



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

Parámetros de calidad y compuestos antioxidantes en siconos de Higo (*Ficus carica* L.)

YAZMIN ZARAGOZA PERALTA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: “PARAMETROS DE CALIDAD Y COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN SICONOS DE HIGO (*Ficus carica* L.)” realizada por la alumna Yazmin Zaragoza Peralta, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA**

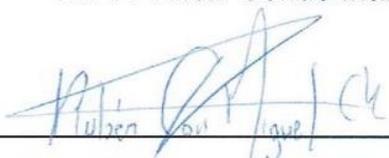
CONSEJO PARTICULAR

Consejero



Dr. F. Víctor Conde Martínez

Asesor



M. C. Rubén San Miguel Chávez

Asesor



Dr. Alfredo López Jiménez

Asesor



Dr. Guillermo Calderón Zavala

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2015.

PARÁMETROS DE CALIDAD Y COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN SICONOS DE HIGO (*Ficus carica* L.)

Yazmin Zaragoza Peralta, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

Resumen

Los compuestos fenólicos son inhibidores potenciales de radicales libres, los cuales son productos de las reacciones oxidativas, que conducen a la generación de enfermedades degenerativas. En México, se desconoce la composición cuantitativa de estos compuestos y los parámetros de calidad de los siconos de Higo (*F. carica* L.). En este trabajo se evaluaron los parámetros de calidad (peso, tamaño, color, firmeza y azúcares totales), el contenido de compuestos fenólicos (fenoles, antocianinas, flavonoides y taninos condensados) y la actividad antioxidante en epidermis y en pulpa de siconos (morado-oscuro) en estado de madurez fisiológica colectados en cuatro sitios: Xaltampa, Xalostoc, Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya. Las determinaciones del contenido de azúcares, compuestos fenólicos y actividad antioxidante, se realizaron mediante métodos colorimétricos. La identificación de los azúcares y compuestos antioxidantes se realizó por cromatografía de líquidos de alta resolución (CLAR). Los parámetros de calidad (excepto el ángulo matiz del color y firmeza) presentaron diferencias significativas entre los sitios de colecta. En la epidermis se observó el mayor contenido de compuestos fenólicos, como grupo predominante fueron, las antocianinas, para los siconos de Tezontepec de Aldama (Hidalgo). Los fenoles y flavonoides totales presentes en epidermis de los siconos de Xalostoc (Morelos) y Tezontepec de Aldama (Hidalgo) contribuyeron con más del 80 % en la actividad antioxidante. La CLAR identificó cuatro azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) y 16 compuestos antioxidantes los cuales variaron en cada tejido y sitio de colecta. Los compuestos antioxidantes mayoritarios correspondieron a los ácidos fenólicos en epidermis de los siconos de Xalostoc (Morelos). Los resultados obtenidos evidencian que los siconos presentan cambios en los parámetros de calidad y compuestos antioxidantes en función del tejido y los sitios de colecta, principalmente por condiciones ambientales. Sin embargo, no se descarta la influencia de otros factores como las prácticas de precosecha (poda, riego, fertilización). Los siconos de epidermis oscura son un alimento con potencial nutraceútico y de alta calidad.

Palabras claves: antioxidantes, calidad, fenólicos, *Ficus carica* L., siconos.

QUALITY PARAMETERS AND ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN SYCONIUMS OF FIG (*Ficus carica* L.)

Yazmin Zaragoza Peralta, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015.

