

De acuerdo con la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR
Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 1996
México.

Capítulo II De la Limitación a los Derechos Patrimoniales

Artículo 148.-

Las obras literarias y artísticas ya divulgadas podrán utilizarse, siempre que no se afecte la explotación normal de la obra, sin autorización del titular del derecho patrimonial y sin remuneración, citando invariablemente la fuente y sin alterar la obra, sólo en los siguientes casos:

I. Cita de textos, siempre que la cantidad tomada no pueda considerarse como una reproducción simulada y sustancial del contenido de la obra;

II. Reproducción de artículos, fotografías, ilustraciones y comentarios referentes a acontecimientos de actualidad, publicados por la prensa o difundidos por la radio o la televisión, o cualquier otro medio de difusión, si esto no hubiere sido expresamente prohibido por el titular del derecho;

III. Reproducción de partes de la obra, para la crítica e investigación científica, literaria o artística;

IV. Reproducción por una sola vez, y en un sólo ejemplar, de una obra literaria o artística, para uso personal y privada de quien la hace y sin fines de lucro. Las personas morales no podrán valerse de lo dispuesto en esta fracción salvo que se trate de una institución educativa, de investigación, o que no esté dedicada a actividades mercantiles;

V. Reproducción de una sola copia, por parte de un archivo o biblioteca, por razones de seguridad y preservación, y que se encuentre agotada, descatalogada y en peligro de desaparecer.

Si usted es el autor de la obra y no desea que sea visualizada a través de este medio, favor de notificarlo por escrito a:

Universidad Autónoma de Nayarit. Dirección de Desarrollo Bibliotecario. Edificio de la Biblioteca Magna. Ciudad de la Cultura Amada Nueva s/n. Col. Los Fresnos. CP 63190. Tepic, Nayarit.

O bien va correo electrónico a ddb@uan.edu.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

"CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS JUGOS DE PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE MANGO (*MANGIFERA INDICA L.*) PROVENIENTES DE TRES MUNICIPIOS DE MAYOR PRODUCCIÓN EN EL ESTADO DE NAYARIT"

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

PRESENTA:

IBQ. MARÍA JOSEFINA GRACIANO CRISTÓBAL

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. MARÍA TERESA SUMAYA MARTÍNEZ.

XALISCO, NAYARIT, OCTUBRE DE 2012

DR. JUAN DIEGO GARCIA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO CBAP
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT
P R E S E N T E

Los que suscribimos, integrantes del consejo tutorial de la IBQ, María Josefina Graciano Cistóbal, declaramos que hemos revisado la tesis titulada "Caracterización de la actividad antioxidante de los jugos de pulpa y cáscara de tres variedades de mango (*Mangifera indica* L.) provenientes de tres municipios de mayor producción en el Estado de Nayarit" y determinamos que la tesis puede ser presentada por la alumna para aspirar al grado de Maestro en Ciencias Biológico Agropecuarias con opción terminal en Ciencias Agrícolas.

ATENTAMENTE
EL CONSEJO TUTORIAL



Dra. María Teresa Sumaya Martínez.
Director



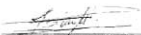
Dra. Leticia Mónica Sánchez Herrera
Asesor



Dr. Rosendo Balbís Morales
Asesor



M. en C. Sergio Jaubert Garibay.
Asesor



Dr. Juan Diego García Paredes
Asesor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
ÁREA DE CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS Y PESQUERA
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/326/12

Xalisco, Nayarit, 03 de octubre de 2012

Inq. Alfredo González Jauregui
Director de Administración Escolar
Presente.

Con base al oficio de fecha 25 de septiembre de 2012, enviado por los CC. **Dra. María Teresa Sumaya Martínez, Dra. Leticia Mónica Sánchez Herrera, Dr. Rosendo Balboa Morales, M.C. Sergio Jauvert Garibay y Dr. J. Diego García Paredes**, donde se nos indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit, se autoriza a la **C. María Josefina Graciano Cristóbal**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado

C c p -Minutario
C c p -Expediente
JGG/inf

DEDICATORIAS

A Jesucristo:

Por su presente amor en mi vida.

A mis Padres, Antonio y Leticia:

Por todo su gran amor y apoyo en todas las decisiones de mi vida.

A mis Hermanos:

Antonio e Isaac.

A la memoria de:

Oscar Graciano Ismaelot.

AGRADECIMIENTOS

Al fondo sectorial CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por el financiamiento otorgado para el proyecto de investigación "Alternativa de valorización del mango en forma de productos funcionales: Caracterización de la actividad antioxidante de los jugos de pulpa y cáscara de tres variedades de mango provenientes de tres municipios de mayor producción en el Estado de Nayarit".

A la Universidad Autónoma de Nayarit por permitirme ser una alumna de su Institución.

A la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Colima por todo su apoyo y atenciones brindadas durante mi estancia en ella.

Un agradecimiento especial al Dr. Jorge Tiburcio Báez del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados CINVESTAV sede México D.F., por su solidaridad en la realización del análisis por espectrometría de masas ESI-TOF.

A mi comité tutorial por sus valiosos conocimientos aportados y consejos en la elaboración de esta tesis.

A todo el personal y compañeros estudiantes del Laboratorio de Análisis de Alimentos por su ayuda y comentarios de aliento durante todo el desarrollo de este trabajo.

A los catedráticos del Postgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias del área de Ciencias Agrícolas, que a través de sus conocimientos forjaron en mí a una mejor estudiante y profesionalista.

Pero sobre todo mi más sincero agradecimiento y admiración a una gran investigadora y docente la Dra. María Teresa Sumaya Martínez por transmitirme su constante entusiasmo, tenacidad, paciencia y pasión por la investigación científica, así como por su confianza en mí para la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xiii
Resumen	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	4
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificación	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Descripción taxonómica y morfológica del mango	6
2.1.1. Características de las variedades Tommy Atkins, Ataulfo y Kent	8
2.2. Condiciones climáticas en el Estado de Nayarit	8
2.2.1. Cultivo y producción de mango en Nayarit	9
2.3. Propiedades nutricionales	9
2.4. Propiedades funcionales	10
2.5. Propiedades antioxidantes	11
2.6. Cromatografía	14
2.7. Espectrometría de masas	16

3 MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 Diagrama de flujo – metodología general.	19
3.2 Recepción de la materia prima	20
3.3 Preparación de la muestra	20
3.4 Técnica de medición de SST ($^{\circ}$ Bx) y pH	21
3.5 Determinación de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)	21
3.6 Determinación de ácido ascórbico	22
3.7 Determinación de manguefitina	22
3.8 Determinación flavonoides totales	23
3.9 Determinación de la actividad quelante	24
3.10 Determinación de la actividad antirradical por el método del DPPH•	24
3.11 Determinación de la actividad antirradical por el método del ABTS••	25
3.12 Determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II)	26
3.13 Identificación de los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en el jugo de mango que presente la mayor actividad	27
3.13.1 Análisis por HPLC-RP (High Performance Liquid Chromatography - Reverse Phase)	27
3.13.2 Análisis por espectrometría de masas ESI-TOF (Electrospray Ionization - Time of Flight) de las fracciones recolectadas por HPLC-RP que presentan mayor actividad antioxidante	28
3.13.3 Caracterización de los compuestos volátiles de la pulpa del jugo de mango con mayor actividad antioxidante por SPME y CG-EM	29
3.13.4 Análisis bromatológico de la pulpa del jugo de mango que presenta la mayor actividad antioxidante	30

3.14. Actividad antioxidante de jugos y néctares comerciales	30
3.15. Análisis estadístico	30
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Determinación de pH	31
4.2. Determinación de °Bx	33
4.3. Determinación de Compuestos Fenólicos Totales	35
4.4. Determinación de Ácido Ascórbico	37
4.5. Determinación de Manguiferina	39
4.6. Determinación de Flavonoides Totales	41
4.7. Determinación de Actividad Quelante	43
4.8. Determinación de la Actividad Antirradical por el método del DPPH•	45
4.9. Determinación de la Actividad Antirradical por el método del ABTS•+	47
4.10. Determinación de la Capacidad Reductora de Fe (III) a Fe (II)	49
4.11. Identificación de los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en el jugo que presenta la mayor actividad	51
4.11.1. Análisis por HPLC-RP (High Performance Liquid Chromatography - Reverse Phase)	51
4.11.2. Análisis por Espectrometría de masas ESI-TOF (Electrospray Ionization -Time of Flight) de las fracciones recolectadas por HPLC-RP que presentan mayor actividad antioxidante	55
4.11.3. Caracterización de los compuestos volátiles de la pulpa del jugo de mango con mayor actividad antioxidante por SPME y CG-EM	59
4.11.4. Análisis bromatológico de la pulpa del jugo de mango que presenta la mayor actividad antioxidante	60

4.12. Actividad antioxidante de jugos y néctares comerciales.....	62
5. CONCLUSIONES.....	65
6. RECOMENDACIONES.....	66
7. LITERATURA CITADA.....	67
8. ANEXOS.....	78
Anexo 1.....	78
Anexo 2.....	79
Anexo 3.....	82
Anexo 4.....	85
Anexo 5.....	89
Anexo 6.....	90
Anexo 7.....	100
Anexo 8.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Pagina

Figura 1. Flor de <i>Mangifera indica</i> L	7
Figura 2. Fruto de <i>Mangifera indica</i> L	7
Figura 3. Cromatógrafo de gases – espectrómetro de masas	17
Figura 4. Apareamiento del radical libre DPPH•	25
Figura 5. Determinación de pH de los jugos	31
Figura 6. Determinación de SST ("Bx) de los jugos	33
Figura 7. Concentración de Compuestos Fenólicos Totales (CFT) de los jugos	35
Figura 8. Concentración de ácido ascórbico de los jugos	37
Figura 9. Concentración de manguiferina de los jugos	39
Figura 10. Concentración de flavonoides totales de los jugos	41
Figura 11. Concentración de la actividad quelante de los jugos	43
Figura 12. Concentración de la actividad antirradical (DPPH*) de los jugos	45
Figura 13. Concentración de la actividad antirradical (ABTS•+) de los jugos	47
Figura 14. Concentración de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) de los jugos	49
Figura 15. Cromatograma – jugo Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic	51
Figura 16. Cromatograma – jugo Ataulfo con cáscara Tepic – ácido gálico	52
Figura 17. Cromatograma – jugo Ataulfo con cáscara Tepic – ácido ascórbico	52
Figura 18. Determinación de la actividad antirradical (DPPH*) en fracciones	53
Figura 19. Concentración de Compuestos Fenólicos Totales (CFT) en fracciones	53

Figura 20 Concentración de ácido ascórbico en fracciones	54
Figura 21 Espectro de masas de $C_8H_7O_7$	55
Figura 22. Espectro de masas de $(C_8H_7O_7) Na$	56
Figura 23 Espectro de masas de $C_8H_5O_7$	57
Figura 24. Espectro de masas de $C_{10}H_{10}O_7$	57
Figura 25. Espectro de masas de $C_7H_4O_2$	58
Figura 26 Determinación de CFT de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.....	62
Figura 27. Determinación de la actividad antioxidante por el método (DPPH•) de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.....	63
Figura 28 Determinación de la actividad quelante de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.....	63
Figura 29 Curva estándar de ácido gálico para la determinación de CFT	82
Figura 30. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de ácido ascórbico	82
Figura 31. Curva estándar de manguiferina para la determinación de manguiferina.....	83
Figura 32. Curva estándar de quercetina para la determinación de flavonoides totales.....	83
Figura 33. Curva estándar de EDTA para la determinación de actividad quelante	84
Figura 34. Curva estándar de trolox para la determinación de actividad antirradical (DPPH*).....	84
Figura 35. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical (ABTS•+).....	85
Figura 36. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II).....	85
Figura 37. Cromatograma de ácido gálico.....	86

Figura 38. Cromatograma de ácido ascórbico.....	86
Figura 39. Cromatograma de ácido cinámico.....	87
Figura 40. Cromatograma de ácido cafeico.....	87
Figura 41. Cromatograma de manguiferina.....	88
Figura 42. Cromatograma de quercetina.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Programa gradiente utilizado en el cromatógrafo de líquidos (HPLC-RP)	27
Tabla 2. Abreviaturas de los tratamientos de las variedades de mango estudiadas	31
Tabla 3. Análisis bromatológico de la pulpa más la cáscara de la variedad Ataulfo del municipio de Tepic	60
Tabla 4. Análisis bromatológico de la pulpa de cuatro variedades de mango	60
Tabla 5. Factores de dilución utilizados en la determinación de CFT	79
Tabla 6. Factores de dilución utilizados en la determinación de ácido ascórbico para los municipios de San Blas y Santiago	79
Tabla 7. Factores de dilución utilizados en la determinación de ácido ascórbico para el municipio de Tepic	80
Tabla 8. Factores de dilución utilizados en la determinación de actividad antirradical por el método DPPH•	80
Tabla 9. Factores de dilución utilizados en la determinación de actividad antirradical por el método ABTS•+	81
Tabla 10. Factores de dilución utilizados en la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II)	81
Tabla 11. Diluciones utilizadas en los jugos comerciales y en el jugo con la mayor actividad antioxidante	89
Tabla 12. Diluciones utilizadas en los néctares comerciales	89
Tabla 13. Media del potencial de hidrogeno (pH) de las variedades de jugo de mango	90
Tabla 14. Media de °Bx de las variedades de jugo de mango	91
Tabla 15. Media de CFT de las variedades de jugos de mango	92
Tabla 16. Media de ácido ascórbico de las variedades de jugo de mango	93

Tabla 17. Media de mangiferina de las variedades de jugos de mango...	94
Tabla 18. Media de flavonoides totales de las variedades de jugo de mango	95
Tabla 19. Media de la actividad quelante de las variedades de jugo de mango...	96
Tabla 20. Media de la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) de las variedades de jugo de mango	97
Tabla 21. Media de la actividad antirradical por el método ABTS•• de las variedades de jugo de mango	98
Tabla 22. Media de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) (FRAP) de las variedades de jugo de mango	99
Tabla 23. Correlaciones entre los compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante.....	100
Tabla 24. Principales compuestos volátiles encontrados en la pulpa de mango de la variedad Ataúlfo con cáscara del municipio de Tepic	101

Resumen

La pulpa y cáscara de mango son una fuente muy importante de compuestos bioactivos, que han demostrado tener propiedades antioxidantes, en particular polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico, entre otros. Los principales polifenoles presentes en el mango en términos de capacidad antioxidante y cantidad son: ácido gálico, elágico, manguiferina, quercetina, propil y metil galato, ácido protocatéuico, kaempferol, rhamnetin, antocianinas y catequinas. Por lo tanto, el jugo de mango con actividad antioxidante puede considerarse un alimento funcional de alto valor agregado.

En el presente trabajo se analizaron tres variedades de mango provenientes de tres municipios del Estado de Nayarit, evaluando la actividad antioxidante (actividad quelante, DPPH•, ABTS••, FRAP) y la concentración de compuestos antioxidantes o bioactivos (compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico, manguiferina, flavonoides totales) de los jugos de pulpa y cáscara de mango. Los resultados mostraron que el jugo de mango de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentó la mayor actividad antioxidante y que esta actividad depende de la concentración de compuestos fenólicos totales y de ácido ascórbico, así mismo a dicho jugo se le realizó una caracterización por métodos instrumentales finos, encontrándose la presencia de los compuestos: ácido dihidroascórbico protonado, ácido dihidroascórbico con sodio, ácido cinámico, quercetina y ácido benzoico, principalmente.

Palabras claves: mangos, compuestos bioactivos, actividad antioxidante, métodos instrumentales finos

1. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos de mayor importancia a nivel mundial, ya que ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas. Es originario del noroeste de la India, de la región Indo Birmanica y las montañas de Chittagong en Bangladesh, donde aún se le encuentra en estado silvestre. Se ha cultivado por más de 4,000 años en la India de donde se dispersó a otras áreas tropicales y subtropicales del mundo (Chávez-Contreras et al., 2001).

El árbol de *Mangifera indica* L., es de alturas superiores a los 25 metros, teniendo como característica que es muy longevo. Es una planta que crece en bajas altitudes, tolerando un amplio rango de lluvia, a pesar de necesitar clima seco durante el desarrollo y formación del fruto (Plan Rector Mango- Nayarit, 2010).

El fruto de mango es succulento, carnoso de forma oval (5 a 15 cm de longitud), de color verdoso, amarillento ó rojizo muy dulce y sabroso; encierra un hueso o cavazo grande aplanado (SIAP, 2010).

El mundo occidental se relacionó con el mango a principios del siglo XVI. Los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales del Continente Americano, por medio del tráfico entre las Filipinas y la costa oeste de México. Los viveristas particulares introdujeron en 1950 germoplasmas de algunas variedades de mango obtenidos en Florida EE.UU, los cuales se distribuyeron en los estados del Pacífico Centro y Norte y después por la región tropical de México. Estas variedades fueron: Haden, Tommy Atkins, Kent, Keitt, Irwin y Zill (Chávez-Contreras et al., 2001).

Entre las principales variedades de mango se encuentran: Amelie, Kent, Ataulfo, Tommy Atkins, Alphoso, Bangapalli, Bombai, Carabao, Manila, Mulgoa, Irving, Keitt, Sensation, Van Dyke, entre otras (Plan Rector Mango- Nayarit, 2010).

México es el quinto productor de mango a nivel mundial con 183,108 ha cosechadas, con una producción de 1, 632,694 ton y un rendimiento de 9.33 ton/ha, después de la India, China, Tailandia e Indonesia, y es el principal exportador de fruto fresco (Plan Rector Mango- Jalisco, 2011; SIAP, 2010; SAGARPA, 2008). La región costera del Pacífico Mexicano (de Chiapas a Sinaloa), cubre 70% de la superficie y produce el 75.7% del volumen nacional de mango (Vázquez y Pérez, 2006).

El Estado de Nayarit ubicado en la región Pacífico-Centro de México, históricamente se ha distinguido por ser uno de los más importantes en la producción y exportación

de mango con más de 42,000 toneladas anuales (Vázquez y Pérez, 2006). En Nayarit el mango es el frutal más importante con una superficie superior a las 22,000 ha, con un rendimiento de 12.85 ton/ha y una producción anual de más de 290, 000 ton (SIAP, 2010).

Nayarit cuenta con 20 municipios de los cuales 16 producen este fruto, solamente en siete de ellos se concentra 98% de la producción del Estado (San Blas, Compostela, Bahía de Banderas, Tepic, Tecuala, Acaponeta y Santiago Ixcuintla), siendo el más importante el municipio de San Blas (32% de la producción anual del Estado), le siguen el municipio de Tepic (11%) y Santiago Ixcuintla (9%), (SIAP, 2009)

Las principales variedades de mango cultivadas en el Estado de Nayarit son: Ataulfo (37%), Tommy Atkins (27%), Kent (11%), Haden (9%), Manila (9%), Keitt (6%), y Criollos (1%) (SIAP, 2009).

El mango se consume tanto como fruta fresca o jugos, helados, dulces, mermeladas, conservas, etc.; industrialmente se procesa en pulpa, encurtidos y productos congelados (SIAP, 2010).

