0 a	2229.9 a
rayada	-1726.2 b	597.2 b
verde	-7281.8 c	2780.0 a

Cuadro. 6.1.4. Comportamiento del Índice de color en el tiempo de almacenamiento en los tres estados de maduración.

Es importante señalar que el almacenamiento en frigorífico preserva el color verde del fruto, hace más lenta la aparición del color amarillo característico de un fruto maduro. (Castelán, 2004)

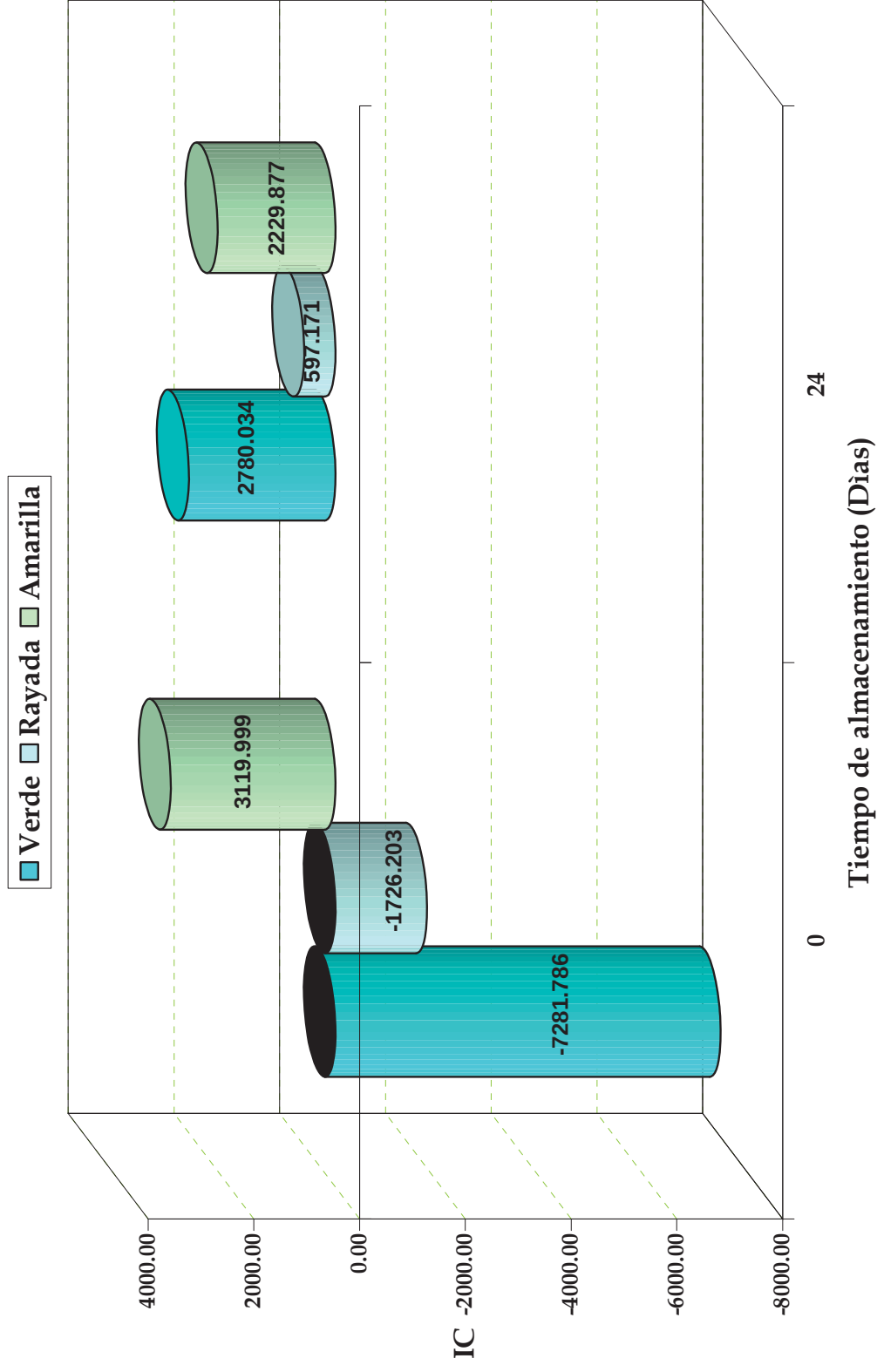


Fig. 6.1.4. Índice de color de los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento correspondiente.

6.2. Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante del fruto de guayaba esta directamente proporcionada por la vitamina C primordialmente, que es la razón principal por la cual la guayaba ha cobrado gran importancia en el mercado, ya que su contenido supera ampliamente al registrado por los frutos cítricos como el limón y la naranja (Silva, 2004).

La vitamina C tiene un comportamiento típico de los frutos climatéricos, pues el fruto experimenta a la mitad del almacenamiento un aumento en la cantidad de vitamina C; (Silva, 2004) reporta valores donde la mayor cantidad de vitamina C se encuentra presente en frutos de guayaba verde-madura que es equivalente al estado rayado manejado en el presente estudio.

Al ser una vitamina que se destruye por oxidación fácilmente, y más aun en presencia de álcalis y calor, es muy fácil que disminuya el contenido de la misma en los alimentos. Si se cocinan en un medio acuoso, la pérdida de la vitamina es mayor, ya que es hidrosoluble. (Paull, 1990)

Los carotenoides contribuyen no solamente para proveer una coloración a los frutos, si no que también proporcionan la capacidad antioxidante de los frutos; este colorante puede ser transformado en el organismo en vitamina A, y actuar como antioxidante. Existen más de 600 carotenoides en la naturaleza, destacando principalmente los más energéticos en actividad antioxidante como el alfa-caroteno, gamma caroteno, luteína, licopeno, zeaxantina y capxantina. (Paull 1990)

La vitamina A y los carotenoides son sensibles a la oxidación. Es por esto que la cantidad de la vitamina presente en el alimento va a depender del tiempo de almacenamiento y la forma de conservación. (Vierling, 1991)

La capacidad antioxidante de las evaluaciones fue expresada como micromoles por litro concentración que es proporcional a los antioxidantes contenidos en la muestra y que causan supresión de color azul-verde producido.

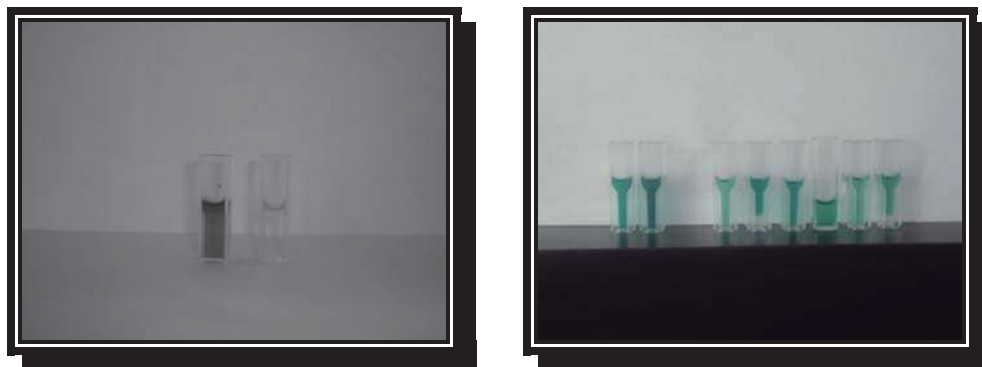


Fig. 6.2.1. Supresión de color proporcional a la concentración de antioxidantes

6.2.1. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración verde.

La capacidad antioxidante del fruto verde almacenado a 10° C se muestra en el cuadro 6.2.1. con respecto al día de almacenamiento

El comportamiento de la Capacidad Antioxidante del fruto en estado de maduración verde muestra gran diferencia estadística entre el día 0 y 24 de almacenamiento como se puede apreciar en el Cuadro 6.2.1. lo que muestra que hay un menor contenido en antioxidantes al inicio de la evaluación, comparando con el día 24 de almacenamiento. Por lo tanto, tales resultados parecen indicar que la maduración del fruto repercute directamente en la capacidad antioxidante del fruto.

Tiempo de almacenamiento en días	Fruto verde
0	0.044 b
24	0.240 a

Cuadro. 6.2.1. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto verde respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 24 días.