Una forma de elevar su valor comercial es el dar a conocer sus propiedades funcionales, en especial su actividad antioxidante lo cual le daría una ventaja competitiva con respecto a las frutas de mayor consumo

Existe evidencia científica de que los compuestos antioxidantes de frutas y hortalizas (principalmente de naturaleza fenólica) pueden prevenir el daño oxidativo celular, con lo cual se reduce el riesgo de padecer varias patologías degenerativas como cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, entre otras (Alvidrez-Morales *et al.*, 2002, Lee *et al.*, 2002, Stintzing *et al.*, 2001)

Los polifenoles se caracterizan principalmente por poseer propiedades antioxidantes que les permiten dar protección a las células contra daños causados por el estrés oxidativo, generado por los radicales libres, que conduce a la oxidación de proteínas, lípidos, carbohidratos y ADN. Los radicales libres se producen de manera endógena como consecuencia del metabolismo celular, y de manera exógena por factores ambientales. Por esta razón es fundamental para un organismo mantener un equilibrio estable y la manera más accesible de mantener este equilibrio, está a través del consumo exógeno de alimentos ricos en antioxidantes, lo que permite neutralizar algún posible desequilibrio que pueda desencadenar los procesos indeseables de oxidación en la célula (Velázquez *et al.*, 2004).

Los alimentos funcionales son una forma mediante la cual la industria intenta extender los beneficios de los alimentos naturales, nutritivos y con ventajas para la salud (Sumaya-Martinez *et al*, 2012; Ajila *et al*, 2007; Kuskoski *et al*, 2005.). De ahí la oportunidad para Nayarit en la valorización del cultivo de mango, lo que le permitirá el desarrollo y procesamiento de nuevos productos funcionales de este fruto con alto valor agregado.

1.1. HIPÓTESIS

La actividad antioxidante del jugo de pulpa y cáscara de mango depende de la variedad, lugar de cultivo y de la presencia de cáscara.

1.2. OBJETIVOS

❖ 1.2.1. Objetivo general

*Caracterizar la actividad antioxidante del jugo de pulpa y cáscara de tres variedades de mango (Ataulfo, Tommy Atkins y Kent) provenientes de tres municipios del Estado de Nayarit.

❖ 1.2.2. Objetivos específicos

*Determinar Sólidos Solubles Totales (SST) (*Bx), pH, concentración de compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico, manguiferina, y flavonoides en los jugos.

*Determinar la actividad antioxidante en los jugos por medio de cuatro metodologías:

- a) Atrapamiento del radical libre (DPPH•).
- b) Atrapamiento del catión ABTS•+.
- c) Reducción de moléculas de Fe (III) a Fe (II) (FRAP).
- d) Actividad quelante.

*Determinar la correlación entre compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico, manguiferina, flavonoides y la actividad antioxidante en los diferentes jugos de mango.

* Identificar los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en el jugo que presenta la mayor actividad.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el Estado de Nayarit el mango es un producto de alto consumo en fresco ó procesado, casi siempre de manera artesanal, por lo que tiene un bajo valor agregado en el mercado. Una de las desventajas que más afectan a los productores es la estacionalidad de cosecha (mayo – julio) del mango, la cual sale a la venta en época de mayor producción, lo que implica que su precio en el mercado sea de bajo costo.

Se ha reportado que la pulpa y cáscara de mango presentan una concentración significativa de compuestos bioactivos (ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico, compuestos fenólicos, carotenoides, ácidos fenólicos, terpenoides, fibra, minerales) con una alta actividad antioxidante. Validar la presencia de dichos compuestos, ayudara a elevar la demanda y por lo tanto el valor comercial de las diferentes variedades de mango (Ataulfo, Tommy Atkins, y Kent) que se produce en el Estado de Nayarit.

De esta forma el jugo de mango, con base en la determinación de sus propiedades antioxidantes, podría ser considerado como un alimento funcional de alto valor agregado. Esta caracterización química dotaría a este producto de ventajas competitivas en el mercado de los jugos de frutas, lo cual incrementaría las oportunidades de desarrollo económico de los productores de mango.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción taxonómica y morfológica del mango

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia *Anacardiaceae*. Esta familia incluye 14 géneros, en su mayoría árboles o arbustos que como característica contiene una savia lechosa, amarga y en algunos casos puede ser venenosa (Chávez-Contreras *et al.*, 2001). *Mangifera indica* L., es el género más importante de los *Anacardiaceae* o familia del marañón. El género *Mangifera* comprende 62 especies arbóreas pero solo 15 de ellas producen frutos comestibles (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

Morfología del árbol de mango:

Las raíces del árbol de mango alcanzan una profundidad de 6 metros, aunque la mayoría de las raíces absorbentes se encuentran en los primeros 50 cm. En sentido horizontal se detectan hasta los 8 metros del tronco del árbol (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

Las hojas son simples, alternas, con un peciolo de 1.5 a 12 cm hinchado en la base. La filotaxia es de 3/8 pero en las partes terminales están muy juntas y parecen estar en verticilos. La longitud varía de 12.5 a 37.5 cm y la anchura de 2.5 a 12.5 cm (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

La inflorescencia es una panícula que varía de angosta hasta cónica y puede tener hasta 30 cm de largo. Las ramificaciones son terciarias y a veces cuaternarias, en la punta forma una cima (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

Las flores son hermafroditas y masculinas en la misma panícula, predominando las masculinas. La corola tiene 5 pétalos amarillos. El androceo consta de estambres y de estaminoides, en un número total de 5 y solo en una o dos ocasiones son fértiles. El ovario es unicelular, oblicuo y ligeramente comprimido. Los estambres fértiles son más largos que los estaminoides y de casi igual longitud que el pistilo (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

El número total de flores por panícula fluctúa de 1000 a 6000; el amarre de los frutos está determinado por el número de flores hermafroditas y su porcentaje varía desde 1.25 a 77.9% (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).



Figura 1. Inflorescencia de mango.

El fruto es una drupa carnosa comprimida; varía en tamaño, forma, color, presencia de fibra y sabor, el mesocarpio constituye la parte comestible (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).



Figura 2. Fruto de *Mangifera indica* L. (SIAP 2010)

La semilla es ovoide y alargada, se encuentra dentro del endocarpio y hueso, pudiéndose extender hasta el mesocarpio (Chávez-Contreras *et al.*, 2001).

2.1.1. Características de las variedades Tommy Atkins, Ataulfo y Kent

Los árboles de la variedad Tommy Atkins son vigorosos y producen alrededor de 150 a 265 kg de fruta por árbol. Su época de producción es a principios de mayo y a mediados de julio. El fruto es de excelente calidad predominando el color rojo, y es de forma redonda y tamaño medio, con peso de 300 a 470 gramos. La pulpa es

jugosa con poco contenido de fibra (Paquetes tecnológicos para cultivos agrícolas en el Estado de Colima, 2005).

Los árboles de la variedad Ataulfo son semi-vigorosos, bastantes productivos y poco alternantes. Su época de producción ocurre de mayo a julio, el fruto es de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio de 200 a 370 gramos. Tiene amplia aceptación en el mercado nacional y de exportación (Paquetes tecnológicos para cultivos agrícolas en el Estado de Colima, 2005).

Los árboles de la variedad Kent o también llamado "petacón", presentan un crecimiento vertical vigoroso. Su rendimiento promedio es entre 100 y 300 kg/árbol. Son de producción tardía al cosecharse a mediados de julio y a principios de septiembre. El fruto tiene un peso entre 500 a 825 g. El fruto es de color verde amarillento con ligero chapeo rojo, llegando a ser rojizo, siempre y cuando tenga una mayor exposición a la luz del sol (Paquetes tecnológicos para cultivos agrícolas en el Estado de Colima, 2005).

2.2. Condiciones climáticas en el Estado de Nayarit

Las zonas donde se cultiva el mango en el Estado de Nayarit, presentan diferentes características climáticas.

La zona sur del Estado de Nayarit se localiza entre los 20° 50' y 21° 20' de latitud N y 105° 10' a 105° 30' de longitud W, presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 27 °C, una máxima de 34 °C y una mínima de 20 °C. La precipitación pluvial anual es de 1000 a 1200 mm (González *et al.*, 1998b).

La zona centro del Estado de Nayarit se localiza entre los 21° 20' y 21° 50' de latitud N y 104° 49' a 105° 20' de longitud W, y tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 25 °C, con una máxima de 30 °C y una mínima de 16 °C. La precipitación pluvial anual es de 1200 a 1800 mm (González *et al.*, 1998c).

La zona norte del Estado de Nayarit se localiza entre los 22° 05' y 22° 40' de latitud N, y 105° 10' a 105° 40' de longitud W, presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 27 °C, una máxima de 34 °C y una mínima de 20 °C. La precipitación pluvial es de 1200 mm (González *et al.*, 1998a).

La zona centro se caracteriza por la presencia de suelos con pendientes pronunciadas, por lo que el cultivo del mango se encuentra establecido en su mayoría en terrenos cerriles; mientras que en la zona norte y sur la mayoría de las plantaciones se encuentran en valles (terrenos planos), (González *et al.*, 1998 a, b y c).

2.2.1. Cultivo y producción de mango en Nayarit

En el Estado de Nayarit la superficie dedicada al cultivo de mango, año con año, se ha incrementado; en 10 años (1995 a 2005) se obtuvo un aumento de 23% en la superficie dedicada a este frutal; es decir de 17,534 ha en 1995 a 22,500 ha en el 2005 (SAGARPA, 2005).

Existen tres zonas productoras de mango en Nayarit: Acaponeta, Tecuala, Rosamorada, y Ruiz (zona norte); San Blas, Tepic y Santiago (zona centro); Compostela y Bahía de Banderas (zona sur), con una producción de 148,137 28 toneladas (SiAP, 2009) La época de producción de mango en el Estado es en los meses de mayo a julio (Pérez Barraza *et al.*, 2007)

Las principales variedades de mango para exportación en Nayarit son: Ataulfo, Tommy Atkins, Kent, Manila y Haden (SiAP, 2009). En los últimos años la superficie del cultivar Ataulfo se incrementó notablemente, debido a la gran aceptación que ha tenido en el mercado de exportación, reemplazando a cultivares como Tommy Atkins y Haden, ocupando el primer lugar en importancia estatal con una superficie de más de 8,000 ha cosechadas (SiAP, 2009). Actualmente la superficie de este cultivar se concentra en la zona centro con 11,747.77 ha, zona norte con 4, 729.93 ha y en la zona sur con 4, 302 ha (SiAP, 2009).

2.3. Propiedades nutricionales

Algunas de las principales propiedades que pueden agregar valor a un alimento son las nutricionales y funcionales.

Las concentraciones de los nutrimentos pueden estar influenciados por algunos factores tales como: la variedad, estado de madurez, forma de cultivo, clima y tipo de suelo (Flores-Hernández *et al.*, Galati *et al.*, 2003; Gurrieri *et al.*, 2000).

Los frutos, en adición a los nutrimentos esenciales y a una serie de micronutrimentos tales como minerales, fibras y vitaminas, aportan diversos componentes funcionales (metabolitos secundarios) de naturaleza fenólica, etc. (Harborne y Williams, 2000). El consumo de frutas y verduras está asociado al bajo riesgo de incidencias y mortalidad de cáncer (Block *et al.*, 1992), y a menores índices de mortalidad por enfermedad coronaria, según se desprende de diversos estudios epidemiológicos (Knekt *et al.*, 1996; Hertog *et al.*, 1992).

Desde el punto de vista nutritivo, el mango es una fuente importante de fibra y vitaminas; por cada 100 g de mango se tiene 83 g de agua, 0.5 g de proteína, 0 g de grasas, 15 g de carbohidratos, 0.8 g de fibra, 10 mg de calcio, 0.5 mg de hierro, 600 U.I. de vitamina A, 0.3 mg de Tiamina, 0.04 mg de Riboflavina, y 3 mg de vitamina C (Cadena Agroalimentaria del Mango, 2003; Bangerth y Carie, 2002).

2.4. Propiedades funcionales

El concepto de alimento funcional surgió en Japón a finales de los años 80, con la finalidad de aumentar la esperanza de vida y mejorar la calidad de vida de la población, especialmente en las personas de edad avanzada, con este objetivo se promovió el diseño de alimentos específicamente desarrollados para mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades; estos productos en 1991 recibieron el nombre de FOSHU (Food for Specific Health Use) (Vidal-Carou M., 2008).

Además del apelativo de funcional, existen otros términos que también se han utilizado para estos alimentos: farmalimentos, alicamentos, alimentos para usos específicos saludables, etcétera (Vidal, 2008).

Un alimento funcional puede definirse como cualquier alimento en forma natural ó procesado, que además de sus componentes nutritivos, contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona; por lo tanto una propiedad funcional es la característica de un alimento, en virtud de sus componentes químicos y de los sistemas fisicoquímicos de su entorno, sin referencia a su valor nutritivo, su papel dentro de la salud es afectar de manera

benéfica una ó más funciones específicas o la disminución de riesgo de una enfermedad en el organismo (Alvidrez-Moraes *et al.*, 2002). Los alimentos funcionales son una forma mediante la cual la industria intenta extender los beneficios de los alimentos naturales, nutritivos y con ventajas para la salud.

Los compuestos bioactivos presentes en las frutas han atraído la atención tanto de los consumidores como de la comunidad científica, debido a que existen evidencias que demuestran los beneficios que estos compuestos bioactivos tienen sobre el organismo mediante la prevención de enfermedades (Block *et al.*, 1992, Ames *et al.*, 1993)

La pulpa del mango presenta una concentración significativa de compuestos bioactivos tales como: ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico, compuestos fenólicos (isomangiferina, homomangiferina, quercetina, kaempferol, antocianinas), carotenoides (β -caroteno, α -criptoxantina, violaxantina, luteoxantina, mutatoxantina, auroxantina), ácidos fenólicos (gálico, ferúlico, cumárico, cafeico), terpenoides (α -pineno, β -pineno, β -miraceno, limoneno, cis-ocimeno, trans-ocimeno, terpineno, canfeno, entre otros), fibra, minerales (potasio, cobre, zinc, manganeso, hierro, selenio), una deficiencia de estos minerales en el organismo (a excepción del potasio) afecta la actividad de las enzimas involucradas en la protección de las células en contra del estrés oxidativo (Machado y Schieber, 2010). En su composición destaca la presencia de una sustancia denominada mangiferina (compuesto de naturaleza fenólica), que en animales de experimentación parece ejercer una acción antioxidante, inmunomoduladora, antiviral y antitumoral (Sánchez *et al.*, 2000; Guha *et al.*, 1996). En el sur de Asia todas las partes del árbol de mango han sido utilizadas en la medicina tradicional: corteza, goma, hoja, flor, cáscara y hueso. Con estas hierbas medicinales las enfermedades comúnmente tratadas son: disenteria, diarrea, inflamación del tracto urinario, reumatismo y difteria. Varios de estos usos son respaldados por evidencia científica (Ross, 2003). Estas características entre otras, son las que favorecen al mango para que se le considere como un alimento funcional.

2.5. Propiedades antioxidantes

Como parte del envejecimiento normal del organismo humano se produce un número considerable de sustancias químicamente inestables, llamadas radicales libres, estos radicales libres pueden ocasionar daño en la célula, pueden alterar: a las proteínas

de la membrana modificando su estructura y función, a los lípidos modificando su reactividad enzimática, a los carbohidratos funcionales y a los ácidos nucleicos provocando mutagénesis y carcinogénesis, esto es de consecuencia crítica para la célula, ya que se altera las funciones normales de las macromoléculas dentro de ella, lo que conlleva a numerosas patologías y enfermedades degenerativas (Vargas *et al.*, 2007; Piga, 2004; Rhian, 2004; Tesoriere *et al.*, 2004; Chihuailaf *et al.*, 2002; Bundinsky *et al.*, 2001).

Los radicales libres son átomos o moléculas extremadamente reactivas, debido a que en el orbital más extremo de su estructura tienen un electrón sin aparear; son radicales libres las moléculas de oxígeno, el átomo de hidrógeno y los metales de transición (en estado iónico), las especies de radicales más reactivas derivadas del oxígeno son el anión superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo ($\cdot OH$) (Velázquez *et al.*, 2004).

Los radicales libres son el resultado de los procesos fisiológicos del organismo como el metabolismo de los alimentos, la respiración y el ejercicio, o bien son generados por factores ambientales como la contaminación industrial, el tabaco, la radiación, los medicamentos, los aditivos químicos en alimentos procesados y los pesticidas (Velázquez *et al.*, 2004).

Un antioxidante es una molécula que previene la formación descontrolada de radicales libres o inhiben sus reacciones con estructuras biológicas (Rhian, 2004; Chihuailaf *et al.*, 2002). El antioxidante interactúa con el radical libre, cediéndole un electrón, se oxida y se transforma en un radical libre débil no tóxico (Velázquez *et al.*, 2004).

Los antioxidantes se pueden clasificar en antioxidantes primarios, los cuales previenen la formación de nuevos radicales libres, convirtiéndolos en moléculas menos perjudiciales antes de que puedan reaccionar o evitando la formación de radicales libres a partir de otras moléculas, como por ejemplo la enzima glutatión peroxidasa, glutatión reductasa, glutatión S transferasa, catalasas y las proteínas que se unen a metales y limitan la disponibilidad de hierro necesario para formar el radical hidroxilo; antioxidantes secundarios, capturan los radicales libres evitando la reacción en cadena, como por ejemplo la vitamina E, la vitamina C, beta-caroteno, ácido úrico, bilirrubina, albúmina, melatonina, y estrogénos; antioxidantes terciarios, reparan las biomoléculas dañadas por los radicales libres, como por ejemplo, las enzimas reparadoras del ADN (endonucleasas y exonucleasas) (Velázquez *et al.*, 2004).

Existen dos tipos de antioxidantes: los endógenos, dotados por el propio sistema biológico y los exógenos tomados de la dieta (Velazquez *et al.*, 2004).

Los antioxidantes dietarios disminuyen los efectos adversos de las ERO's (Especies Reactivas del Oxígeno) en el cuerpo humano; como el ácido ascórbico o vitamina C que es un compuesto hidrosoluble que actualmente es considerado como un nutrimento antioxidante (Kathleen y Escole-Stump, 1998). También existen antioxidantes sintéticos como el Butilhidroxitolueno (BHT), Butilhidroxianisol (BHA), Butilhidroquinona Terciaria (BHQ), que se adicionan a los alimentos susceptibles a la oxidación lipídica. sin embargo, algunos estudios en ratas han demostrado que estos antioxidantes sintéticos aprobados por la FDA (Food and Drug Administration) poseen efectos citotóxicos en concentraciones de 890 mg/kg, 184 g/kg y 700 mg/kg respectivamente (Lewis, 1989). Por lo que los antioxidantes naturales han despertado gran interés para emplearlos como sustitutos de los antioxidantes sintéticos (Tomás-Barberán *et al.*, 2004, Choi *et al.*, 2000).

La actividad antioxidante se puede evaluar por diferentes métodos ya sea *in vivo* o *in vitro*, una de las estrategias más aplicadas en las medidas *in vitro* de la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar la actividad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; no obstante, las determinaciones de la capacidad antioxidante realizadas *in vitro* nos dan tan sólo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo* (Kuskoski *et al.*, 2005). Diversos compuestos cromógenos como ABTS^{•+}, DPPH[•] y FRAP son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libres generados, operando así contra los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a las ERO's (Kuskoski *et al.*, 2005).