Tal comportamiento puede ser originado por el aumento en la concentración de la vitamina C, ya que conforme avanza la maduración del fruto este va desarrollando una tonalidad amarilla, proporcionada directamente por los carotenoides que sean transformado en su totalidad para el día 24 del almacenamiento; (Silva, 2004) menciona, que el contenido de vitamina C se presenta en mayor concentración cuando el fruto a madurado por completo.

6.2.2. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración rayado.

La capacidad antioxidante del fruto rayado almacenado a 8° C se muestra en el cuadro 6.2.2. con respecto al día de almacenamiento

El análisis de la determinación de la capacidad antioxidante del fruto en estado de maduración rayado, muestra diferencia estadística significativa entre las concentraciones obtenidas del día cero y los del día 18 como se presenta en el Cuadro.6.2.2.

Tiempo de almacenamiento en días	Fruto rayado
0	0.163 b
18	0.316 a

Cuadro. 6.2.2. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto rayado respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 18 días.

Tal diferencia puede estar en función del contenido de la vitamina C y del desarrollo de la aparición de color amarillo relacionado directamente con el índice de maduración del día 0 de la evaluación, y la maduración que va incrementándose conforme pasa el tiempo de almacenamiento hasta el día 18.

6.2.3. Determinación de la Capacidad Antioxidante de fruto en estado de maduración amarillo.

La capacidad antioxidante del fruto amarillo almacenado a 8° C se muestra en el cuadro 6.2.3. con respecto al día de almacenamiento

El estudio en la determinación de la capacidad antioxidante del fruto en estado de maduración amarillo, no muestra diferencia estadística significativa entre las concentraciones obtenidas del día cero y las del día 6, como se muestra en el Cuadro 6.2.3.

Lo que puede significar que la concentración obtenida respecto a la CA del fruto esta en función de su madurez principalmente, ya que cuando ha madurado por completo la concentración vitamina C tiende a disminuir y los carotenoides (β -caroteno) se encuentran en mayor concentración presentes en el fruto amarillo, lo que demuestra que la CA no disminuye conforme avanza el tiempo de almacenamiento del fruto, sino que se mantienen constante a diferencia de la vitamina C.

Tiempo de almacenamiento	Fruto Amarillo
0	0.130 a
6	0.131 a

Cuadro. 6.2.3. Comportamiento de capacidad antioxidante en fruto amarillo respecto a su tiempo de almacenamiento 0 y 6 días.

6.2.4. Análisis de Capacidad Antioxidante en los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento

La capacidad antioxidante de los tres diferentes de estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento se muestra en el (Fig.6.2.4.)