El analizar por dos o más métodos la actividad antioxidante de un extracto es muy común en los reportes científicos ya que proporciona información complementaria. La actividad antioxidante de un extracto complejo estará dada por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, de la interacción entre ellos y del ambiente en que están inmersos, ya que puede producirse eventualmente efectos potencializadores o inhibidores (Frankel y Meyer, 2000)

Existe evidencia científica de que los compuestos antioxidantes de frutas y hortalizas (principalmente de naturaleza fenólica) pueden prevenir el daño oxidativo celular, con lo cual se reduce el riesgo de padecer cáncer, enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, etc (Prior, 2003, Lee *et al.*, 2002, Stintzing *et al.*, 2001).

Robles-Sánchez *et al.*, (2009) reportaron que el consumo de mango redujo el estrés oxidativo y los niveles de triglicéridos en plasma. Por otra parte de acuerdo a un estudio de Kuskoski *et al.*, (2005), la pulpa de mango presentó una mayor actividad antioxidante y una mayor concentración de compuestos fenólicos totales comparada con la pulpa de uva, guayaba y piña.

Se ha señalado que las cáscaras de diferentes variedades de mango contienen pectina de alta calidad, por su importante concentración de ácido galacturónico y su grado de esterificación (Sudhakar y Maini, 2000; Schieber *et al.*, 2004) así como fibra dietaria con un excelente equilibrio entre fibra soluble e insoluble (Larrauri *et al.*, 1996), por lo que puede ser un ingrediente en alimentos funcionales con actividad hipoglucemiante, hipocolesterolemica e hipotriglicéridemica. García (2003) reportó que las cáscaras de mango criollo presentan en promedio 4.8% de proteína cruda, 29% de fibra dietética soluble y 27% de fibra dietética insoluble, dicho balance entre los dos tipos de fibra son similar al de la avena; por lo que con su ingesta se podría lograr una funcionalidad similar a la reportada para la avena, tal como: una disminución en la concentración de colesterol y glucosa en la sangre, un incremento en la eliminación de ácidos biliares, así como el crecimiento y proliferación de la flora bacteriana. De igual manera, se ha reportado una importante concentración de polifenoles, ácidos fenólicos, fibra, terpenoides y minerales en la cáscara de mango (Machado y Schieber, 2010; Ajila *et al.*, 2008; Ajila *et al.*, 2007; Schieber *et al.*, 2003).

Es así como la fibra de la cáscara o pulpa de mango, al igual que los extractos antioxidantes de la cáscara podrían ser un ingrediente de alto valor agregado para la industria alimentaria, cosmética o farmacéutica (Sumaya-Martínez *et al.*, 2012).

2.6. Cromatografía

La separación de mezclas en sus componentes es importante en todas las ramas de la química. La cromatografía es una técnica de separación poderosa y versátil que tiene un gran impacto en la ciencia moderna. Hoy en día la mayoría de las separaciones se llevan a cabo mucho más rápido y con mayor eficacia que antes y beneficios que nunca se hubieran podido realizar con otras técnicas (Day, 2000).

La cromatografía es un método físico de separación, en el cual los componentes que se van a separar se distribuyen entre dos fases; una de estas fases constituye una

capa estacionaria de gran área superficial (columna), la otra es un fluido que eluye a través o a lo largo de la fase estacionaria (Day, 2000).

Los solutos que se van a separar migran a lo largo de la columna, lográndose la separación en base a las diferentes velocidades de migración de los diferentes solutos. La velocidad de migración de un soluto es el resultado de dos factores, uno que tiende a mover el soluto y el otro a retardarlo; es decir la tendencia que tiene los solutos de adsorberse sobre la fase sólida o estacionaria retarda su movimiento, mientras que su solubilidad en la fase móvil los mueve a lo largo de la columna (Day, 2000).

Los tipos de cromatografía que se conocen caen en cuatro categorías: líquido-sólido, gas-sólido, líquido-líquido y gas-líquido. La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido y la fase móvil puede ser un líquido o un gas. En la cromatografía gas-sólido y gas-líquido, los gases acarreadores más comunes son el helio, hidrógeno y nitrógeno (Day, 2000).

Dentro de la cromatografía líquido-líquido, la HPLC (High Performance Liquid Chromatography) surgió de la conjunción de la necesidad del ser humano de minimizar el trabajo para ello la cromatografía de líquidos tubo que acelerarse, automatizarse y adaptarse a muestras mucho más pequeñas, con frecuencia una mezcla de solventes (solventes y soluciones) es una fase móvil, la enorme cantidad de posibles fases móviles junto con las posibilidades de gradientes brindan una gran oportunidad para optimizar la separación de mezclas complejas con respecto a la resolución y al tiempo en el que se lleva a cabo; una de las fases estacionarias más comunes en la HPLC de fase reversa es la sílica unida a una cadena alquil. El tiempo de retención es mayor para las moléculas de naturaleza apolar, mientras que las moléculas de carácter polar eluyen más rápidamente (Day, 2000).

El detector más general se basa en el índice de refracción de la elución de la columna, puesto que casi cualquier soluto presenta un índice de refracción diferente al del solvente puro. El detector percibe la diferencia y genera una señal proporcional que se amplifica y se registra para formar el cromatograma; el gradiente utilizado en la cromatografía de fase reversa varía en función de la hidrofobicidad del compuesto, el gradiente separa los componentes de la muestra como una función de la afinidad del compuesto por la fase móvil utilizada, respecto a la afinidad por la fase estacionaria (Day, 2000).

La cromatografía de líquidos como tal no proporciona directamente información estructural; está se puede obtener por medios como la espectrometría de masas,

espectrometría infrarroja, resonancia magnética nuclear ó la espectrometría ultravioleta (Day, 2000).

Debido a su gran importancia práctica en muchas áreas de investigación, la cromatografía es un campo que avanza con rapidez. Se pone empeño en muchos aspectos, de los cuales podemos mencionar unos cuantos: mejores detectores, nuevos materiales para empacar las columnas, mejores interconexiones con otros instrumentos (como el espectrómetro de masas) para identificar los componentes que se separan, nuevas técnicas de procesamiento de datos por computadora y nuevos modelos matemáticos que proporcionan conocimientos adicionales acerca de la naturaleza del proceso (Day, 2000).

2.7. Espectrometría de masas

En la espectrometría de masas, se bombardean moléculas con electrones y otras partículas, rompiéndose las moléculas. El análisis de las masas de los fragmentos da información sobre la masa molecular, permite conocer, con cierta frecuencia, la fórmula molecular, y da pautas sobre la estructura y los grupos funcionales presentes en la molécula (Wade, 2004).

Un espectrómetro de masas ioniza moléculas a alto vacío, separa los iones de acuerdo con sus masas y mide la abundancia de los diferentes iones según sus masas. El espectro de masas es el gráfico que se obtiene a partir del espectrómetro de masas, representando la relación masa/carga en el eje x y la proporción relativa de cada tipo de ión en el eje y . Se utilizan varios métodos para fragmentar y/o ionizar las moléculas, y para separar los iones de acuerdo con sus masas, el método más común ó empleado es el de ionización por impacto de electrones, para fragmentar las moléculas y deflexión o desviación magnética para separar los iones (Wade, 2004).

Ionización por impacto de electrones: En la fuente de iones, se bombardea la muestra con un flujo de electrones acelerados de alta energía. Cuando incide un electrón sobre una molécula neutra, la molécula se ioniza, desprendiendo un electrón. Cuando una molécula pierde un electrón, adquiere una carga positiva y un electrón sin aparear, por lo tanto el ión es un catión-radical. Además de ionizar las moléculas, el impacto de un electrón de alta energía puede fragmentarlas. Este proceso de fragmentación da lugar a una mezcla de iones característicos. El catión-

radical correspondiente a la masa de la molécula original se conoce como ión molecular. Los iones de masas moleculares más pequeñas se denominan fragmentos. Durante la fragmentación se forman fragmentos cargados y sin carga, pero en el espectrómetro de masas sólo se detectan los fragmentos cargados (Wade, 2004).

Separación de iones de masas diferentes por desviación magnética: Una vez que la ionización y la fragmentación han producido una mezcla de iones, estos iones se separan y se detectan. Después de la ionización, los iones cargados positivamente son atraídos por la placa del acelerador cargada negativamente, que tiene un colimador (orificio estrecho) para permitir que pasen algunos iones a través de él. El flujo de iones entra en una cámara o tubo (en el que se ha hecho un alto vacío), con una porción curvada colocada entre los polos del imán. Cuando una partícula cargada pasa a través del campo magnético, sobre la partícula actúa una fuerza que hace que se desvíe su trayectoria. La trayectoria del ión más pesado se desvía menos que la de un ión más ligero. Al final del tubo de alto vacío hay otra ranura o colimador, seguida de un detector de iones conectado a un amplificador. La señal del detector es proporcional al número de iones que inciden en él. Mediante la variación del campo magnético, el espectrómetro explora todas las posibles masas de iones y registra un gráfico del número de iones correspondientes a cada masa/carga (Wade, 2004).

La técnica combinada de cromatografía de gases y espectrometría de masas permite realizar análisis rutinarios de mezclas de compuestos (Wade, 2004).



Figura 3. Cromatógrafo de gases-espectrómetro de masas (Wade, 2004).

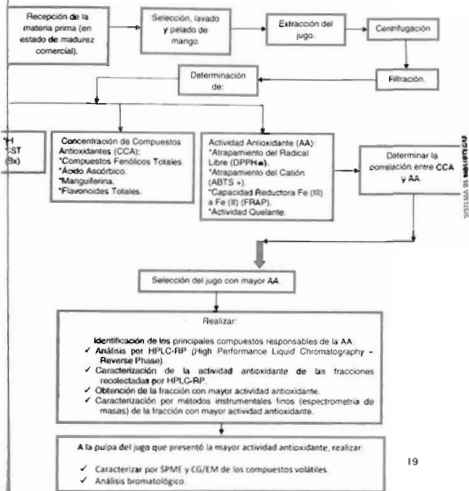
Otro de los métodos utilizados para la ionización de moléculas es la ionización por electrospray ó electronebulización (ESI). es uno de los métodos de ionización más

recientemente desarrollados en espectrometría de masas. Este método es llevado a cabo a presión atmosférica a diferencia de otros métodos, por lo que se le conoce también como un método de ionización a temperatura ambiente (atmospheric pressure ionization API). ESI es ampliamente utilizado en aplicaciones de ciencias bioquímicas y biomédicas debido a su capacidad de analizar moléculas altamente polares tales como péptidos, oligonucleótidos y oligosacáridos (Plasencia-Villa, 2003).

Al método de ionización por electrospray, suele adaptarse el analizador de masas de tiempo de vuelo (time-of-flight TOF). El principio de operación de este analizador involucra la medición del tiempo requerido por un ion para viajar desde la fuente de iones hasta el detector localizado a 1-2 m de la fuente. Todos los iones reciben la misma energía cinética durante la aceleración instantánea, pero debido a que tienen diferentes valores de m/z (masa/carga), se separan en grupos de acuerdo a su velocidad como van recorriendo la región libre de campo entre la fuente de iones y el detector. Los iones chocan secuencialmente en el detector en forma de un incremento de m/z . Los iones de baja m/z llegan al detector antes que aquellos con m/z alta debido a que entre más m/z tengan los iones tendrán una velocidad menor. El valor de m/z para un ion es determinado por su tiempo de vuelo al detector calibrado con los TOF de al menos dos iones de m/z conocida (Plasencia-Villa, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diagrama de flujo – metodología general



3.2. Recepción de la materia prima

Las variedades de mango (Ataulfo, Tommy Atkins, y Kent) analizadas fueron proporcionados por productores de tres municipios del Estado de Nayarit, dichos municipios fueron San Blas, Tepic y Santiago, los cuales presentan el siguiente tipo de suelo: Vertisol pelico, Acrisol humico y Fluvisol eutrico respectivamente (INEGI, 2000). Los mangos se recibieron en estado de madurez comercial, dentro de cajas de madera, almacenándose en refrigeración a 4°C por un día para la posterior extracción de jugo.

3.3. Preparación de la muestra

Se extrajo jugo de mango sin cáscara y con cáscara. Para la extracción de jugo sin cáscara se seleccionaron nueve frutos de mango (sanos y firmes), se procedió a lavarlos para eliminar la suciedad adherida a la cáscara, posteriormente se cortaron rebanadas longitudinales para separar la cáscara y el hueso de la pulpa, una vez obtenida la pulpa, se procedió a extraer el jugo utilizando un extractor de jugos doméstico marca Breville modelo BJE510XL. Para la extracción del jugo con cáscara se realizó el procedimiento arriba mencionado a excepción de la separación de la cáscara de la pulpa. Una vez obtenido el jugo se procedió a almacenarlo por 24 horas a -18 °C, posteriormente el jugo se descongeló a temperatura ambiente y se centrifugó a 5000 rpm (revoluciones por minuto) durante 10 minutos, en una microcentrifuga modelo Eppendorf, el sobrenadante extraído se filtro en membranas de 0.22 µm y se colocó en viales de polipropileno, almacenándose en un congelador a -18 °C, para sus posteriores análisis, el precipitado fue eliminado.

Para cada extracto de mango se llevó a cabo la determinación de °Bx, pH, la concentración de compuestos fenólicos totales (Stintzing *et al.*, 2005), la determinación de ácido ascórbico (Dürst *et al.*, 1997), mangiferina (Chang *et al.*, 2002) y flavonoides totales (Zhishen *et al.*, 1999 (modificado)), así como la capacidad antirradical por medio de cuatro metodologías DPPH• (Morales y Jiménez-Pérez, 2001), ABTS•+ (Re *et al.*, (1999) y Kuskoiki *et al.*, 2004), FRAP (Hinneburg *et al.*, 2006) y actividad quelante (Guicin *et al.*, 2003).

Los reactivos y equipo utilizado se presentan en el anexo 1.

3.4. Técnica de medición de SST (*Bx) y pH

Para la determinación de SST *Bx (grados Brix) y pH (potencial de hidrogeno) se utilizó un refractómetro digital y un potenciómetro respectivamente.

Para la determinación de pH se utilizó el jugo que se obtuvo directamente del extractor (sin aplicarle el proceso de centrifugación y filtración), e inmediatamente se midió el pH.

En cuanto a la determinación de Sólidos Solubles Totales (SST) (*Bx) se utilizó el jugo obtenido de la aplicación del proceso de centrifugación y filtración; se procedió colocando una pequeña muestra de aproximadamente 800 µg en el refractómetro digital, obteniendo así la lectura de los *Bx.

3.5. Determinación de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Los compuestos fenólicos totales se determinaron de acuerdo al método de Stintzing *et al.*, (2005).

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

Para la determinación de CFT en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, se utilizó el factor de dilución indicado en el anexo 2

La técnica se inició colocando 50 µL de jugo filtrado diluido, en viales eppendorf, se agregó 250 µL de solución Folin-Ciocalteu (1.10 en agua destilada) y 200 µL de carbonato de sodio (al 7.5%), inmediatamente después la muestra se agitó en vortex y se incubó a temperatura ambiente (25°C: 1) durante 30 minutos. Al término del tiempo se midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó agua destilada como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como equivalentes de ácido gálico (EAG) mg/L (anexo 3).

3.6. Determinación de ácido ascórbico

El ácido ascórbico se determinó de acuerdo al método de Durust *et al.*, (1997).

Para la determinación de la concentración de ácido ascórbico se realizaron las siguientes soluciones: DCPi (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica) a 24 mg/L de agua destilada, ácido oxálico a 0.4% en agua destilada, amortiguador de acetatos compuesto por 3 g de acetato de sodio, 7 mL de agua destilada y 10 mL de ácido acético glacial, solución madre de 100 mg de ácido ascórbico/L de ácido oxálico al 0.4%.

Para la determinación de ácido ascórbico en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, se utilizó factor de dilución indicado en el anexo 2.

La técnica se inició colocando 50 μ L de jugo filtrado diluido, en viales eppendorf, más 50 μ L de amortiguador de acetatos, más 400 μ L de DCPi, inmediatamente después la muestra se agitó en vortex para posteriormente medirle la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó ácido oxálico a 0.4% como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como mg de ácido ascórbico/100 mL (anexo 3).

3.7. Determinación manguiferina

La determinación de la concentración de manguiferina se evaluó en base al método colorimétrico de cloruro de aluminio ($AlCl_3$) procedimiento reportado por Chang *et al.*, (2002).

El principio del método colorimétrico de $AlCl_3$ se basa en el hecho de que el cloruro de aluminio forma complejos ácidos de color amarillo con el grupo ceto del carbono

cuatro, así como con el grupo hidroxilo del carbono tres y cinco, de flavonas y flavonoles.

Para la determinación de la concentración de manguiferina en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, no se utilizó factor de dilución.

La técnica se inició colocando 100 μL de jugo filtrado en viales eppendorf, posteriormente se agregaron 300 μL de etanol y 20 μL de AlCl_3 , enseguida se agitó en vortex, se agregó 600 μL de acetato de potasio (CH_3COOK) (0.03 M), agitándose nuevamente en vortex, enseguida la muestra se dejó en reposo por 60 min a 30 $^\circ\text{C}$, finalmente, después del reposo se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 410 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó agua destilada como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como mg de Manguiferina/10 mL (anexo 3).

3.8. Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se evaluó de acuerdo al procedimiento reportado por Zhishen *et al.*, (1999).

Para la determinación de flavonoides totales en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, no se utilizó ningún factor de dilución.

La técnica se inició colocando 50 μL de jugo filtrado en viales eppendorf, posteriormente se agregó 200 μL de agua destilada y 10 μL de NaNO_2 al (15%), enseguida se agitó en vortex y se dejó en reposo por 6 minutos a temperatura ambiente ($25^\circ\text{C} \pm 1$), inmediatamente después se agregó 15 μL de AlCl_3 , nuevamente la muestra se agitó en vortex y se dejó en reposo por 6 minutos a temperatura ambiente ($25^\circ\text{C} \pm 1$), finalmente se añadió 200 μL de NaOH (al 0.04%), agitándose nuevamente en vortex, posteriormente la muestra se centrifugó por 5 minutos en una microcentrifuga a 10 rpm, para finalizar se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 510 nm en un lector de microplacas. Se usó agua destilada como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como μg de quercetina/mL (anexo 3).

3.9. Determinación de la actividad quelante

La actividad quelante se determinó de acuerdo al método de Guicin *et al.*, (2003).

Este método se basa en la reacción de la molécula quelante de referencia con el ion ferroso (Fe^{2+}), posteriormente el ion ferroso que no fue quelado o secuestrado reacciona con la ferrozina generando color, este color es monitoreado a una longitud de onda de 562 nm y refleja la concentración de actividad quelante.

Para la determinación de la actividad quelante en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, no se utilizó ningún factor de dilución.

La técnica se inició colocando 50 μ L de jugo filtrado en viales eppendorf, posteriormente se agregaron 25 μ L de una solución de cloruro ferrico II tetrahidratado (2 mM) y 225 μ L de metanol, enseguida la muestra se agitó en vortex dejando en reposo por 5 min a temperatura ambiente ($25^{\circ}C \pm 1$), posteriormente se adicionó 200 μ L de Ferrozina (5mM), e inmediatamente después se agitó en vortex y se dejó en reposo por 10 min a temperatura ambiente ($25^{\circ}C \pm 1$), posteriormente se centrifugó; al sobrenadante se le realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 562 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó agua destilada como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como mol de EDTA/10 mL (anexo 3).

3.10. Determinación de la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH $^{\bullet}$)

La actividad antirradical con base en el método del DPPH $^{\bullet}$ se evaluó de acuerdo al procedimiento reportado por Morales y Jimenez-Pérez (2001)

El reactivo DPPH $^{\bullet}$ es un radical libre, que en solución etanólica, presenta una coloración violeta fuerte y su máxima absorbancia se obtiene a una longitud de onda de 517 nm. Si se adiciona a este medio una sustancia susceptible de atrapar radicales libres, el electrón no apareado del DPPH $^{\bullet}$ se aparea e inmediatamente se presenta una decoloración de la solución que puede ir hasta amarillo en razón del número de electrones apareados (Figura No. 4). La actividad antioxidante se expresa

en μmol equivalente de Trolox (ET) (Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametólcromo) por litro de etanol, ($\mu\text{mol ET/L}$).



Figura 4. Apareamiento del radical libre DPPH•.

Para la determinación de la actividad antirradical por el método DPPH• en jugo de mango (filtrado) de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, se utilizó el factor de dilución indicado en el anexo 2.

La técnica se inició preparando una solución de DPPH• a una concentración de 7,4 mg/L de etanol, agitándose esta solución por 10 minutos; posteriormente se colocaron 50 μL de jugo filtrado diluido en viales eppendorf, se le agregó 250 μL de la solución de DPPH•, la muestra se agitó en vortex y se dejó reposar a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C}\pm 1$) por una hora; transcurrido este tiempo se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó etanol como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como $\mu\text{mol ET/L}$ (anexo 3).

3.11. Determinación de la actividad antirradical por el método del ABTS••

La actividad antirradical con base en el método del ABTS•• se evaluó de acuerdo al procedimiento desarrollado por Re *et al.*, (1999) y descrito por Kuskoski *et al.*, (2004).

El radical ABTS•• se obtiene tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2,45 mM, concentración final) (relación 1:0,5) incubado a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C}\pm 1$) y en la oscuridad durante 16 horas; una vez formado el radical

ABTS^{•+} se diluye con etanol hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.6 y 0.7 a una longitud de onda de 754 nm. La actividad antioxidante se expresara en vitamina C (ácido ascórbico), es decir en VCEAC (actividad antioxidante equivalente a vitamina C), se justifica expresarlo de esta manera dado que las muestras ensayadas son alimentos, y la vitamina C es un nutrimento que se encuentra diariamente en nuestra dieta (Kim *et al.*, 2002).

Con el ABTS^{•+} se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica; su espectro presenta máximos de absorbancia a 414, 654, 754 y 815 nm en medio alcohólico (Kuskoski *et al.*, 2005).

Para la determinación de la actividad antirradical por el método ABTS^{•+} en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, se utilizó el factor de dilución indicado en el anexo 2.

La técnica se inició diluyendo 20 μ L de en 980 μ L de la solución del radical ABTS^{•+} posteriormente se agitó en vortex y se dejó reposar por 7 minutos, transcurrido este tiempo se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 754 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó agua destilada como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como mg VCEAC/100 mL (anexo 3).

3.12. Determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) (FRAP)

La actividad antirradical con base en la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) se evaluó de acuerdo al procedimiento reportado por Hinneburg *et al.*, (2006).

La mayoría de las actividades antioxidantes de carácter no enzimático involucran procesos redox. El ensayo de FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), se basa en la capacidad de los polifenoles de reducir moléculas de Fe (III) a Fe (II), el cual forma una coloración azul, esta coloración es monitoreada por absorbancia a una longitud de onda de 593 nm.

Para la determinación de la actividad antirradical por el método FRAP en jugo de mango de cada variedad, tanto con cáscara como sin cáscara, se utilizó el factor de dilución indicado en el anexo 2.

La técnica se inició diluyendo el jugo filtrado en agua destilada, de la dilución se tomó una alícuota de 25 µL y se colocó en viales eppendorf, donde se mezcló con 63 µL de buffer de fosfato (0.02 M y pH 6.6) y 63 µL de solución acuosa al 1% de $K_3Fe(CN)_6$, para posteriormente agitarse en vortex, enseguida la muestra se incubó por 30 minutos a 50 °C, transcurrido este tiempo se agregaron 63 µL de ácido tricloroacético al 10%, nuevamente la muestra se agitó en vortex, e inmediatamente después se centrifugó por 10 minutos, del sobrenadante obtenido se tomaron 63 µL, los cuales se mezclaron con 63 µL de agua destilada y 12.5 µL de $FeCl_3$ al 0.01%, posteriormente se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 700 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS Biotek). Se usó etanol como blanco.

Para la determinación de la concentración de las muestras se utilizó una curva estándar expresada como mg de ácido ascórbico/100 mL (anexo 3).

3.13. Identificación de los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en el jugo de mango que presenta la mayor actividad

3.13.1. Análisis por HPLC-RP (High Performance Liquid Chromatography-Reverse Phase)

Para la separación de las moléculas bioactivas presentes en el jugo con mayor actividad antioxidante se utilizó un cromatógrafo de líquidos (HPLC- RP) equipado con el Software TotalChrom Versión 6.2.1. La columna utilizada fue discovery 5 µm C18 (25 cm x 4.6 mm I.D.) de gel de sílice (marca supelco), y operó a temperatura ambiente (25°C±1). La fase móvil consistió de ácido acético (2%) en agua (v/v) (eluyente A) y acetonitrilo (eluyente B). El programa de gradiente utilizado fue el siguiente:

Tabla 1. Programa gradiente utilizado en el cromatógrafo de líquidos (HPLC- RP)

Duración (min.)	Eluyente "A"	Eluyente "B"
0.5	100 %	0%
6	88	12
7	82	18
5	75	25
6	60	40
5	50	50
11	88	12
20	100	0

El volumen de inyección de muestra fue de 10 μ L. La velocidad de flujo fue de 1 mL/min. El paso de la muestra por la columna se monitorio a una longitud de onda de 280 nm.

Los estándares utilizados fueron los siguientes: ácido gálico, ácido ascórbico, ácido cinámico, ácido cafeico, mangiferina y quercetina (anexo 4).

A fin de determinar los principales compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante en el jugo de mango con la mayor actividad, se llevó a cabo una colecta de fracciones en tubos eppendorf a razón de 1 mL/min. Posteriormente a las fracciones recolectadas se les determinó la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH*) de acuerdo al procedimiento reportado por Morales y Jiménez-Pérez, (2001), así como la concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) en base al método de Stintzing *et al.*, (2005) y concentración de ácido ascórbico por el método de Dürst *et al.*, (1997).

3.13.2. Análisis por espectrometría de masas ESI-TOF (Electrospray Ionization-Time of Flight) de las fracciones recolectadas por HPLC-RP que presentan mayor actividad antioxidante

Las fracciones recolectadas por HPLC-RP que presentaron la mayor actividad antioxidante, mayor concentración de CFT, así como de ácido ascórbico, fueron enviadas para su análisis por espectrometría de masas ESI-TOF al Departamento de Química del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) sede México D.F., con el objetivo de determinar los principales compuestos bioactivos presentes en ellas.

3.13.4. Análisis bromatológico de la pulpa del jugo de mango que presenta la mayor actividad antioxidante

La realización del análisis bromatológico de la pulpa del jugo de mango que presentó la mayor actividad antioxidante, fue llevada a cabo en el laboratorio del Centro de Estudios y Desarrollo de Procesos Agroindustriales (CEDPAI) de la Universidad Tecnológica de Nayarit. El análisis consistió en la determinación de proteína (en base a la norma NOM-F-068-S-1980), carbohidratos (en base a la norma NOM-051-SCSI/SSA1-2010), minerales (en base al método 7.009 de AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 1994), fibra (en base a la norma NMX-F-090-S-1978) y grasa (en base a la norma NMX-F-089-1978).

3.14. Actividad antioxidante de jugos y néctares comerciales

Como un análisis extra se determinó la concentración de CFT y actividad antioxidante por los métodos 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) y actividad quelante (ver apartado 3.5, 3.9 y 3.10 para la descripción de las metodologías utilizadas, respectivamente) de cuatro jugos comerciales de diferentes frutas: arandano (Ocean Spray), granada (Del Valle), granada (Jumex), naranja (Jumex) y de dos néctares de mango (Jumex y Del Valle), así como del jugo que presentó la mayor actividad antioxidante (Aaulfo con cáscara del municipio de Tepic)

Los factores de dilución analizados se indican en el anexo 5.

3.15. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en las diferentes determinaciones fueron analizados por pruebas de ANDEVA con arreglos de media de Duncan y se empleó un nivel de significancia de $p \leq 0.05$, así mismo se realizaron correlaciones entre las distintas determinaciones; para lo cual se utilizó el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 18. La recopilación de los datos se llevó a cabo por medio de Excel versión 2007.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

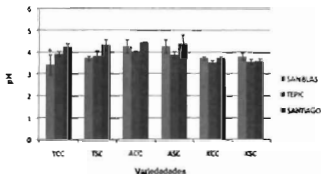
Para efectos de una mejor visualización y comprensión de las gráficas se emplearon las siguientes abreviaturas:

Tabla 2. Abreviaturas de los tratamientos de las variedades de mango estudiadas.

<i>Abreviatura.</i>	<i>Variedad.</i>
TCC	Tommy Atkins con cáscara
TSC	Tommy Atkins sin cáscara
ACC	Ataulfo con cáscara
ASC	Ataulfo sin cáscara
KCC	Kent con cáscara
KSC	Kent sin cáscara

4.1. Determinación de pH

Los valores promedio de pH de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 5.



•Diferencia estadística estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 5. Determinación de pH de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Santiago, presentaron los valores de pH menos ácidos (4.4), mientras que los jugos de la variedad Tommy Atkins con cáscara del municipio de San Blas, presentaron los valores de pH más ácidos (3.4).

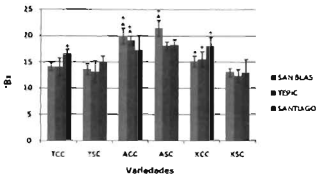
Las variedades de jugo de mango estudiadas no mostraron diferencia significativa entre ellas (anexo 6).

Se observó una correlación muy baja ($r^2 \approx 0.40$) entre la determinación del potencial de hidrógeno y las demás determinaciones (anexo 7), lo cual significa que posiblemente no hay una dependencia entre las distintas determinaciones y el pH.

En un estudio realizado por Manthey y Perkins-Veazie (2007) sobre la variación relativa de nutrimentos entre las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent provenientes de México, Brasil, Ecuador y Perú, reportan un promedio de pH para las variedades mexicanas de 4.0, 3.7 y 3.5 respectivamente, siendo la variedad Ataulfo la que presentó un valor de pH menos ácido.

4.2. Determinación de Sólidos Solubles Totales ($^{\circ}\text{Bx}$)

Los valores promedio de SST ($^{\circ}\text{Bx}$) de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 6.



*Presentaron el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figure 6. Determinación de SST ($^{\circ}\text{Bx}$) de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo sin cáscara del municipio de San Blas, presentaron los valores de SST ($^{\circ}\text{Bx}$) más altos (21.5), mientras que los jugos de la variedad Kent sin cáscara del municipio de Tepic, presentaron los valores de $^{\circ}\text{Bx}$ más bajos (12.3).

Los jugos de mango de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de San Blas y Tepic, así como los jugos sin cáscara del municipio de San Blas, presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades (anexo 6).

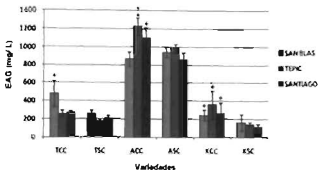
Se observó una correlación entre 0.70 y 0.77 entre la determinación de SST ($^{\circ}\text{Bx}$) con respecto a las determinaciones de CFT, y la actividad antioxidante para los métodos ABTS••, DPPH• y FRAP, así como una muy baja correlación ($r^2 < 0.5$) con respecto al resto de las determinaciones (anexo 7); a partir de los valores de correlación mencionados anteriormente se puede decir que los $^{\circ}\text{Bx}$ puede influir en la

capacidad antirradical así como en la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II), debido a la presencia de vitaminas, compuestos fenólicos, entre otros.

En un estudio realizado por Corral-Aguayo *et al.*, (2008) se encontró un promedio de SST ($^{\circ}$ Bx) en mango de 21.1 Por otro lado Manthey y Perkins-Veazie (2007) en una investigación realizada sobre la variación relativa de nutrimentos entre las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent provenientes de México, Brasil, Ecuador y Perú, reportan un promedio de SST ($^{\circ}$ Bx) para las variedades mexicanas de 18.5, 13.9 y 16.2 respectivamente, siendo la variedad Ataulfo la que presentó el mayor porcentaje de SST. Los valores obtenidos de SST ($^{\circ}$ Bx) en el presente estudio, respecto a la variedades estudiadas, son similares a los reportados por la literatura antes mencionada. Cabe mencionar que para los jugos de mango de las tres variedades analizadas, entre los SST se encuentra la presencia de moléculas bioactivas, tales como vitaminas, minerales, polifenoles, pigmentos, entre otros.

4.3. Determinación de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Los valores promedio de CFT de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 7.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 7. Concentración de Compuestos Fenólicos Totales (CFT) de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentaron las concentraciones más altas de CFT (1226.3 mg EAG/L), mientras que los jugos de la variedad Kent sin cáscara del municipio de Santiago, presentaron las concentraciones más bajas de CFT (113 mg EAG/L).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades, con valores más de 10 veces superiores a los de la variedad Kent (anexo 6).

Se pudo observar una alta correlación entre la determinación de CFT y la actividad antioxidante para los métodos ABTS•+, DPPH• y FRAP, con una r^2 de 0.94, 0.96 y 0.91 respectivamente; así como una baja correlación con respecto a la determinación de SST (°Bx), ácido ascórbico y flavonoides totales ($r^2 < 0.8$), mientras que una muy

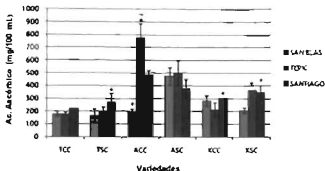
baja correlación ($r^2 \approx 0.4$) para el resto de las determinaciones (anexo 7), lo cual significa que la actividad antioxidante es función de los fenoles totales.

El ácido gálico posee actividad antioxidante y es el polifenol más predominante en la pulpa de mango (Prabha y Patwardhan, 1986), en un estudio realizado por Schieber et al. (2000) encontraron 6.9 mg de ácido gálico/kg de puré de mango, siendo este el principal compuesto entre los ácidos fenólicos encontrados en dicho estudio; de igual manera se sabe que hay una alta concentración de compuestos polifenólicos en la cáscara madura del mango (Ajda et al., 2007). Berardini et al. (2005) reportaron que la mangiferina, quercetina, ácido gálico, kaempferol, rhamnetin y sus conjugados, como los componentes polifenólicos más destacados en la cáscara de mango. En un estudio realizado por Dorta et al. (2012) acerca del efecto de temperatura y solvente sobre la capacidad antioxidante en extractos de cáscara de mango y su composición fitoquímica, se encontró un alto contenido de compuestos fenólicos (suma de flavonoides, taninos y proantocianidinas) de 8.1 a 12 g/100 g de materia seca, con los solventes metanol, etanol agua y acetona agua de un total de siete solventes utilizados, el resto de los solventes fueron etanol, acetona, agua y metanol agua. La concentración de ácido gálico en mango varía, según el tipo de variedad, condiciones de crecimiento, periodos de cosecha y estado de madurez de este (Kim et al., 2007) por lo que la diferencia estadísticamente significativa, surgida, probablemente se debe a este hecho. Por otra parte estudios realizados con distintas variedades de mango demuestran diferencias significativas en el contenido fenólico debido a que los mangos que crecen bajo condiciones simples de cultivo y libres de pesticidas, es decir, no hay un manejo integrado de los árboles frutales (podas, fertilización, control de plagas y enfermedades) lo que les permite crear defensas contra las adversidades del medio ambiente; esto resulta en un aumento de la síntesis de metabolitos secundarios (compuestos fenólicos), y por lo tanto mejora las propiedades funcionales del fruto (Ribeiro et al., 2008).

Cabe mencionar, que no es posible una comparación directa con los resultados reportados con la literatura ya que en el caso de esta investigación se determinó los CFT en el jugo de mango en términos de mililitros, mientras que en la literatura se reporta la concentración de la pulpa en términos de gramos en base seca. Esto mismo sucede con el resto de las determinaciones llevadas a cabo en este estudio.

4.4. Determinación de ácido ascórbico

Los valores promedio de ácido ascórbico de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 8.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivos de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 8. Concentración de ácido ascórbico de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentaron las concentraciones más altas de ácido ascórbico (777.7 mg/100 mL), mientras que los jugos de la variedad Tommy Atkins sin cáscara del municipio de San Blas, presentaron las concentraciones más bajas de ácido ascórbico (166.2 mg/100 mL).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades con una concentración 4 veces más de ácido ascórbico que los de la variedad Tommy Atkins y Kent (anexo 6).

Se observó una alta correlación entre la determinación de ácido ascórbico y la actividad antioxidante para el método DPPH• con una $r^2 = 0.80$, así como una baja correlación con la concentración de CFT y actividad antioxidante para el método ABTS•+ y FRAP con una $r^2 \leq 0.80$, y una muy baja correlación ($r^2 \leq 0.50$) para el resto de las determinaciones (anexo 7); a partir de las correlaciones mencionadas anteriormente podemos decir que la capacidad antioxidante determinada por los

métodos ABTS••, FRAP y actividad quelante no están en función de la concentración de ácido ascórbico presente en los jugos, a excepción de una alta sensibilidad de atrapar radicales libres como el DPPH•. Algunos estudios realizados con el método DPPH• han establecido una alta correlación entre la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos pero una baja correlación con el ácido ascórbico (Luximon-Ramma *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1996). La correlación no solo depende de la concentración y la calidad del antioxidante, sino también de su interacción con otros componentes y la metodología aplicada (Kuskoski *et al.*, 2005).

El ácido ascórbico actúa específicamente con el radical anión superóxido y el radical hidroxilo: es un antioxidante del plasma hidrosoluble, protector de los efectos del tabaco; los ésteres del ácido ascórbico son poderosos inhibidores de la oxidación de lípidos, y regeneradores de la vitamina E (Velázquez *et al.*, 2004). La ingesta de ácido ascórbico puede modificar factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer (Ribeiro y Schieber, 2010).

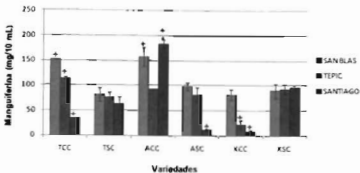
La pulpa de mango contiene ácido ascórbico e hidroascórbico, la literatura reporta una gran variación en el contenido de ácido ascórbico que va desde los 9.79 a 186 mg/100 g de pulpa de mango (Ribeiro y Schieber, 2010; Corral-Aguayo *et al.*, 2008; Ribeiro *et al.*, 2007; Reys y Cisneros-Zevallos, 2007; Gil *et al.*, 2006; Franke *et al.*, 2004; Vinci *et al.*, 1995; Nisperos *et al.*, 1992) tal variación puede ser atribuida al tipo de variedad, factores climáticos, condiciones de cultivo y estado de madurez (Lee y Kader, 2000) (Ribeiro y Schieber, 2010).