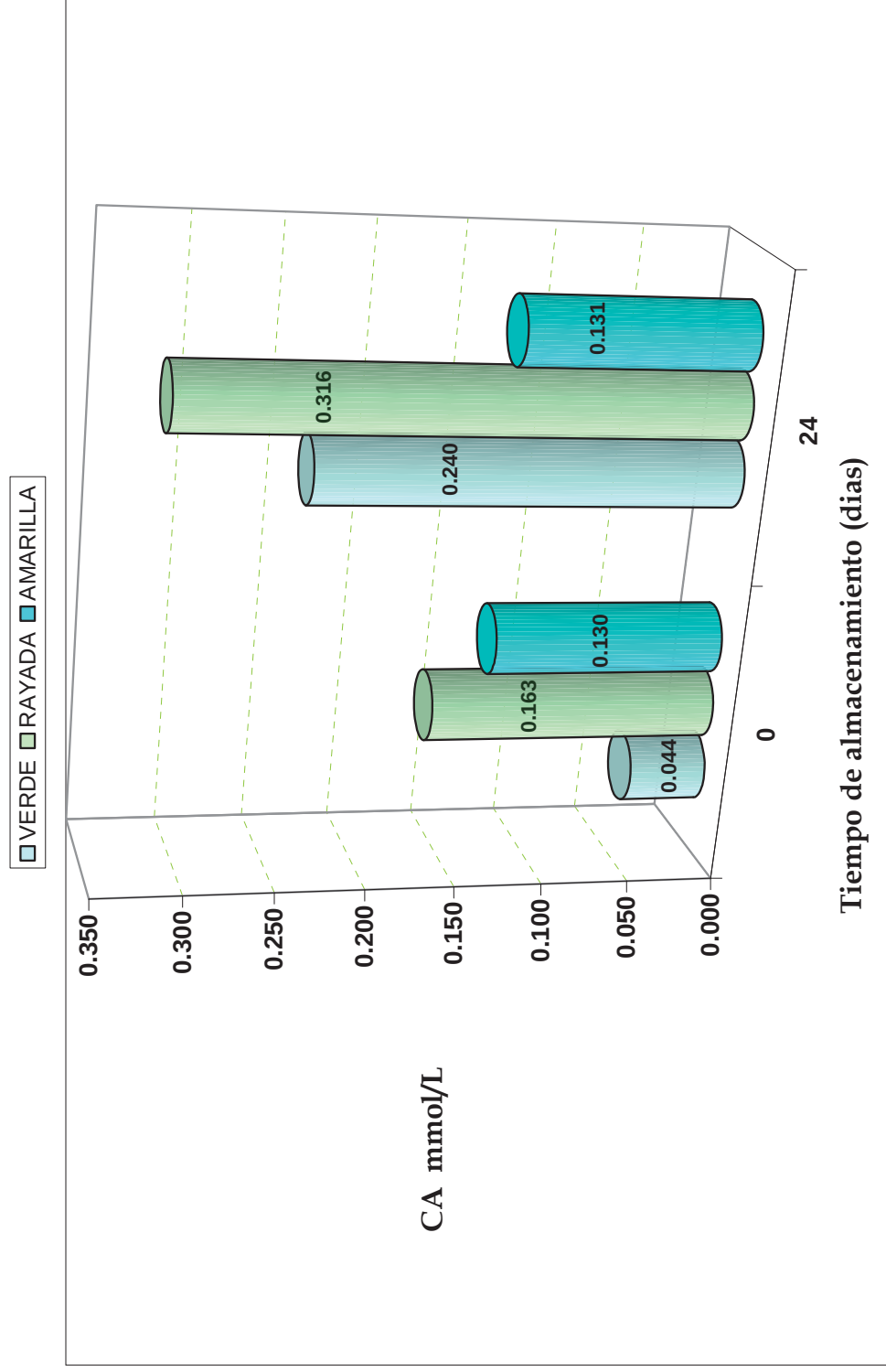


Fig. 6.2.4. Capacidad Antioxidante de los tres diferentes estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento correspondiente.

6.2.4.1. Análisis de Capacidad antioxidante en los tres estados de maduración para día el cero de almacenamiento.

La capacidad antioxidante de los frutos evaluada el día cero no presenta diferencia estadística entre los tres diferentes estados de maduración, no es lo esperado ya que de acuerdo a los resultados obtenidos por (Silva, 2004) muestran que conforme el fruto madura aumenta la concentración de vitamina C, lo cual puede diferir posiblemente a la variabilidad del fruto y al día de la compra (Cuadro 6.2.4 A), ya que era de suponerse un resultado con diferencia estadística significativa; debido a que al día cero es visiblemente diferente la coloración entre los frutos, relacionándolo con la capacidad antioxidante que se debe también al contenido de vitamina C principalmente, y a los carotenoides (β -caroteno).

Sin embargo existe una diferencia numérica muy visible entre los tres estados de maduración para el día 0 de almacenamiento, que muestran la mayor concentración para el fruto rayado, presentando similitud con el fruto amarillo y una gran diferencia del fruto verde con los dos anteriores.

Estado de maduración	A mmol/L	Tiempo de almacenamiento en días	B mmol/L
verde	0.044 a	0-24	0.240 a b
rayada	0.167 a	0-18	0.316 a
amarilla	0.130 a	0-6	0.131 b

Cuadro. 6.2.4. Comportamiento de capacidad antioxidante de los tres estados de maduración con respecto al tiempo de almacenamiento

6.2.4.2. Análisis de Capacidad antioxidante en los tres estados de maduración para el día final de almacenamiento

La capacidad antioxidante de los tres estados de maduración para el día final de almacenamiento presenta diferencia estadística significativa entre los estados de maduración amarilla y rayada, y el fruto verde no muestra diferencia significativa con ninguno de los dos estados de maduración anteriores.

Los resultados presentes en el (Cuadro 6.2.4. B), muestran al fruto rayado con la concentración más alta numéricamente, esta puede deberse a que el fruto se encontraba en una madurez óptima, donde ha desarrollado todos los atributos necesarios para proporcionar la CA al fruto. Posteriormente se encuentra el fruto verde con un valor inferior al del fruto rayado, que posiblemente puede deberse a que todavía no desarrollaba por completo los factores que predisponen la CA en su totalidad. Por último, el fruto amarillo presenta el valor mas bajo al de los dos anteriores, que puede significar una disminución en la CA del fruto en éste estado de maduración, ya que se encuentra cercano al proceso de senescencia.