En un estudio realizado por Manthey y Perkins-Veazie (2009) sobre la variación relativa de nutrimentos entre las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent provenientes de México, Brasil, Ecuador y Perú, reportan para las variedades mexicanas un promedio de 125.4, 27.4 y 20.1 mg de ácido ascórbico/100 g de muestra de mango Ataulfo, Tommy Atkins y kent respectivamente, siendo el mango Ataulfo el que presentó de 4 a 6 veces más de ácido ascórbico que el resto de las otras variedades.

La pulpa de mango se caracteriza también por la presencia de ácidos orgánicos, principalmente el ácido cítrico y málico que pueden inhibir la oxidación del ácido ascórbico por medio de la quelación de metales (Ribeiro y Schieber, 2010), así mismo los compuestos fenólicos también presentes en la pulpa de mango proveen protección en contra de dicha oxidación (Ribeiro y Schieber, 2010).

4.5. Determinación de manguiferina

Los valores promedio de manguiferina de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 9.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

+Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Figura 9. Concentración de manguiferina de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Santiago, presentaron las concentraciones más altas de manguiferina (182.6 mg/10 mL), mientras que los jugos de la variedad Kent con cáscara del municipio de Santiago, presentaron las concentraciones más bajas de manguiferina (7.33 mg/10 mL).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de Santiago, muestra diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades (anexo 6).

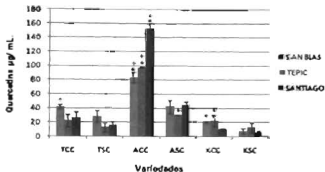
Se pudo observar una baja correlación ($r^2 < 0.60$) entre la concentración de manguiferina y la concentración de compuestos antioxidantes así como con la actividad antioxidante (anexo 7); lo cual significa que los compuestos antioxidantes no están en función de la concentración de manguiferina y las concentraciones presentes en las variedades estudiadas, pueden encontrarse en baja concentración para que la capacidad antioxidante este en función de ella, ya que la actividad

antioxidante es dependiente de la concentración del extracto (Katsube *et al.*, 2003, Robards *et al.*, 1999).

La manguiferina es una xantona, también llamada xantona C-glucósido, posee una alta actividad antioxidante y se encuentra distribuida en las plantas superiores (Martin y Qian, 2008, Sánchez *et al.*, 2000). En un estudio realizado por Berardini *et al.*, (2005) en cáscara de mango Tommy Atkins encontraron que la manguiferina fue el polifenol con mayor presencia, con una concentración de 1690.4 mg/kg de materia seca. Por otro lado Schieber *et al.*, (2000) encontraron en puré de mango una concentración de 4.4 mg de manguiferina/Kg de puré de mango.

4.6. Determinación de flavonoides totales

Los valores promedio de flavonoides totales de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 10.



*Indicó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivos de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 10. Concentración de flavonoides totales de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Santiago, presentaron las concentraciones más altas de flavonoides totales (152.6 µg de quercetina/mL), mientras que los jugos de la variedad Kent sin cáscara del municipio de Santiago, presentaron las concentraciones más bajas de flavonoides totales (5.6 µg quercetina/mL).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de San Blas, Tepic y Santiago, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades, con valores de más de 10 veces superiores a los de la variedad Kent (anexo 6).

Se observó una baja correlación ($r^2 < 0.80$) entre la determinación de flavonoides totales con respecto a la determinación de CFT, y la actividad antioxidante para los métodos ABTS•+ y DPPH•, mientras que para el resto de las determinaciones se observó una muy baja correlación con una $r^2 < 0.60$ (anexo 7); lo cual significa que la baja correlación presentada se pueda deber a que los fenoles, especialmente los

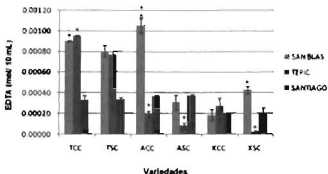
flavonoides poseen una gran capacidad para captar radicales libres (Kuskoski *et al.*, 2005) y por ende esto se ve directamente relacionado con la actividad antirradical por medio de los métodos ABTS•• y DPPH•, y como se mencionó anteriormente la correlación no solo depende de la concentración y la calidad del antioxidante, sino también de su interacción con otros componentes y la metodología aplicada (Kuskoski *et al.*, 2005).

Los flavonoides son los polifenoles más abundantes en la dieta del ser humano. Se clasifican en varias clases, según el grado de oxidación del ciclo heterogéneo del oxígeno en flavonas, isoflavonas, flavononas, flavonoles, antocianinas y proantocianidinas; sin embargo la aparición de algunos de estos flavonoides se limita a unos pocos alimentos (Martin y Qian, 2008). La quercetina es el principal flavonol presente en nuestra dieta, se encuentra en muchas frutas y verduras (Herlog *et al.*, 1992). Los flavonoides son bien conocidos por poseer propiedades antioxidantes, así como antiinflamatorios, analgésicos, anticancerígenos y antimutagénico (Holman *et al.*, 1996). Los principales flavonoides que se encuentran en el mango son: quercetina, isoquercetina, catequina, epicatequina, fisetina, astragalín, Kaempferol y rhamnol (Ribeiro y Schieber *et al.*, 2010; Martin y Qian, 2008). Existen diferencias entre las variedades de mango provenientes de varios países, respecto al contenido y perfil de flavonoides y xantonas (Ribeiro y Schieber, 2010).

En un estudio realizado por Berardini *et al.*, (2005) en cáscara de mango Tommy Atkins encontraron cantidades considerables de quercetina y sus conjugados (1706.7 mg/Kg de materia seca) y debido a ello es probable que los jugos con cáscara de las tres variedades estudiadas en el presente trabajo hayan presentado concentraciones mayores de quercetina que sus correspondientes jugos sin cáscara.

4.7. Determinación de actividad quelante

Los valores promedio de actividad quelante de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 11.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 11. Concentración de la actividad quelante de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de San Blas, presentaron las concentraciones más altas de actividad quelante (0.00105 mol de EDTA/10 mL), mientras que los jugos de la variedad Kent sin cáscara del municipio de Tepic, presentaron las concentraciones más bajas de actividad quelante (0.00002 mol de EDTA/10 mL).

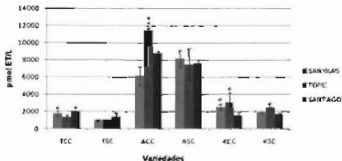
Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de San Blas, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades (anexo 6).

Se observó una muy baja correlación ($r^2 < 0.50$) entre la determinación de la actividad quelante con respecto a las demás determinaciones (anexo 7), lo cual significa que las concentraciones de quelación, expresadas en moles de EDTA, en las variedades estudiadas, no están en función de los compuestos antioxidantes.

La actividad quelante puede tener un efecto antioxidante importante debido a que la quelación de metales como el cobre y hierro puede retardar las reacciones de oxidación catalizadas por estos metales (Lu, 2008, Konrad y Grimm, 2007); de aquí la importancia que tiene el evaluar esta técnica; siendo esta investigación uno de los primeros trabajos que aborda esta cuestión. No se encontraron estudios sobre reportes de actividad quelante en pulpa o cascara de mango.

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

Los valores promedio de actividad antirradical por el método DPPH* de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 12.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

• Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 12. Concentración de la actividad antirradical (DPPH*) de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentaron las concentraciones más altas de actividad antirradical (DPPH*) (11497.5 μmol ET/L), mientras que los jugos de la variedad Tommy Atkins sin cáscara del municipio de San Blas, presentaron las concentraciones más bajas de actividad antirradical (DPPH*) (968.3 μmol ET/L).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades, presentando 10 veces más capacidad de atrapar radicales libres en DPPH* que los jugos de la variedad Tommy Atkins (anexo 6).

Se observó una alta correlación ($r^2 > 0.80$) entre la actividad antirradical del método DPPH* con respecto a la determinación de CFT, ácido ascórbico y la actividad antioxidante para los métodos ABTS•+ y FRAP; así como una baja correlación ($r^2 < 0.80$) respecto a la determinación de Bx y flavonoides totales, mientras que para el

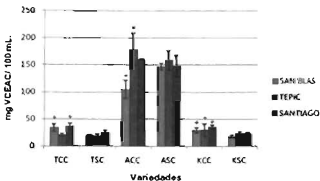
resto de las determinaciones se observó una muy baja correlación con una $r^2 \approx 0.60$ (anexo 7); lo cual significa que la actividad antioxidante es función de los fenoles totales y ácido ascórbico por el método de DPPH^{*}.

El DPPH^{*} es un radical libre que se obtiene sin una preparación previa, presenta una excelente estabilidad en ciertas condiciones, ya que solo puede disolverse en medio orgánico (Kuskoski *et al.*, 2005). Se basa en la reducción de la absorbancia medida a 517 nm del radical DPPH^{*} por antioxidantes. En un estudio realizado por Kuskoski *et al.* (2005) en pulpas congeladas de 11 frutas consumidas en el sur de Brasil, entre ellas el mango, encontraron que éste fue la segunda fruta que presentó la mayor concentración de actividad antioxidante equivalente a trolox con 13,7 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de muestra. Algunos reportes relacionan la capacidad antioxidante con el contenido de fenoles totales (Pinelo *et al.*, 2004; Imeh y Khokhar, 2002) ya que cada componente fenólico puede contribuir de forma y proporción diferente (Kuskoski *et al.*, 2005) por lo que la alta correlación observada ($r^2 = 0.94$) entre la actividad antirradical (DPPH^{*}) y el contenido de CFT se pueda deber a ello.

Ribeiro y Schieber (2010) determinaron la actividad antioxidante por medio del atrapamiento del radical (DPPH^{*}) en pulpas de cuatro variedades de mango (Haden, Tommy Atkins, Palmer y Ubá) siendo la variedad Ubá la que presentó el mayor potencial antioxidante. Posteriormente los investigadores Ribeiro y Schieber (2010) utilizaron la variedad Ubá para ensayos biológicos los cuales fueron llevados con ratas Wistar. Los animales recibieron acetaminofeno en dosis suficientemente altas para inducir el estrés oxidativo en hígado. Su dieta fue suplementada con 3% de pulpa de mango, el cual es un porcentaje equivalente a nivel de consumo humano. después de la inducción del estrés oxidativo, los animales fueron sacrificados recogiendo el hígado para su análisis. El resultado obtenido fue un efecto hepatoprotector debido a una disminución de la peroxidación lipídica; lo cual sugiere que un consumo humano de pulpa de mango en concentraciones similares brinda protección a los tejidos del hígado en contra del daño oxidativo.

4.9. Determinación de la actividad antirradical por el método del ABTS•+

Los valores promedio de actividad antirradical por el método ABTS•+ de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 13.



*Presentó el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

+Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 13 Concentración de la actividad antirradical (ABTS•+) de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentaron las concentraciones más altas de actividad antirradical (ABTS•+) (179.1 mg VCEAC/100 mL), mientras que los jugos de la variedad Kent sin cáscara del municipio de San Blas, presentaron las concentraciones más bajas de actividad antirradical (17.7 mg VCEAC/100 mL).

Los jugos de mango Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades, presentando 10 veces más capacidad de atrapar radicales libres en ABTS•+ que los jugos de la variedad Kent (anexo 6).

Se observó una alta correlación ($r^2 > 0.90$) entre la actividad antirradical del método ABTS•+ con respecto a la determinación de CFT y la actividad antioxidante para los métodos DPPH• y FRAP, así como una baja ($r^2 < 0.80$) correlación respecto a la determinación de $^{\bullet}\text{Bx}$, ácido ascórbico y flavonoides totales, mientras que para el resto de las determinaciones se observó una muy baja correlación con una $r^2 < 0.50$.

(anexo 7) lo cual significa que la actividad antioxidante está en función de los fenoles totales por el método de ABTS•+.

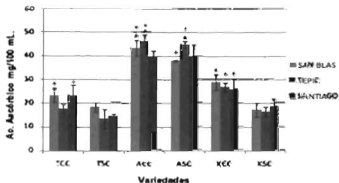
En un estudio realizado por Kuskoski *et al.*, (2005) en pulpas congeladas de 11 frutas consumidas en el sur de Brasil, entre ellas el mango, encontraron que éste fue la segunda fruta que presentó la mayor concentración de actividad antioxidante equivalente al ácido ascórbico 224.7 mg/100 g de muestra.

En un estudio realizado por Dorta *et al.*, (2012) acerca del efecto de temperatura y solvente sobre la capacidad antioxidante en extractos de cáscara de mango y su composición fitoquímica, se encontró una alta capacidad de atrapamiento del radical ABTS•+ con los solventes etanol:agua, metanol:agua, acetona:agua y metanol, de un total de 7 solventes utilizados, el resto de los solventes fueron etanol, acetona y agua. Los extractos de cáscara de mango contienen cantidades considerables de flavonoides, taninos y proantocianidinas Dorta *et al.*, (2012). Así mismo en dicho estudio se pudo observar que temperaturas de extracción por arriba de los 25 °C incrementaban 1.5 veces la actividad antimradical de los extractos de la cáscara de mango especialmente con los solventes etanol:agua y etanol, también se observó una fuerte correlación entre la capacidad de atrapamiento del radical ABTS•+ y el contenido de taninos y proantocianidinas.

La composición fitoquímica de la cáscara, semilla y hueso de mango pueden variar dependiendo del cultivar u otros factores de precosecha como el clima (temperatura, precipitaciones y horas de luz), tipo de suelo y la fertilización (González y González, 2010).

4.10. Determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) (FRAP)

Los valores promedio de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) de los jugos de mango de las variedades Ataulfo, Tommy Atkins y Kent, se muestran en la figura 14.



*Presentaron los mayores valores estadísticamente significativos entre todas las variedades estudiadas.
 +Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Figura 14. Concentración de la capacidad reductora Fe (III) a Fe (II) de los jugos.

Los jugos de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentaron la mayor capacidad reductora Fe (III) a Fe (II) (46.3 mg ácido ascórbico/100 mL), mientras que los jugos de la variedad Tommy Atkins sin cáscara del municipio de Tepic, presentaron la menor capacidad reductora Fe (III) a Fe (II) (13.5 mg ácido ascórbico/100 mL).

Tanto los jugos de mango Ataulfo con y sin cáscara del municipio de Tepic y los jugos Ataulfo con cáscara del municipio de San Blas, muestran diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de las variedades (anexo 6).

Se observó una alta correlación ($r^2 > 0.80$) entre la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) con respecto a la determinación de CFT, y la actividad antioxidante para los métodos DPPH^{*} y ABTS⁺⁺, así como una baja correlación ($r^2 < 0.80$) respecto a la determinación de ²Bx, ácido ascórbico y flavonóides, mientras que para el resto de las determinaciones se observó una muy baja correlación con una $r^2 \leq 0.30$ (anexo

7); lo cual significa que la actividad antioxidante es función de los fenoles totales por el método de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II).

La capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) se basa en reacciones de transferencia de electrones de hierro férrico Fe^{3+} a hierro ferroso Fe^{2+} en presencia de antioxidantes, los cuales actúan como agentes reductores (González Guzmán, 2011).

No se encontraron reportes sobre la concentración de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) expresados en mg de ácido ascórbico, sin embargo Corral-Aguayo *et al.*, (2008) en un estudio realizado sobre capacidad antioxidante en ocho cultivos hortícolas, entre ellos el mango, encontraron en él una capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II), expresada en equivalentes de trolox de aproximadamente 1250 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ de peso fresco.

4.11. Identificación de los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en el jugo que presenta la mayor actividad

4.11.1. Análisis por HPLC-RP (High Performance Liquid Chromatography-Reverse Phase)

En base a los resultados obtenidos sobre actividad antirradical (atrapamiento del radical libre (DPPH•), atrapamiento del catión (ABTS•+), capacidad reductora Fe (III) a Fe (II) (FRAP) y Actividad Quelante) y la correlación existente entre dicha actividad y las concentraciones de CFT, ácido ascórbico, mangiferina y flavonoides totales, se determinó que el jugo de mango de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, presentó la mayor actividad antioxidante. Posteriormente dicho jugo fue analizado por HPLC-RP

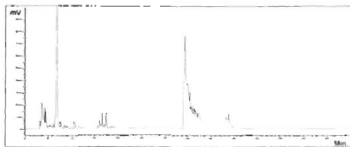


Figura 15. Cromatograma – jugo Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic.

Encontrándose en dos de sus picos una similitud cercana con los tiempos de retención de los estándares de ácido gálico y ácido ascórbico, como se muestra en la figura 16 y 17.

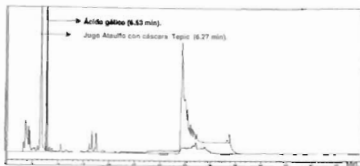


Figura 16. Cromatograma – jugo Acaulfo con cáscara Tepic – ácido gálico.



Figura 17. Cromatograma – jugo Acaulfo con cáscara Tepic – ácido ascórbico.

Como resultado del análisis cromatográfico (HPLC-UV) del jugo con la mayor actividad antioxidante, se obtuvieron 45 fracciones a las cuales se les determinó la capacidad antioxidante en base al método (DPPH[•]) mostrando los siguientes resultados:

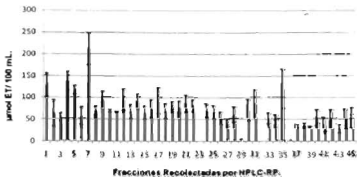


Figura 18. Determinación de la actividad antioxidante (DPPH[•]) en fracciones.

Las fracciones que presentaron la mayor actividad antioxidante (DPPH[•]) son 4, 5, 7 y 35 (figura 18) las cuales coinciden efectivamente con los puntos de retención más representativos presentes en el cromatograma del mango Ataullo con cáscara del municipio de Tepic (figura 15). Una vez identificadas estas fracciones se les determinó la concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) y concentración de ácido ascórbico mostrando los siguientes resultados:

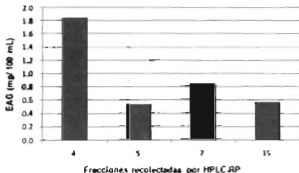


Figura 19. Concentración de Compuestos Fenólicos Totales (CFT) en fracciones.

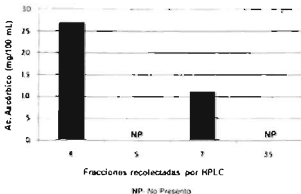


Figura 20 Concentración de ácido ascórbico en fracciones.

Las fracciones 4 y 7 fueron las que presentaron la mayor concentración de compuestos fenólicos totales y ácido ascórbico, así como la mayor actividad antioxidante; y son precisamente estas fracciones las que más se aproximan a los tiempos de retención del ácido ascórbico y gálico por lo que podemos decir que probablemente, si se encuentran en estas fracciones concentraciones de ácido gálico y ascórbico respectivamente, entre otras; para ello fue necesario correr estas fracciones en un HPLC acoplado a un Espectrómetro de Masas para obtener información estructural de las moléculas bioactivas presentes en las fracciones y con lo cual se determinó si efectivamente corresponden a estos ácidos ó a otras moléculas con estructuras similares, lo que le este impartiendo la mayor actividad antioxidante al jugo Atauillo con cáscara del municipio de Tepic.