Lo más recomendable es comer las frutas y verduras frescas puesto la acción del calor destruye a la vitamina C. También hay que mencionar que la vitamina C en contacto con el aire se oxida y pierde su actividad. La otra forma de destrucción de la vitamina C, es al tener contacto con alcohol etílico.

El déficit de vitamina C produce Escorbuto, que se caracteriza por hinchamientos, hemorragias en las encías y caída de los dientes.

Algunos otros efectos atribuidos a esta vitamina son: mejor cicatrización de heridas, alivio de encías sangrantes, reducción de alergias, prevención del resfriado común, y en general fortalecimiento del organismo. (Klern, 1991)

6.3. Análisis de Color y Capacidad Antioxidante para el Tiempo Intermedio de Almacenamiento.

Los resultados obtenidos respecto al tiempo de almacenamiento intermedio de los tres estados de maduración, para la variable de Color se localizan en el Anexo 1, para la variable de Capacidad Antioxidante se indican en el Anexo 2.

VII. CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos en la variable del Índice de color con respecto al tiempo de almacenamiento en el estado de maduración rayado, son óptimos para mantener el color verde del fruto por mayor tiempo de almacenamiento, por consecuencia una mayor calidad del mismo.
- El estado de maduración con mayor capacidad antioxidante del fruto de guayaba, corresponde al fruto en estado de maduración rayado, debido a que fué el de concentración mayor.
- El fruto en estado de maduración amarillo presentó un comportamiento constante tanto en el Índice de color como en la Capacidad antioxidante.
- Con respecto al color, se observó una correlación directa con la Capacidad Antioxidante, ya que esta se ve aumentada en los tres estados de maduración conforme madura y se obtiene una coloración amarilla.

VIII. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

- Se sugiere ampliar los estudios de los compuestos de carácter antioxidante que participan conjuntamente con la vitamina C y Carotenoides.
- Se deben ampliar los análisis en la CA del fruto de guayaba, a Temperatura ambiente para observar el comportamiento de esta y corroborar si el almacenamiento no influye en una disminución de la CA.
- Se recomienda realizar una evaluación posterior al tiempo de almacenamiento evaluado en este trabajo, para comprobar si existe una disminución en la CA de los tres estados de maduración, aunque la calidad comercial del fruto no sea aceptable.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Acevedo Montiel Belén, Mabel Avanza, Jorge. Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina. <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/08=Exactas/E-013.pdf>.
2. Armstrong, J. W. y Covey, H. M., 1989. Fumigation, heat and cold. En: Robinson, A. S. Y Hooper, Editorial Word Crop Pests. Vol. 3B, Fruit flies, Their Biology, Natural Enemies and control. Elsevier, Rotterdam. Pág. 424-441.
3. Benito-Buatista, P., S. Mercado y M. A. García. 1996. Estudios poscosecha realizados en el fruto de Guayaba. Reporte Técnico. Univ. Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México.
4. Barkai-Golan, R. and Phillips, D. J. 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruit and vegetables for decay control. Plant. Capítulo 75. Pág. 1085-1089.
5. Cameron Fox, 1999. Ciencia de los Alimentos Nutrición y Salud, Edit. LIMUSA, México, Pág. 72-73, 424-425, 384-385
6. Carbó y Colomer Mercedes, 1994, Enciclopedia Práctica para la Mujer de Hoy, Alimentación y Dietética, Tomo V. Edit. HYMSA, Barcelona España, 3ª Edición, Pág. 6,12-17.
7. Castelán Estrada Mepivoseth y Col. Fisiología de la producción forzada en guayaba. II. Nutrientes y respuesta floral, SCIELO, Caracas, dic. 2004.<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442004001200005&script=sci-arttext...>
8. Chaplin G. R., Wills R. B. Y Graham P., 1982. Objective measurements of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. Hort Science. Capítulo 17. Pág. 238-239.
9. Chaves Montiel Guadalupe, 2000. Capacidad Antioxidante de pimientos morrones. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. <http://www.unne.edu.ar/cyt/2000/8-exactas/e-pdf/e-049.pdf>