El cromatograma obtenido del jugo de Atauillo con cáscara (figura 15), muestra la complejidad de la muestra, al presentar varios picos, lo cual indica que hay muchos compuestos químicos presentes en el jugo de mango que aún no están identificados y que pueden llegar a ser de importancia para la salud humana.

4.11.2. Análisis por espectrometría de masas ESI-TOF (Electrospray Ionization-Time of Flight) de las fracciones recolectadas por HPLC-RP que presentan la mayor actividad antioxidante

El análisis por espectrometría de masas ESI-TOF de las fracciones 4 y 7 que presentaron la mayor actividad antioxidante, revelaron la presencia de las siguientes moléculas bioactivas.

***Fracción #4:** Se encontró la presencia de la siguiente molécula $C_6H_8O_6$ (ácido dihidroascórbico) en diferentes versiones: protonado ($C_6H_7O_6$) y con sodio ($C_6H_7O_6Na$) Na.

- ❖ $C_6H_7O_6$: molécula conocida como ascorbato, ácido ascórbico, L-ascorbato, ó vitamina C (figura 21).

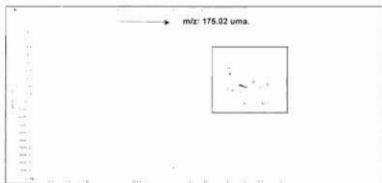


Figura 21. Espectro de masas de $C_6H_7O_6$.

El término vitamina C comprende la combinación de ácido ascórbico y ácido dihidroascórbico, ya que el ácido dehidroascórbico puede ser convertido en ácido ascórbico en el organismo humano (Ribeiro y Schieber, 2010; Linster y Van, 2007).

La vitamina C ó ácido ascórbico es un nutrimento esencial para los mamíferos (Padayatty *et al.*, 2003). La presencia de esta vitamina es requerida para un cierto número de reacciones metabólicas en todos los animales y plantas y es creada

internamente por casi todos los organismos, siendo los humanos una notable excepción, sin embargo su presencia en el organismo humano es de suma importancia ya que es necesaria para la síntesis de colágeno, un componente estructural importante de los vasos sanguíneos, tendones, ligamentos y huesos. La vitamina C también juega un papel importante en la síntesis del neurotransmisor noradrenalina. Los neurotransmisores son fundamentales para la función cerebral y se sabe que afectan el estado de ánimo. Además, la vitamina C es necesaria para la síntesis de carnitina, una pequeña molécula que es esencial para el transporte de los ácidos grasos en orgánulos celulares, llamados mitocondrias, donde se convierten en energía. La deficiencia de vitamina C en el organismo causa escorbuto, de ahí el nombre de ascórbico que se le da al ácido (Higdon, 2006).

- ❖ $(C_6H_8O_7) Na$: molécula conocida como citrato de sodio, citrato monosódico o dihidrógeno monosódico (figura 22).

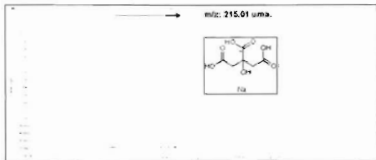


Figura 22. Espectro de masas de $(C_6H_8O_7) Na$.

*Fracción #7.

Se encontró la presencia de los siguientes compuestos ácido *trans*-oránxico $(C_6H_8O_7)$, quercetina aglicona $(C_{15}H_{10}O_7)$ y ácido benzoico $(C_7H_6O_2)$. Sin embargo el ácido gálico no se detectó, ya que quizá el ácido está en una concentración baja debido a la dilución generada por el programa de gradiente utilizado en el HPLC-RP.

- ❖ $C_9H_8O_2$: molécula conhecida como ácido trans-cinâmico, ácido cinâmico, o ácido isocinâmico (figura 23)

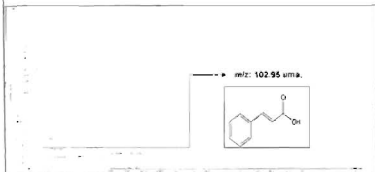


Figura 23. Espectro de masas de $C_9H_8O_2$.

- ❖ $C_{15}H_{10}O_7$: molécula conhecida como quercetina aglicona, quercetol ou quercin (figura 24)

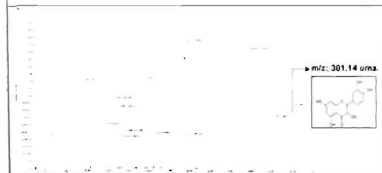


Figura 24. Espectro de masas de $C_{15}H_{10}O_7$.

❖ $C_7H_6O_2$: Fórmula química conocida como ácido benzoico (figura 25).

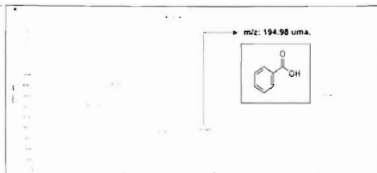


Figura 25. Espectro de masas de $C_7H_6O_2$

Varios reportes científicos sugieren que el contenido fitoquímico de la pulpa del mango consiste en ácido gálico, manguiferina, glicosidos de quercetina y muchos taninos hidrolizables que han sido identificados pero no caracterizados (Ribeiro y Schieber, 2010; Schieber *et al.*, 2000).

Otros compuestos encontrados en menor concentración son el ácido benzoico, ácido *m*-cumárico, ácido *p*-cumárico y el ácido ferúlico (Kim *et al.*, 2007).

4.11.3. Caracterización de los compuestos volátiles de la pulpa del jugo de mango con mayor actividad antioxidante por SPME y por Cromatografía de Gases/ Espectrometría de Masas (CG-EM)

Los volátiles encontrados en la pulpa de mango con cáscara de la variedad Ataulfo del municipio de Tepic, fueron los siguientes: p-xileno, β -pineno, Careofileno, 3-careno, limoneno y α -pineno. Porcentajes correspondientes de probabilidad de aceptabilidad de los volátiles encontrados, en base a la librería NIST 2005 (anexo 8).

Los volátiles cis-ocimeno, α y β -pineno, mirceno y limoneno se destacan como los principales contribuyentes que le imparten el sabor característico al mango, sin embargo estos componentes varían dependiendo de la variedad cultivada (Salazar-Sandoval *et al.*, 2007; Pino *et al.*, 2005).

En un estudio realizado por Salazar-Sandoval *et al.*, (2007), sobre componentes volátiles en mango Ataulfo del Soconusco Chiapas, se encontró que los volátiles presentes en este mango, están formados por una mezcla de monoterpenos y sesquiterpenos, entre los cuales podemos destacar 3-careno, α -pineno, mirceno, limoneno, terpinoleno, β -selineno y el sesquiterpeno tentativamente identificado como germacreno D, como los principales constituyentes. Se determinó que el 3-careno y el α -pineno son los aromáticos que se encuentra en mayor cantidad en las hojas y el fruto inmaduro del árbol de mango de la variedad Ataulfo, mientras que en el fruto maduro, el 3-careno.

Cabe mencionar que el análisis realizado fue exclusivamente para determinar los compuestos volátiles presentes en el jugo pero no su concentración.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

4.11.4. Análisis bromatológico de la pulpa que presenta la mayor actividad antioxidante

El análisis bromatológico de la pulpa de mango con cáscara de la variedad Ataulfo del municipio de Tepic, mostró los siguientes resultados:

Tabla 3. Análisis bromatológico de la pulpa más la cáscara de la variedad Ataulfo del municipio de Tepic (Resultados expresados en base húmeda).

<i>Contenido</i>	<i>Cantidad Por 100 g:</i>
Contenido Energético	381.90 KJ (89.9 Kcal)
Carbohidratos	21.31 g
Proteína	0.79 g
Minerales	0.58 g
Fibra	0.37 g
Grasa	0.17 g

Ribeiro (2006) evaluó la composición química de pulpa de mango de cuatro variedades (g/100 g de pulpa fresca) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Análisis bromatológico de la pulpa de cuatro variedades de mango

<i>Variedad</i>	<i>Humedad</i>	<i>Proteína</i>	<i>Lípidos</i>	<i>Carbohidratos Totales</i>	<i>Kcal (KJ)</i>
Haden	83.61	0.64	0.15	15.31	65.15 (272.77)
Tommy Atkins	84.38	0.55	0.07	14.67	61.51 (257.53)
Palmer	81.96	0.59	0.09	17.02	71.25 (298.31)
Úba	83.17	0.50	0.14	15.87	66.74 (279.43)

La variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic (Tabla 3), muestra valores de los nutrientes semejantes a los de las variedades estudiadas por Ribeiro (2006). Según Ribeiro y Schieber (2010) la composición de los nutrientes del mango

parece diferir muy poco entre variedades, así mismo dichos autores se refieren a la pulpa de mango como fuente de bajo contenido calórico, como lo son la mayoría de las frutas.

Existen pocos estudios sobre el contenido y calidad de la fibra dietética en la pulpa del mango. Es probable que existan diferencias significativas en las cantidades y calidad de las fibras entre las distintas variedades de mango, ya que algunas variedades contienen cantidades mucho más altas de fibra que otras (Ribeiro y Schieber, 2010). Algunos estudios han enfocado sus análisis en la cáscara del mango, ya que esta puede ser considerada una fuente importante de fibra dietética de excelente calidad. Las cáscaras de la variedad Haden contiene altas cantidades de fibra soluble (281 g/Kg de materia seca) y fibra insoluble (434 g/Kg de materia seca) (Larrauri *et al.*, 1996); de acuerdo con algunos autores, un alto porcentaje de la fibra soluble en el mango son pectinas (Sinsakulwat *et al.*, 2008, Berardini *et al.*, 2005).

Diversos estudios han demostrado que el contenido mineral en la pulpa del mango es baja (Ribeiro, 2006; Leterme *et al.*, 2006), como se puede observar en la tabla 3, por lo que la pulpa de mango no es considerada como una fuente importante de estos micronutrientes. Por otro lado la pulpa de mango contiene β -caroteno el cual es el carotenoide más abundante en muchas variedades de mango (Ornelas-Paz *et al.*, 2007, Mercandante *et al.*, 1998) Esto atribuye un valor nutritivo adicional ya que el β -caroteno es un importante precursor de la vitamina A. El consumo de mango es muy importante para algunas poblaciones de las regiones tropicales, donde la deficiencia de vitamina A constituye un problema de salud pública (WHO, 1995).

La cantidad de los nutrientes en el mango está influenciada por diversos factores físicos, químicos y biológicos, tales como la variedad, especie, estado de madurez, factores precosecha y poscosecha (Flores-Hernández *et al.*, 2004, Galati *et al.*, 2003, Gurrieri *et al.*, 2000). Dentro de los factores precosecha y poscosecha se puede mencionar las propiedades de los suelos y las frecuencias de poda.

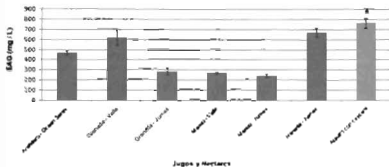
Entre las propiedades del suelo se destaca, el porcentaje de materia orgánica, concentración de fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como el pH, el cual tiene influencia directa en la nutrición de los cultivos. Para efectos de una nutrición balanceada del mango de la variedad Ataulfo del Estado de Nayari, se ha sugerido que el pH del suelo donde se cultiva se mantenga cercano a la neutralidad (7.0) en base en un estudio realizado por Bugarin y Cruz (2011).

La necesidad nutrimental (P, K, Ca, Mg, y N) anual de cada frutal depende principalmente del rendimiento esperado, del crecimiento anual del árbol en brotes nuevos y en estructuras permanentes. Existen diversos factores involucrados en el contenido nutrimental, como lo es la edad del árbol, edad de la hoja, etapas

fenológicas, temperatura, disponibilidad de nitrógeno en el suelo, entre otros (Bugarín y Cruz, 2011).

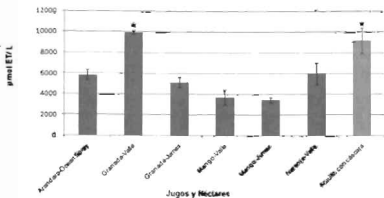
4.12. Actividad antioxidante de jugos y néctares comerciales

Los valores promedio de la concentración de CFT y la actividad antioxidante por los métodos 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) y actividad quelante de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo que presentó la mayor actividad antioxidante (Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic), se muestran en la figura 26, 27 y 28 respectivamente.



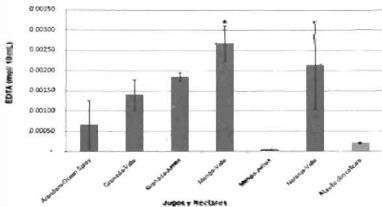
*Presentaron el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

Figure 26. Determinación de CFT de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.



*Presentaron el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

Figura 27. Determinación de la actividad antioxidante por el método (DPPH•) de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.



*Presentaron el mayor valor estadísticamente significativo entre todas las variedades estudiadas.

Figura 28. Determinación de la actividad quelante de los cuatro jugos y dos néctares comerciales, así como del jugo con la mayor actividad antioxidante.

En base a figura 26 y 28, el jugo de mango de la variedad Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, manifestó una concentración superior de CFT y actividad antioxidante por el método (DPPH•), lo cual hace resaltar la importancia del mango Nayanta, en base a sus propiedades antioxidantes, en el mercado nacional de jugos y néctares de frutas.

Respecto a la actividad quelante el jugo Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic, mostró una baja actividad, la cual puede ser considerada benéfica sobre la salud del organismo humano ya que un exceso de quelación sobre los metales, como el cobre y el hierro, puede dejarlos indisponibles en la dieta.

6. CONCLUSIONES

- ❖ La actividad antioxidante del jugo de mango depende del tipo de variedad, lugar de cultivo y de la presencia o ausencia de la cascara en el fruto de mango.
- ❖ La mayor actividad antioxidante la presentaron los jugos de mango de la variedad Ataulfo con cascara, producidos en el municipio de Tepic.
- ❖ Existe una alta correlacion de la actividad antioxidante con la concentracion de compuestos fenólicos totales y ácido ascórbico.
- ❖ Las moleculas identificadas como responsables principales de dicha actividad antioxidante fueron ácido dihidroascórbico protonado, ácido dihidroascórbico con sodio, quercetina, ácido cinámico y ácido benzoico.
- ❖ El jugo de mango de la variedad Ataulfo con cascara del municipio de Tepic presentó una mayor actividad antirradical y concentración de CFT con respecto a los jugos y néctares comerciales analizados.
- ❖ La comercializacion de los mangos producidos en el Estado de Nayarit, sobre la base de sus propiedades antioxidantes, puede generar ventajas competitivas con el desarrollo de nuevos productos con alto valor agregado, lo cual incrementara el valor comercial del mango Nayarita en el mercado nacional y extranjero de jugos y néctares de frutas.

7. RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar un análisis del contenido nutrimental del suelo de las regiones de donde provinieron las variedades de mango estudiadas.
- ❖ Realizar un análisis de HPLC-Espectrometría de Masas del jugo con la mayor actividad antioxidante para cuantificar las moléculas responsables de dicha actividad.

5. LITERATURA CITADA

Ajla, C M, Naidu, K A ; Bhata S G, Prasada, R U J. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry* 105 (3): p 982-988

Ajla, C M, Bhat S G, Prasada, R U J. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102, p. 1006-1011

Ajla C M, Leelavathi, K, Prasada R, U J. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 8 (2) p 319-326

Alvidrez-Morales, A ; González-Martínez, B ; Jiménez-Salas, Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista de salud pública y nutrición* 3(3)

Ames B M, Shigenaga, M K, and Hagwn, T M. (1993). Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, p 7915-7922.

Bangerth F and Carle, R. (2002). Physical, chemical and sensory properties of 9 Thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential in International Symposium "Sustaining, Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia: Challenges for the 21st Century": Chiang Mai Thailand

Berardini, N, Knoedler, M, Schieber, A ; Carle, R. (2005). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6 p 443-453.

Block, G., Patterson, B., Subar, A. (1992). Fruit, vegetables, and cancer prevention. A review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer*, 18: p. 1-29

Bugarin, M. R. y Cruz, B. V. S. Tesis de Maestría. (2011). Asignación de materia seca y extracción nutrimental en brotes anuales de mango cv. Ataulfo manejados con poda mecanizada. Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit.

Bundinsky, A, Wolfram, R, Oguogho, A, Elthimiou, Y, Stamatopoulos, Y, Sinzinger H. (2001). Regular Ingestion of *Cyntha Robusta* Lowers Oxidation Injury Prostaglandins, Leukotrienes Essent. *Factividad Antioxidante Totality Acids* 65: p 45-50

- Cadena agroalimentaria del mango (2003) Elaboración del programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el Estado de Guerrero. Red para el Desarrollo Sostenible de México, A C
- Chang, C. C., Yang, M. H.; Wen, H. M.; Chern, J. C. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10 p. 178-182
- Chávez Contreras, X., Vega-Piña A., Tapia-Vargas L. M., Miranda-Salcedo M. A. (2001) Mango su manejo y producción en el trópico seco de México. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP, División Agrícola de Apatzingán Michoacán, p. 17-22.
- Chhualaf, R., Contreras, P., Withwer, F. (2002) Patogénesis de estrés oxidativo consecuencias y evaluación en salud animal. *Veterinaria México*, 3 (3), p. 265-238
- Choi, S. H., Song, H. S., Ukeda, H., Sawamura, M. (2000) Radical-Scavenging Activities of Citrus Essential Oils and their Components: Detection Using 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48 (9), p. 4156.
- Corral-Aguayo R. D., Yahia M. E., Carrillo-lopez A.; González-Aguilar G. (2008) Correlation between Some Nutritional Components and the Total Antioxidant Capacity Measured with Six Different Assays in Eight Horticultural Crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: pp. 10498-10504
- Day Jr, R. A., Underwood A. L.; (2000) *Química Analítica Cuantitativa*, 5ta. Edición Prentice Hall, p. 588, 665-676
- Durust, N., Dogan, S., Durust, Y. (1997) Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45(6) p. 2085-2087
- Dorta, E., Lobo, G. M., González, M. (2012) Reutilization of Mango Byproducts: Study of the Effect of Extraction Solvent and Temperature on Their Antioxidant Properties. *Journal of Food Science*, 71 p. 80-88.
- Flores-Hernandez, A., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Valdez Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L. (2004) Producción y Calidad de Nopalito en la región de la comarca lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, p. 23-34
- Frankel, E. and Meyer, A. (2000) The problems of using one-dimensional methods to evaluate multidimensional food and biological antioxidants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 80 p. 1925-1941

Franke A. A., Custer, L. J., Araraki, C., & Murphy, S. P. (2004) Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii *Journal of Food Composition and Analysis*, 17 p 1-35.

Galati E. M., Mondello, M. R., Gruffida D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi S. y Taviano, M. F. (2003) Chemical Characterization and Biological Effects of Sicilian *Opuntia ficus-Indica* (L.) Fruit Juice: Antioxidant and Antulcerogenic Activity *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51 p 4903-4908.

García, J. (2003). Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su incorporación en galletas. Tesis de Licenciatura Universidad Tecnológica de la Mixteca: Huajuapán de León, Oaxaca, México

Gaskell, S. J. (1997). Electrospray: Principles and Practice *Journal of mass spectrometry*, 32 p 678.

Georgé S., Brat P., Alter, P., Amiot, M. J. (2005) Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53(5) p 1370-1373

Gil, M. I., Aguayo, E. and Kader, A. A. (2006) Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 p 4284-4296

a) González, A. I. J., Ruiz C. J. A., Martínez P. R. A., Byerly M. K. F., Mena H. L. y Osuna G. J. A. (1998) Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de Bahía de Banderas. Folleto de investigación No 4. SAGAR-INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) - CIRPAC-CESIX, p 53

b) González, A. I. J., Ruiz C. J. A., Martínez P. R. A., Byerly M. K. F., Mena H. L. y Osuna G. J. A. (1998) Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de San Blas. Folleto de investigación No 13. SAGAR-INIFAP-CIRPAC-CESIX p 53

c) González, A. I. J., Ruiz C. J. A., Martínez P. R. A., Byerly M. K. F., Mena H. L. y Osuna G. J. A. (1998) Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el municipio de Tecuala. Folleto de investigación No 16. SAGAR-INIFAP-CIRPAC-CESIX, p 53.

González M., González V. (2010) Sample preparation of tropical and subtropical fruit biowastes to determine antioxidant phytochemicals. *Analytical Methods* 2, p. 1842-66.

Gonzalez, Guzmán R. G. (2011) Capacidad antioxidante de butyl- y fenil-estanoxanos derivados de los ácidos hidrocinámico, *trans*-cinámico y fenilpropiónico. Tesis de Licenciatura. Universidad de Colima, p. 12.

Gučin I, Buyukokuroglu, M. E. and Kufreviöglu, O. I. (2003) Metal chelating and hydrogen peroxide scavenging effects of melatonin. *Journal of Pineal Research*, 34, p. 278-281

Guha, S., Ghosal, S., Chattopadhyay, U. (1996). Antitumor, immunomodulatory and anti-HIV effect of mangiferin, a naturally occurring glucosylxanthone. *Chemotherapy* 42 p. 443-451

Gurrien, S., Miceli, L., Lanza, M., Tomaselli, F., Bocono, P. R. and Rizzarelli, E. (2000) Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48 p. 5424-5431

Haghebaert, K.; David, F. (1996). *International Environmental Technology*, 6 p. 6-7

Harborne, J.B., Williams, C.A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 52, p. 481-504.

Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H., Katan, M. B. (1992) Content of potentially anti-carcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in The Netherlands. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40, p. 2379-2383.

Higdon, Jane Ph.D. (31 de enero de 2006) Vitamin C. Micronutrient Information Center. Oregon State University.

Hinneburg I., Dorman D., Hiltunen R. (2006) Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chemistry*, p. 122-129.

Hollman P. C. H., Hertog M. G. L., Katan M. B. (1996) Analysis and health effects of flavonoids. *Food Chemistry*, 57(1) p. 43-46.

Imeh, U., Kneokhar, S. (2002). Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: p. 6301- 6306.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2000) Carta Edafológica del Estado de Nayarit. Escala 1:400,000

Kathleen, M. L. y Escote-Stump, S. (1998) Vitaminas. *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. Mc Graw Hill México, p. 77-122

- Katsube N, Keiko I, Tsushida, T., Yamaki, K., Kobori, M. (2003). Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 p 68-75
- Kim, Y., Brecht J. K., Talcott S. T. (2007). Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 105 p. 1327-34
- Kim D. O., Lee, K. W., Lee, H. J., Lee, C. Y. (2002) Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolics phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 p 3713-3717
- Knekt P., Jarvinen R., Reunanen, A., Matela J. (1996) Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *British Medical Journals* 312 p 478-481
- Konrad H. y Grimm, P. (2007) Nutrición: texto y atlas (1ra Edición) Buenos aires Madrid
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Garcia-Padilla, M. C., Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Revista Brasileira de Ciencia y Tecnologia de Alimentos*, 24 (4) p. 691-693
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., Fett, R. (2005) Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Revista Brasileira de Ciencia y Tecnologia de Alimentos*, 25 (4): p 726-732
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., Saura-Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fibre. Preparation and characterization. *Lebensm-Wiss Technology* 29 p 729-733
- Lee, S. K. and Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20 p 207-220.
- Lee, J.; Kim, H.; Kim, J. and Jang, Y. (2002). Antioxidant property of ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus indica* var. Saboten. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, p. 6490-6496.
- Leterme, P.; Bulegen, A.; Estrada, F. and Londono, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, 95, p 644-652.

Lewis R J Sr (1989) *Food Additives Handbook*. Van Nostrand Reinhold USA, p. 86-99-102

Linster C L and Van Schaftingen E (2007) Vitamin C Biosynthesis, recycling and degradation in mammals *FEBS (Federation of European Biochemical Societies) Journal* p 1-22

Lu L (2008) *Wheat antioxidants*. USA John Wiley & Sons

Luximon-Ramma A, Bahorun T, Crozier A (2003) Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritanian exotic fruits *Journal of Science and Food Agriculture*, 83: p 496-502.

Martin, Masibo y Qian, He (2008) Major Mango Polyphenols and Their Potential Significance to Human Health. *Comprehensive reviews in food science and food safety* 7 p 311 y 314

Mathey Jhon A and Perkins-Veazie, Penelope (2007). **Report for National Mango Board**. United States Department of Agriculture (USDA)

Mathey Jhon A and Perkins-Veazie Penelope (2009) Influences of Harvest Date and Location on the Levels of β -Carotene, Ascorbic Acid, Total Phenols, the in Vitro Antioxidant Capacity and Phenolic Profiles of Five Commercial Varieties of Mango (*Mangifera indica* L.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 p 10825-10830

Mercandante, A Z and Rodriguez-Amaya D B (1998) Effects of ripening cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango *Food Chemistry* 46 p 128-130.

Morales, F. J. and Jiménez-Peréz, S (2001) Free radical scavenging capacity of maillard reaction products as related to colour and fluorescence *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 72 p 119-125.

Nisperos-Carnedo, M. O., Buslig, B S., Shaw, P E (1992) Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 p. 1127-1130

Ornelas-Paz J J, Yanía, E M, Gardea-Bejar, A (2007) Identification and quantification of xanthophylls esters, carotenes, and tocopherols in the fruit of seven Mexican mango cultivars by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-time-of-flight mass spectrometry [LC-(APCI)-MS] *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: p. 6628-6635.

Padayatty, S., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S., Levine, M. (2003). Vitamin C as an Antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of American College of Nutrition*, 22 (1) p 18-35.

Paquetes tecnológicos para cultivos agrícolas en el estado de Colima (2005). Instituciones participantes en la elaboración Comité Estatal de Sanidad Vegetal (Cesavecol), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) Campo Experimental Tecoman, Universidad de Colima (Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FCB y A.), Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB - SENASICA), SAGARPA Programa de Sanidad Vegetal Distrito de Desarrollo Rural 01 y 02, Secretaría de Desarrollo Rural Dirección de Sanidad e Inocuidad Alimentaria Colima Col.

Pérez Barraza M. H., Vázquez Valdivia V., Osuna, García J., Ríos, Torres A. y López Arriaga G. (2007) Diagnóstico del cultivo de mango en Nayarit. INIFAP Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Folleto Técnico No. 7. p. 5.

Piga, A. (2004) Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional importance. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, 9: p 21.

Pineo M., Monzocco, L., Nuñez, M. J., Nicoli, M. C. (2004) Interaction among phenolics in food fortification: negative synergism on antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, p 1177-1180.

Pino, J.A., Mesa, J., Muñoz, Y., Martí, M.P., Marbot, R. (2005) Volatile components from mango (*Mangifera indica* L.): cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 pp 2213-2223.

Plan rector del sistema producto mango Diagnóstico Estatal del sistema Producto Mango en el Estado de Nayarit. Consultado el 18 de Octubre del 2011 en <http://amsda.com.mx/PREestatales/Estatales/NAYARIT/PREMango.pdf>.

Plasencia, Villa Germán. Curso de métodos. Espectrometría de masas. Maestría en Ciencias Bioquímicas. Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Junio del 2003, Cuernavaca Morelos. p. 14-16; 22-24.

Prabha T. N., Patwardhan M. V. (1986). Endogenously oxidizable polyphenols of mango, sapota and banana. *Acta Alimentaria* 15, p. 123-8.

Frior, L. R. (2003) Fruits and Vegetables in the Prevention of cellular oxidative damage. *American Journal of Clinical Nutrition* 78: p 570-578.

- Re R, Pelegrini N, Prolegente A, Pannata A, Yang M, Rice-Evans C (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, p. 26
- Reys L F and Cisneros-Zevallos L (2007). Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during postharvest storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, p. 6132-6139.
- Rhian M T. (2004) Especies reactivas del oxígeno, estrés oxidativo vascular, y señalización redox en la Hipertensión. *Hipertensión*, 44, p. 248-252.
- Ribeiro S M R (2006). Mango (*Mangifera indica* L.) antioxidant potential characterization and evaluation. Thesis (Doctor Science). Department of Molecular Biology and Biochemistry. Federal University of Vic-osa, Brazil.
- Ribeiro, S M R, Queiroz, J. H., López, M. E L R., Miagres, F. C.; Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2007) Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, p. 13-17.
- Ribeiro, S M R; Barbosa, L C A; Queiroz, J. H.; Knodler M; Schieber, A (2008) Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry*, 110: p. 620-628.
- Ribeiro, S. M R and Andreas, Schieber (2010) Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.). *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables*. Elsevier, 34, p. 507-523.
- Robards, K, Prenzler, P. D.; Tucker, G.; Swatsitang, P.; Glover, W (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, p. 401-436
- Robles-Sanchez R M, Rojas-Grau M.; Odriozola-Serrano I, González-Aguilar G A; Martín-Belloso, O (2009) Effect of minimally processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut 'Kent' mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 51 (3) p. 384-390.
- Rodriguez-Amaya, D. (1999) Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los Carotenoides Provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. Facultad de Ingeniería de alimentos. Universidad Estatal de Campiñas. Campiñas SP Brasil, p. 35-37
- Ross, I. A. (2003). Medicinal plants of the world. Chemical constituents, traditional medicinal uses. Totowa, NJ. Humana Press Inc, p. 315-328.

SAGARPA (2005 y 2008). Superficie de mango, volumen de producción y rendimiento promedio por municipio y variedad. Subdelegación Agropecuaria Programa de Fomento Agrícola y Programa de Sanidad Vegetal. Delegación Estatal en Nayarit.

Salazar-Sandoval I, Santiesteban-Hernandez A, Velásquez-Valdez G, Cruz-López L (2007) Volatiles of Mango var. Ataulfo Characterized by SPME and Capillary GC/MS Spectroscopy. *Journal of the Mexican Chemical Society* 51(3): p 145-147.

Sanchez G M, Re L, Giuliano, A, Núñez-Señes, A J, Davison G P, León-Fernández O S (2000) Protective effects of *Mangifera indica* L. extract, mangiferin and selected antioxidants against TPA-induced biomolecules oxidation and peritoneal macrophage activation in mice. *Pharmacology Research*, 42: p 565-573.

Schieber, A., Ulrich, W; Carle, R (2000). Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1: p. 161-6.

Schieber, A, Berardini N, Carle R (2003) Identification of flavonol and xanthone glycosides from mango (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins) peels by high-performance liquid chromatography – electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: p 5006-5011.

Schieber, A., Hilt, P., Berardini, N., Carle, R. (2004). Recovery of pectin and polyphenolics from apple pomace and mango peels. In *Total Food. Exploiting co-products – minimizing waste*, K. Waldron, C. Faulds & A. Smith Eds, 25-28 Abril. Norwich, UK, p 144-149.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2009 Y 2010) Cierre de la producción agrícola por cultivo, Ciclo perennes, Modalidad temporal, Variedad mango Estado Nayarit.

Sinsakulwat, S., Nagel, A., Srumsiri, P.; Carle, R., Neidhart, S. (2008). Yield and quality of pectins extractable from the peels of Thai mango cultivars depending on fruit ripeness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: p 10727-10738.

Stintzing F C, Schieber, A, Carle, R (2001) Phytochemical and Nutritional Significance of Cactus Pear. *European Food Research and Technology*, 212: p 396-407.

Stintzing F C, Herbach, K M, Mosshammer, M R, Carle, R, Yi, W, Sellappan, S, Akoh, C C, Bunch, R., Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant

- properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2) p 442-451
- Sudhakar, D V, Maini, S B (2000) Isolation and characterization of mango peel pectins. *Journal of Food Process Preservation*, 24 p 209-227.
- Sumaya-Martínez M T; Sánchez-Herrera L. M. Torres-García G., García-Paredes D (2012) Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 24 (13) p 2, 4
- Sun J, Chu Y F, Wu, X, Liu R H (2002) Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 p 7449-7454
- Tesoriero L, Butera D, Pirtaudi, A M, Allegra M, Lievra, M A (2004) Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (2) p 391-395
- Tomás-Barberán, F. A., Llorach, R.; Espin, J C.; Ferreres, F. (2004) Agri-Food Residues as a source of Phytochemicals. *Total Food Proceedings Norwich*, p 42-48
- Vargas, Franklin, Rivas, Carlos, Nursama, Abdoel, Zoltan, Tamara (2007) Reacciones de radicales libres con relevancia biológica en la teoría del envejecimiento. *Avances en Química. Revista en línea redalyc (Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal)* Universidad de los Andes Venezuela 2 (2) p 4
- Vázquez-Valderría, V y Pérez-Barraza M H (2006) Retraso de floración y cosecha del mango cultivar Ataulfo INIFAP. Campo experimental Santiago Ixcuintla, Nay. Folleto técnico No 3 p 8
- Velázquez-Paniagua, M.; Prieto-Gómez, B., Conteras-Pérez, R. (2004). El envejecimiento y los radicales libres. *Ciencias. Revista en línea redalyc (Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal)* 75 p. 36-43.
- Vidal Carou M. (2008). Alimentos Funcionales. Algunas reflexiones en torno a su necesidad, seguridad y eficacia, y a cómo declarar sus efectos sobre la salud. *Revista HUMANITAS. Humanidades Médicas*. Tema del mes on line, 24 p. 3
- Vinci, G, Botrae, F, Mele, G; Ruggieri, G (1995) Ascorbic acid in exotic fruits. A liquid chromatographic investigation. *Food Chemistry*, 53 p. 211-214

Wade L. G. Jr (Whitman College) (2004) *Química Orgánica*. Quinta edición. Editorial Pearson Prentice Hall, p. 490. 519-521

Wang H, Cao G, Prior R L (1996) Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **44** p. 701-705

WHO (World Health Organization) (1995) Global prevalence of vitamin A deficiency, micronutrient deficiency information system, Working Paper 2 WHO, Geneva (Document WHO/NUT/95.3).

Zhishen J, Mengcheng T, Jianming, W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* **64** (4) p. 555-9.

6. ANEXOS

Anexo 1

Reactivos

Folin-Ciocalteu (Megazyme); Carbonato de Sodio (Sigma-Aldrich); Ácido gálico (Megazyme); Etanol (Jaimek); Ácido oxálico (Megazyme); DCPI (2,6-diclorofenolindofenol sal disódica) (Sigma-Aldrich); Acetato de sodio (Megazyme); Ácido acético glacial (Química Meyer); Ácido ascórbico (Megazyme); Ferrozina sal ácida de sodio disulfónico 3-(2-píridil)-5,6-difenil-1,2,4-triazina-4,4'' (Sigma-Aldrich); Cloruro férrico tetrahidratado (Sigma-Aldrich); Metanol (Jaimek); Ácido etilendiaminotetracético (EDTA) (Jaimek); 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) (Sigma-Aldrich); Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcromo (Trolox) (Sigma-Aldrich); 2,2'-azirio-bis (-ethylbenzthiazotone-6-sulfonic acid 3) Diammonium salt (ABTS••) (Biochemika); Persulfato potásico (Sigma-Aldrich); Buffer de fosfato de sodio monohidratado y fosfato de sodio dibásico (Alyt - Sigma Aldrich); Solución Acuosa ($K_3Fe(CN)_6$) (Merck); Ácido Tricloroacético (Jaimek); Cloruro de aluminio (Meyer); Acetato de potasio (Meyer); DMSO (dimethyl Sulfoxide) (Sigma-Aldrich); Manguiferina (Sigma- Aldrich); Nitrito de Sodio (Sigma- Aldrich); Hidróxido de Sodio (Sigma- Aldrich); Quercetina (Sigma- Aldrich); Ac Cinámico (Sigma- Aldrich); Ac Cafeico (Sigma- Aldrich); Ácido Acético (Almacén de Drogas de la Paz); Acetonitrilo (J T Baker); agua destilada, agua desionizada.

Equipo

Extractor de jugos doméstico Breville modelo BJE510XL; Microcentrifuga modelo Eppendorf AG 22331 Hamburg; Refractómetro Digital Atago; Potenciómetro Denver Instrument modelo 250; Balanza analítica modelo BP 221S Sartorius; Vortex Type 16700 mixer Barnstead-ThermoLyne; Lector de microplacas espectrofotométrico modelo Power Wave XS Biotek; Microplacas modelo BD Falcon; Cromatógrafo de líquidos modelo PerkinElmer Instruments Series 200; Detector UV/VIS 785A modelo PerkinElmer; Columna HPLC modelo Discovery C18 (Octadecilo) 5µm (25 cm x 4.6 mm) Supelco (Pennsylvania, USA); Micropipetas Thermo Scientific; Filtros de 0.22 µm marca Millex; Viales eppendorf de 1.5 ml; Cromatógrafo de Gases modelo 3900 marca Varian (Milford, MA, USA); Espectrómetro de Masas (del cromatógrafo de gases) modelo 2100T marca Varian; Columna VF-5ms (30 m x 0.25 mm I.D. 0.25 µm) marca Agilent; Fibra PDMS/DVB (Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene) marca Supelco; Espectrometró de Masas (de ESI-TOF) modelo G1969A marca Agilent; Bomba Bin modelo G1312A marca Agilent; Columna G1316A marca Agilent

Anexo 2

Factores de dilución

*Para la determinación de CFT (Compuestos Fenólicos Totales) en cada variedad de jugo de mango se utilizó el siguiente factor de dilución:

Municipios: San Blas, Tepic y Santiago

Tabla 5. Factores de dilución utilizados en la determinación de CFT

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:5	1:5
Tommy	1:5	1:5
Kent	1:15	1:15

- ✓ Las muestras fueron diluidas con agua destilada.

*Para la determinación de ácido ascórbico en cada variedad de jugo de mango se utilizó el siguiente factor de dilución:

Municipios: San Blas y Santiago

Tabla 6. Factores de dilución utilizados en la determinación de ácido ascórbico para los municipios de San Blas y Santiago

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:4	1:5
Tommy	1:4	1:4
Kent	1:4	1:4

Tabla 7. Factores de dilución utilizados en la determinación de ácido ascórbico para el municipio de Tepic

Municipio - Tepic

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:8	1:8
Tommy	1:4	1:4
Kent	1:4	1:4

- ✓ Las muestras fueron diluidas en ácido oxálico al 0.4%.