10. Cisneros Valdez O. E., 2004. "Efecto de la temperatura sobre la calidad física de frutos de Guayaba en tres estados de maduración." Tesis. Licenciatura UMSNH, Morelia, Mich. México. Pág. 19-20
11. Córdoba Víctor, La capacidad antioxidante de las manzanas es muy elevada y reside en piel. EL MUNDO-Suplemento de salud 393. <http://www.el-mundo.es/salud/2000/393/961654484.html>
12. Core Jim, USDA, Servicio de Investigación Agrícola. En chocolate, más cacao significa una capacidad antioxidante más alta. 4 de Abril 2005. <http://www.ars.usda.gov/is/espanol/pr/2005/050404.2.es.htm?pf=1>
13. Couey H. M., 1989. Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. Hortscience. Capítulo 24. Pág. 198-202
14. Damianich Andrea Laura y col. Asociación Argentina de Químicos Cosméticos. Obtención de polifenoles de Sustancias de Origen Natural: Extracción, Características y Utilización en Formulaciones Cosmética. <http://www.aaqc.org.ar/cyt-polif.htm>
15. Del Castillo Trulin Manuel, Riveroll Armenta Víctor G. 1991. Memorias del seminario Internacional del Aguacate. Postcosecha y comercialización, del 1º al 4 de Agosto de 1990. Uruapan, Mich. FIRA, México.
16. Dziedzic Z. Stanley 1985. Polyhydroxydihydrochalcones as Antioxidants for Lard. Journal of Agricultural and food Chemistry, Published by the American Chemical Society, JAFCAU, January/February, Vol. 33. No. 1. Pág.244-246
17. En búsqueda de los Compuestos Polifenólicos Responsables de la Capacidad Antioxidante del Vino. Vol. 5 No.2 Octubre, 2001 <http://www.bio.puc.cl/vinsalud/boletin/52busca.htm>
18. Escalona Oro Manuel. Estrés Oxidativo y Nutrición Laboratorio. <http://www.labnutricion.cl/estres.htm>
19. García Rafael, 1998, "Cambios relacionados con el daño por frío en los ácidos grasos del Fosfatidilglicerol y Fosfatidilcolina de la membrana Plasmática y en los niveles de Antioxidantes naturales de Jícama (Pach y rhizus Erosus)." Tesis de Doctorado en Ciencia de los Alimentos. Facultad de Química Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro. México. Pág.

20. Geerd Hamer Ryke, Un Potente Antivirico, Esperanza para millones de enfermos. Discovery Dsalud. <http://www.dsalud.com/numero57-2htm>
21. Hanson J. B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. *Advances in plant Nutrition*. Capítulo. 1. Pág. 149-208.
22. Harris, Karmas, 1977. *NUTRITIONAL EVALUATION OF FOOD PROCESSING*, second edition, USA.
23. Hepler P. K. and R. O. Wayne. 1985. Calcium and plant development. *Annual Review of Plant physiology*. Capítulo 36. Pág. 397-439.
24. Hernández Sánchez Humberto, 2003. Antioxidantes en Alimentos, *Revista Salud Pública y Nutrición, RESPYN*, Vol.4. No. 4 Octubre-Diciembre. Depto. Graduados e Investigación en Alimentos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. <http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/iv/4/invitado/>
25. Idstein Heinz and Schreir Peter, 1985. Volatile Constituents Guava (*Psidium guajava*, L) Fruit. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, Published by the American Chemical Society, JAFCAU, January/February, Vol. 33. No. 1. Pág. 138-143
26. Jiménez C.; Curruquella M.; Martinez J.; 1981. Determination of color index for Citrus fruit degreening. *Proc. Int. Soc. Citricultura* Capítulo 2. Pág. 750-753.
27. Kader, J. C. 1993. Lipid transport in plants. En *Lipid metabolism in plants*. T. S. Moore Jr. (Eds.). CRC Press, Inc., Boca Raton Florida. Pp. 309-338.
28. Kays. S. J. 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. *Editorial Avi*. Pág. 339, 457-462, 505.
29. Kinzel, H. 1989. Calcium in the vacuoles and cell walls of plants tissue. *Flora*. Capítulo 182. Pág. 99-125.
30. Kirby, E. A. and D.J. Pilbeam. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant, cell and Environment*. Capítulo 7. Pág. 397-405.
31. Klern, J. D. and Laurie, S. 1991. Postharvest heat treatment and fruit quality. *Postharv. News. Info*. Capítulo 2. Pág. 15-19.
32. López Lagunas E., 2004. Efecto del choque térmico sobre el contenido de ácidos grasos y la calidad microbiológica del aguacate cv. 'Hass'. UMSNH. Esc. De Químico Farmacobiología.

33. Lurie S. 1998a. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol & Technol.* Capítulo 14. Pág. 257-269.
34. Lurie S. 1998b. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Reviews.* Capítulo 22. Pág. 91-121.
35. Malo S. E. y Campbell C.W. La Guayaba, University of Florida Ifas Extensión, Miami-Dade Country. 1992.
36. Manual del Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos en Colombia. Codex Alimentarius, Normas de Calidad Guayaba, Septiembre, 1985, [http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Frutas/Guayaba/Calidad01,htm](http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Frutas/Guayaba/Calidad01.htm)
37. Mata Beltrán Inocente, Rodríguez Mendoza Antonio, 2000. Cultivo y producción del guayabo, Edit. TRILLAS, México.
38. Mercado mundial de la guayaba 1996.
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/Cadenas/guayaba/mercint.pdf>
39. Meyer R. Marco, Paltrinieri Gaetano, 2002. Elaboración de frutas y hortalizas, Edit. TRILLAS, México.
40. Montaña P. María y col. Dihidroflavonoides sintéticos con capacidad antioxidante. Educar El portal educativo del Estado argentino. <http://www.educ.ar/educar/superior/biblioteca/1122233340-digital/verdocbiblio.jsp?url=S-BD-SECC...>
41. Navarrete O. A. E, 2003. Efecto del choque térmico sobre la calidad. La inhibición del daño por frío y evolución en almacenamiento del aguacate cv. 'Hass'. UMSNH. Esc. De Químico Farmacobiología.
42. Ortemberg Adriana, 2000. Antioxidantes para rejuvenecer, Océano Grupo editorial, S.A, España,
43. Paull R. E. and Chen N. J. 1990. Heat shock response in field grown ripening papaya fruit. *L. Amer. Soc. Hort. Sci.* Capítulo 115. Pág. 1112-1115.
44. Paull R. E. and Chen N. J. 1990. Heat shock response in field grown ripening papaya fruit. *L. Amer. Soc. Hort. Sci.* Capítulo 115. Pág. 1112-1115.
45. Paull, R. E. 1994. Response of tropical horticultural commodities to insect disinfestation treatments. *Hortscience.* Capítulo 29. Pág. 988-996.
46. Potter N. Norman, 1978. La Ciencia de los Alimentos, Edit. HARLA, México, Pág. 55-62, 151-154, 331-340

47. Regalado Contreras Laura, 1999, "Papel de la enzima fosfatidato-fosfatasa y los niveles de antioxidantes naturales presentes en el fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) durante la generación de daños por frío en frutos pretratados hidrotermicamente" Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Química Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro. México. Pág.
48. Reyes Carmona, J., 2002. "Capacidad Antioxidante de algunos vegetales crudos y cocidos." Tesis. Licenciatura Esc. QFB. UMSNH, Morelia, Mich. México. Pág.
49. Reyes Carmona, J., 2005." Capacidad Antioxidante de extractos acuosos de frutos de zarzamora (*Rubís spp.*) cultivada en diferentes regiones climáticas". Tesis de maestría en Ciencia Tecnología de los Alimentos. Facultad de Química Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro. México. Pág.
50. Ruzo O. Luis and Casida E.Jhon, 1985. Photochemistry of Thiocarbamate Herbicides: Oxidative and Free Radical Processes of Thiobencarb and Diallylate. Journal of Agricultural and food Chemistry, Published by the American Chemical Society, JAFCAU, March/April, Vol. 3 No. 2 Pag. 272-276
51. SAGARPA, Información del cultivo, periodo de cosecha, volumen de cosecha, Delegación en el Estado de Michoacán, Secretaria Técnica, 2005 y 2004.
52. Senado de la Republica, 2003.
http://www.senado.gob.mx/gaceta.php?&lg=59&lk=28/10_proposiciones/gallegos_guayaba.htm
53. SIACON <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar-comcadagrall.html>
54. SIAP/2003. Ac. asc. en frutos de guayaba
. www.inha.sidcu/documentos/antioxidante.fff
55. Trevans M.D., Boffey, Epulding K.H., Stanbury P. 1990. Biotecnología principios biológicos, Edit. Acribia, S.A., Zaragoza, España, Pág. 258-259, 240-241
56. Trewavas, A. J. 1986. Molecular and cellular aspects of calcium in Plant Development Plenum, New York.

57. Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annual Review of plant physiology and Plant Molecular Biology. Capitulo 42. Pág. 579-620.
58. Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annual Review of plant physiology and Plant Molecular Biology. Capitulo 42. Pág. 579-620.
59. Villeda Esquivel Oscar, 2005. La producción de guayaba deja una derrama por 800 mdp
<http://www.lajornadamichoacan.com.mx/2005/02/06/06n1fin.html>
60. Viviant Viviana, La dieta Antioxidante: El elixir de juventud (parte II), Nutrar, El portal de la alimentación.
<http://www.nutrar.com/detalle.asp?ID=7737>
61. Younson Robert, 2004. Antioxidantes y Radicales libres, Edit. EDAF, S.A., Madrid España.
62. Zoffoli Juan P., 2002. Una novedosa alternativa para prolongar la conservación de frutas. II Seminario El Árbol Urbano.
63. http://canales.laverdad.es/cienciaysalud/5_3_2.html
64. http://chat.terra.com.ve/especiales/medicina_natural/guayaba.htm
65. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fruta>
66. <http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/guayaba/intro.php>
67. <http://huitoto.udea.edu.co/FrutasTropicales/guayaba.html>
68. <http://huitoto.udea.edu.co/FrutasTropicales/guayabacomer.html>
69. <http://www.arecetas.com/alimentos-origen/>
70. <http://www.bioline.org.br/request?cg03005>
71. <http://www.blackwell-synergy.com/action/.showJournals?type=ooopen=N6N2>
72. http://www.florida.co.cr/estudio_antioxidantes.htm
73. <http://www.geocities.com/guayabamanzana/propiedades.htm>
74. <http://www.institutobiologico.com/seminarios/radicales%20libres.htm>
75. <http://www.monografias.com>
76. http://www.podernatural.com/Plantas_%20Medicinales/Plantas_G/p_guayaba.htm
77. <http://www.saludparati.com/radicaleslibres.htm>
78. http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/psidium_guajava.htm

79. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/aguascalientes/agricultura/acercade/introduccion.html>
80. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/aguascalientes/agricultura/informacion.html>

Anexo 1

Los resultados obtenidos para el Índice de color respecto al tiempo de almacenamiento intermedio de los tres estados de maduración se muestran en el cuadro 1.1, en el cual se observan los valores obtenidos al mostrar las medias del IC respecto a las Coordenadas L, a y b, por repetición, los cuales exponen una gran variabilidad numérica con respecto a los valores del día cero y final de la Evaluación, Razón por la cual se decidió suprimir este tiempo de almacenamiento en el análisis.

COLOR			
Repetición	VERDE T´12	RAYADA T´9	AMARILLO T´3
R1	-2.177	-0.034	1.193
R2	-1.595	0.415	1.018
R3	-1.976	0.207	1.355

Cuadro 1.1. Valores obtenidos para el Índice de color de los tres estados de Maduración.

Anexo 2

Los resultados obtenidos para Capacidad Antioxidante respecto al tiempo de almacenamiento intermedio de los tres estados de maduración se muestran en el cuadro 1.2, en el cual se observan los valores obtenidos con una gran variabilidad numérica, comparada con los Tiempos de almacenamiento cero y los del día Final de cada estado de maduración. Por tal diferencia, se decidió descartar este tiempo de almacenamiento en el Análisis.

Capacidad Antioxidante		
EDO DE MADURACIÓN	Repetición	PROMEDIO
verde T´12	R1	-0.242
	R2	-0.023
	R3	-1.331
amarilla T´6	R1	-1.409
	R2	-0.606
	R3	-1.488
rayada T´9	R1	-1.275
	R2	-1.406
	R3	-1.444

Cuadro 1.2. Valores obtenidos para Capacidad Antioxidante de los tres estados de Maduración.