*Para la determinación de la actividad antirradical por el método DPPH• en cada variedad de jugo de mango se utilizó el siguiente factor de dilución

Tabla 8. Factores de dilución utilizados en la determinación de actividad antirradical por el método DPPH•

Municipios - San Blas, Tepic y Santiago

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:35	1:35
Tommy	1:5	1:5
Kent	1:15	1:15

- ✓ Las muestras fueron diluidas en agua destilada

*Para la determinación de la actividad antirradical por el método ABTS•• en cada variedad de jugo de mango se utilizó el siguiente factor de dilución:

Tabla 9. Factores de dilución utilizados en la determinación de actividad antirradical por el método ABTS••

Municipios: San Blas, Tepic y Santiago.

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:8	1:8
Tommy	N/A	N/A
Kent	N/A	N/A

- ✓ Las muestras que aplicaron dilución fueron diluidas en agua destilada.

*N/A - No aplica

*Para la determinación de la capacidad reductora por el método de Fe (III) a Fe (II) (FRAP) en cada variedad de jugo de mango se utilizó el siguiente factor de dilución:

Tabla 10. Factores de dilución utilizados en la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II).

Municipios: San Blas, Tepic y Santiago.

Variedad	Factor de Dilución	
	Con Cáscara	Sin Cáscara
Ataulfo	1:2	1:2
Tommy	1:2	1:2
Kent	1:2	1:2

- ✓ Las muestras fueron diluidas en agua destilada.

Anexo 3

Curvas estándar

*Curva estándar de ácido gálico, usada en la determinación de CFT (Compuestos Fenólicos Totales) por el método de Stintzing *et al.*, (2005).

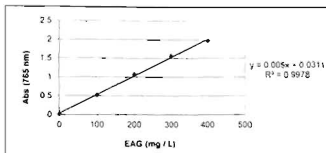


Figura 29. Curva estándar de ácido gálico para la determinación de CFT

*Curva estándar de ácido ascórbico, usada en la determinación de ácido ascórbico por el método de Dürst *et al.*, (1997).

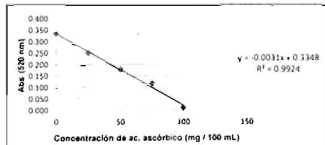


Figura 30. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de ácido ascórbico

*Curva estándar de mangiferina, usada en la determinación de la concentración de mangiferina por el método colorimétrico de cloruro de aluminio (AlCl₃) (Chang *et al.*, 2002)

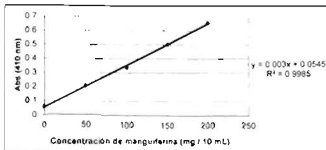


Figura 31. Curva estándar de mangiferina para la determinación de mangiferina

*Curva estándar de quercetina, usada en la determinación de flavonoides totales por el método de Zhishen *et al.*, (1999).

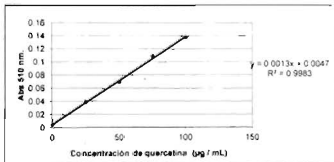


Figura 32. Curva estándar de quercetina para la determinación de flavonoides totales

*Curva estándar de EDTA, usada en la determinación de la actividad quelante por el método de Guicín *et al.* (2003).

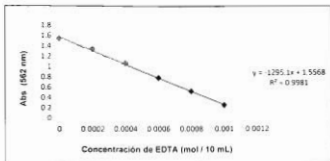


Figura 33. Curva estándar de EDTA para la determinación de actividad quelante

Curva estándar de trolox, usada en la determinación de la actividad antirradical por el método (DPPH) (Morales y Jiménez-Pérez, 2001).

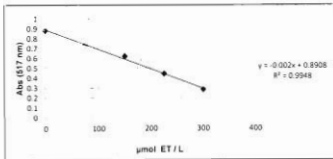


Figura 34. Curva estándar de trolox para la determinación de actividad antirradical (DPPH*)

*Curva estándar de ácido ascórbico, usada en la determinación de la actividad antirradical por el método ABTS•• (Re et al., 1999)

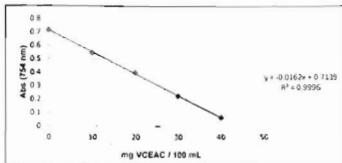


Figura 35. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical (ABTS••)

*Curva estándar de ácido ascórbico, usada en la determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) (FRAP) (Hinneburg et al., 2006)

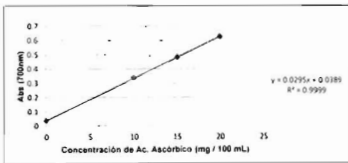


Figura 36. Curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II)

Anexo 4

Cromatogramas de estándares

*Ácido gálico



Figura 37. Cromatograma de ácido gálico.

Tiempo de Retención 6,53 min.

*Ácido ascórbico

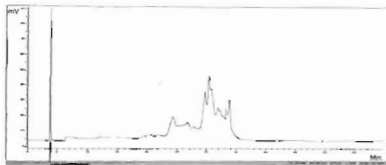


Figura 38. Cromatograma de ácido ascórbico.

Tiempo de Retención 3,57 min.

*Ácido cinámico

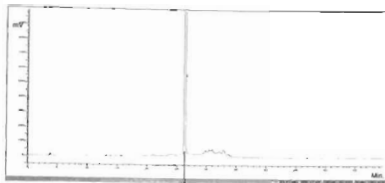


Figura 39. Cromatograma de ácido cinámico.

Tiempo de Retención 26.01 min.

*Ácido cafeico



Figura 40. Cromatograma de ácido cafeico.

Tiempo de Retención 13.15 min.

*Mangiferina

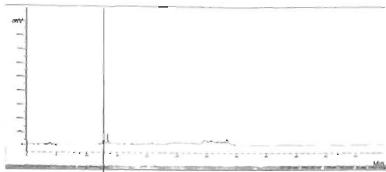


Figura 41. Cromatograma de mangiferina.

Tiempo de Retención 12, 56 min.

*Quercetina

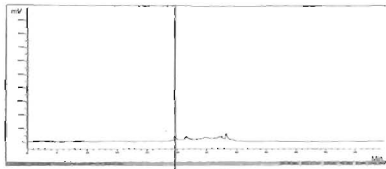


Figura 42. Cromatograma de quercetina.

Tiempo de Retención 24, 42 min.

*La escalas utilizadas en los cromatogramas van de 0-1000 mV (mivolts) a excepción de la utilizada en la corrida de ácido ascórbico que va de 0-90 mV.

Anexo 5

Tabla 11. Diluciones utilizadas en los jugos comerciales y en el jugo con la mayor actividad antioxidante

Jugos	CFT	Actividad antioxidante por el método (DPPH*)	Actividad Quelante
Ataulfo con cáscara del municipio de Tepic	1.5	1.35	Sin dilución
Arandano de Ocean Spray	1.15	1.35	1.15
Granada Del Valle	1.15	1.30	1.15
Granada de Jumex	1.15	1.35	1.15
Naranja del Valle	1.15	1.35	1.15

Tabla 12. Diluciones utilizadas en los néctares comerciales.

Néctares	CFT	Actividad antioxidante por el método (DPPH*)	Actividad Quelante
Mango del Valle	1.15	1.15	1.15
Mango de Jumex	1.15	1.15	Sin dilución

Anexo 6

Tabla 13. Media del potencial de hidrogeno (pH) de las variedades de jugo de mango

Variedad	pH
San Blas	
TCC	3.43 ± 0.467*
TSC	3.75 ± 0.098
ACC	4.30 ± 0.305
ASC	4.30 ± 0.305
KCC	3.75 ± 0.079
KSC	3.82 ± 0.167
Tepic	
TCC	3.93 ± 0.121
TSC	3.84 ± 0.233
ACC	4.07 ± 0.015
ASC	3.91 ± 0.147
KCC	3.55 ± 0.095
KSC	3.59 ± 0.121
Santiago	
TCC	4.26 ± 0.170
TSC	4.35 ± 0.236
ACC	4.49 ± 0.026
ASC	4.42 ± 0.422
KCC	3.76 ± 0.061
KSC	3.63 ± 0.090
PROMEDIO	3.95 ± 0.176

*Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Tabla 14. Medida de Bx de las variedades de jugo de mango

Variedad	Bx
San Blas	
TCC	14.17 ± 0.808
TSC	13.67 ± 1.007
ACC	20.00 ± 1.473 ⁺
ASC	21.53 ± 1.457 ^{**}
KCC	15.23 ± 1.002 ⁺
KSC	13.07 ± 0.751
Tepic	
TCC	16.60 ± 0.819
TSC	15.07 ± 1.159
ACC	17.27 ± 2.838 ⁺
ASC	18.33 ± 1.026
KCC	18.10 ± 1.700 ⁻
KSC	13.03 ± 2.593
Santiago	
TCC	14.13 ± 1.747 ⁻
TSC	13.13 ± 2.079
ACC	19.23 ± 0.850
ASC	18.13 ± 0.751
KCC	15.60 ± 1.473 ⁻
KSC	12.33 ± 1.242
PROMEDIO	16.03 ± 1.376

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan ($p \leq 0.05$)

⁺Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Tabla 15. Medida de CFT de las variedades de jugos de mango

Variedad	EAG (mg/L)
San Blas	
TCC	478.67 ± 145.18-
TSC	261.00 ± 38.74
ACC	867.67 ± 80.35
ASC	944.00 ± 55.87
KCC	245.00 ± 56.79-
KSC	165.00 ± 91.33
Tepic	
TCC	260.00 ± 36.51
TSC	181.33 ± 26.03
ACC	1226.33 ± 92.50**
ASC	989.33 ± 45.65
KCC	364.00 ± 150.88-
KSC	147.00 ± 21.00
Santiago	
TCC	271.00 ± 19.70
TSC	208.33 ± 29.37
ACC	1096.00 ± 120.20+
ASC	858.00 ± 82.21
KCC	267.00 ± 114.47-
KSC	113.00 ± 33.05
PROMEDIO	496.81 ± 68.91

*Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades Duncan ($p \leq 0.05$)

+Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Tabla 16. Media de ácido ascórbico de las variedades de jugo de mango

Variedad	Ac. Ascórbico (mg/ 100 mL)
San Blas	
TCC	179.11 ± 16.88
TSC	166.22 ± 53.54
ACC	309.33 ± 198.53*
ASC	474.44 ± 86.67
KCC	341.33 ± 107.06
KSC	208.00 ± 22.67
Tepic	
TCC	176.44 ± 15.16
TSC	204.44 ± 29.37
ACC	777.78 ± 110.61**
ASC	498.67 ± 100.03
KCC	212.00 ± 54.67
KSC	364.00 ± 0.00*
Santiago	
TCC	221.33 ± 0.00
TSC	274.22 ± 66.00*
ACC	487.22 ± 35.99
ASC	378.67 ± 72.09
KCC	302.67 ± 0.00*
KSC	347.11 ± 53.41*
PROMEDIO	319.55 ± 42.10

*Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan ($p \leq 0.05$)

**Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Tabla 17. Media de manguiferina de las variedades de jugos de mango

Variedad	Manguiferina (mg/ 10 mL)
San Blas	
TCC	151.67 ± 0.33 [*]
TSC	80.33 ± 13.83
ACC	157.28 ± 18.29 [*]
ASC	97.78 ± 6.83
KCC	81.00 ± 10.33 [*]
KSC	89.67 ± 14.33
Tepic	
TCC	113.67 ± 3.00 [*]
TSC	75.78 ± 10.17
ACC	92.89 ± 0.84
ASC	81.00 ± 14.33
KCC	21.83 ± 7.50
KSC	93.22 ± 8.60
Santiago	
TCC	34.33 ± 0.33 [*]
TSC	62.78 ± 13.18
ACC	182.67 ± 8.33 ^{**}
ASC	11.16 ± 1.17 [*]
KCC	7.33 ± 2.67 [*]
KSC	96.66 ± 4.33
PROMEDIO	85.09 ± 7.69

^{*}Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan (p ≤ 0.05)

^{**}Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Tabla 18. Media de flavonoides totales de las variedades de jugo de mango

Variedad	Quercetina ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
San Blas	
TCC	$42.00 \pm 3.00^*$
TSC	28.00 ± 8.00
ACC	$83.67 \pm 7.51^{**}$
ASC	42.33 ± 9.29
KCC	$21.00 \pm 1.00^*$
KSC	7.67 ± 3.51
Tepic	
TCC	22.00 ± 9.00
TSC	12.67 ± 6.35
ACC	$97.67 \pm 0.58^{**}$
ASC	30.33 ± 0.58
KCC	$22.00 \pm 8.00^*$
KSC	12.67 ± 6.43
Santiago	
TCC	26.33 ± 8.08
TSC	15.67 ± 5.03
ACC	$152.67 \pm 7.64^{**}$
ASC	$45.00 \pm 4.00^*$
KCC	10.33 ± 1.53
KSC	5.67 ± 2.52
PROMEDIO	37.88 ± 5.11

*Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan ($p \leq 0.05$)

**Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Tabla 19. Media de la actividad quelante de las variedades de jugo de mango

Variedad	EDTA (mol/ 10 mL)
San Blas	
TCC	0.00090 ± 6.57E-06*
TSC	0.00080 ± 5.52E-05
ACC	0.00105 ± 6.72E-05*
ASC	0.00031 ± 7.34E-05
KCC	0.00019 ± 5.29E-05
KSC	0.00043 ± 3.44E-05*
Tepic	
TCC	0.00095 ± 3.09E-06*
TSC	0.00077 ± 2.97E-05
ACC	0.00019 ± 2.70E-05*
ASC	0.00008 ± 2.97E-05*
KCC	0.00027 ± 7.41E-05
KSC	0.00002 ± 1.35E-05*
Santiago	
TCC	0.00033 ± 0.00004
TSC	0.00033 ± 0.00003
ACC	0.00037 ± 0.00001
ASC	0.00037 ± 0.00001
KCC	0.00020 ± 0.00000
KSC	0.00020 ± 0.00005
PROMEDIO	0.00043 ± 3.37E-05

*Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan ($p < 0.05$)

•Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Tabla 20. Media de la actividad antirradical por el método 1,1-difenil-2-picrilhidracil (DPPH•) de las variedades de jugo de mango

Variedad	$\mu\text{mol ET/L}$
San Blas	
TCC	1708.33 \pm 315.29 ⁻
TSC	968.33 \pm 111.84
ACC	6160.00 \pm 1076.07
ASC	8184.17 \pm 978.18
KCC	2495.00 \pm 357.05 ⁻
KSC	1895.00 \pm 150.06
Tepic	
TCC	1285.83 \pm 236.41
TSC	1030.83 \pm 51.98
ACC	11497.50 \pm 245.00 ^{*•}
ASC	7513.33 \pm 1841.86
KCC	3060.00 \pm 1097.44 [*]
KSC	2402.50 \pm 118.66 [*]
Santiago	
TCC	2002.50 \pm 53.21 ⁻
TSC	1365.00 \pm 432.59
ACC	8796.67 \pm 245.21
ASC	7589.17 \pm 359.64
KCC	1492.50 \pm 405.62
KSC	1695.00 \pm 146.01
PROMEDIO	3952.31 \pm 456.78

⁻Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades, Duncan ($p \leq 0.05$)

^{*•}Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Tabla 21. Medida de la actividad antirradical por el método ABTS** de las variedades de jugo de mango

Variedad	mg VCEAC/ 100 mL
San Blas	
TCC	33.65 ± 7.14*
TSC	20.13 ± 1.21
ACC	104.67 ± 16.46**
ASC	147.00 ± 6.00
KCC	29.50 ± 4.85
KSC	17.79 ± 2.19
Tepic	
TCC	20.65 ± 3.04
TSC	17.98 ± 3.69
ACC	179.17 ± 29.59*
ASC	158.83 ± 17.51
KCC	30.40 ± 11.35
KSC	23.90 ± 2.36
Santiago	
TCC	36.25 ± 6.08*
TSC	24.56 ± 4.73
ACC	160.50 ± 1.32
ASC	148.00 ± 19.62
KCC	35.65 ± 3.43
KSC	24.00 ± 2.09
PROMEDIO	67.36 ± 7.93

*Diferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan ($p \leq 0.05$)

**Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara.

Tabla 22. Media de la capacidad reductora de Fe (III) a Fe (II) (FRAP) de las variedades de jugo de mango

Variedad	Ac. Ascórbico mg/ 100 mL
San Blas	
TCC	23.22 ± 2.73 ^a
TSC	18.41 ± 1.94
ACC	43.36 ± 3.31 ^{**}
ASC	38.21 ± 0.28 ^b
KCC	28.90 ± 3.22 ^a
KSC	17.40 ± 2.94
Tepic	
TCC	17.82 ± 1.76
TSC	13.52 ± 3.95
ACC	46.37 ± 2.52 ^{**}
ASC	45.06 ± 1.48 ^{**}
KCC	27.03 ± 1.79 ^a
KSC	16.67 ± 1.90
Santiago	
TCC	23.36 ± 4.44 ^a
TSC	14.76 ± 0.78
ACC	39.89 ± 2.31
ASC	40.07 ± 4.76
KCC	26.07 ± 4.31 ^a
KSC	18.71 ± 2.79
PROMEDIO	27.71 ± 2.62

^aDiferencia estadísticamente significativa entre todas las variedades. Duncan (p < 0.05)

^{*}Denota diferencia estadísticamente significativa entre los cultivares de mango de la misma variedad con cáscara y sin cáscara

Anexo 7

Tabla 23. Correlaciones entre los compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante

	pH	*Bx	CFT	Ac. Ascórbico	Mangiferina	Flavonoides	Actividad Quelante	DPPH	ABTS	FRAP
pH	1	0.344	0.326	0.201	0.008	0.318	-0.039	0.368	0.403	0.295
*Bx	0.344	1	0.736	0.439	-0.001	0.485	-0.061	0.701	0.714	0.766
CFT	0.326	0.736	1	0.700	0.315	0.794	-0.067	0.944	0.960	0.912
Ac. Ascórbico	0.201	0.439	0.700	1	0.086	0.499	-0.566	0.806	0.786	0.629
Mangiferina	0.008	-0.001	0.315	0.086	1	0.578	0.424	0.227	0.211	0.170
Flavonoides	0.318	0.485	0.794	0.499	0.578	1	0.113	0.743	0.720	0.673
Actividad Quelante	-0.39	-0.061	-0.067	-0.566	0.424	0.113	1	-0.251	-0.213	-0.161
DPPH	0.368	0.701	0.944	0.806	0.227	0.743	-0.251	1	0.963	0.886
ABTS	0.403	0.714	0.960	0.786	0.211	0.720	-0.213	0.963	1	0.901
FRAP	0.295	0.766	0.912	0.629	0.170	0.673	-0.161	0.886	0.901	1

Para efectos de una mejor comprensión de los datos, se tomaron arbitrariamente los siguientes rangos:

- *Correlación muy baja \longrightarrow de < 0.6
- *Correlación baja \longrightarrow de < 0.8 a 0.6
- *Correlación alta \longrightarrow de 0.8 a 1

Anexo 8

Tabla 24. Principales compuestos volátiles encontrados en la pulpa de mango de la variedad Ataulfo con cascara del municipio de Tepec

ATAULFO

Compuesto Volátil	% de Probabilidad
p-xileno	41.4
β -pineno	27.2
Carofileno	17.9
3-careno	15.1
Limoneno	13.9
α -pineno	13.5