Abstract

The phenolic compounds are potential scavengers of free radicals, which are products of the oxidative mechanisms that may lead to degenerative illnesses. In Mexico, quantitative composition of these compounds and quality parameters in syconiums of fig (*Ficus carica* L.) are unknown. In this work the quality parameters (weight, size, color, firmness and total sugars), polyphenolic compounds content (phenols, anthocyanins, flavonoids and condensed tannins) and antioxidant activity were evaluated in syconium skin (dark purple) and pulp harvested at physiological maturity stage in four sites: Xaltampa, Xalostoc, Tezontepec de Aldama and La Magdalena Panoaya. The sugar content, polyphenolic compounds and antioxidant activity were determined by colorimetric methods. Sugars and phenolic compounds were identified by high performance liquid chromatography (HPLC). Quality parameters (except the hue angle and firmness) were statistically different between the collection sites. The syconium skin had the highest phenolic concentration, such as anthocyanins in syconium of Tezontepec of Aldama (Hidalgo). Total phenols and flavonoids in syconium skin of Xalostoc (Morelos) and Tezontepec de Aldama (Hidalgo) contributed more than 80% in antioxidant activity. Four sugars (glucose, fructose, sucrose and maltose) and 16 antioxidant compounds were identified by HPLC, which vary in each tissue and collection site. The major phenolic compounds correspond to the phenolics acids in syconium skin of Xalostoc (Morelos). This results show changes in the quality parameters and antioxidant compounds according to the tissue and site, mainly environmental conditions. However, the influence of other factors as pre harvest practices (pruning, irrigation, fertilization) were not discarded. Dark purple-skinned syconiums are fruits with nutraceutical potential and high quality.

Keywords: antioxidant, *F. carica* L., phenolics, quality, syconiums.

AGRADECIMIENTOS

A la sociedad mexicana, por las aportaciones económicas que ayudan a promover estudiantes como su servidora, a través de becas de grado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Postgrado en Botánica, por la oportunidad única de desarrollar mis estudios.

A mi consejero, Dr. Víctor Conde Martínez, por las contribuciones a mi trabajo de investigación y el apoyo brindando.

A mis asesores; M. C. Rubén San Miguel Chávez, Dr. Alfredo López Jiménez y Dr. Guillermo Calderón Zavala, por los consejos atinados que enriquecieron mi trabajo de investigación.

A las personas que me facilitaron siconos frescos de sus huertos: Sr. Jiménez Cruz, Dr. Rodríguez Olaya y Dr. López Jiménez.

Al personal del laboratorio y biblioteca, por su enseñanza en el manejo de los equipos y programas.

A mis tíos Ernesto, Nora y Carmen, por la hospitalidad brindada.

A mis papas y hermanos, por su respaldo incondicional durante todo el tiempo.

A mis compañeros, Carmen, Magaly, Sandra y Leodán por su apoyo en los análisis químicos y estadísticos.

A mis amigos, por haber compartido su tiempo conmigo.

DEDICATORIA

A mis papás, Guadalupe y German

A mis hermanos, Néstor y Leni

Mia

Brayan

“Eres indeleble e inevitable.”

Yaz

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO GENERAL	3
2.1. Específicos	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Generalidades de <i>Ficus carica</i> L.	4
4.1.1 Descripción botánica	4
4.1.2 Distribución geográfica.....	6
4.1.3 Origen del cultivo	6
4.2 Cosecha	7
4.3 Producción del cultivo	8
4.4 Composición química de los siconos	8
4.5 Composición nutraceútica de los siconos	8
4.6 Propiedades medicinales de los siconos.....	11
4.7 Actividad biológica y antioxidante.....	12
4.8 Parámetros de calidad de los siconos.....	13
4.9 Compuestos fenólicos	15
4.9.1 Ácidos fenólicos	15
4.9.2 Flavonoides.....	16
4.10 Actividad antioxidante	18
5 MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1 Colecta del material vegetal	20
5.2 Área de estudio	21
5.2.1 Municipio de Xochiapulco	21

5.2.2 Municipio de Ayala	22
5.2.3 Municipio de Tezontepec de Aldama	22
5.2.4 Municipio de Texcoco	22
5.3 Parámetros de calidad	23
5.3.1 Peso.....	23
5.3.2 Tamaño.....	23
5.3.3 Color	24
5.3.4 Firmeza.....	24
5.4 Cuantificación de azúcares y compuestos antioxidantes	25
5.4.1 Preparación de las muestras	25
5.4.2 Azúcares totales.....	25
5.4.3 Compuestos antioxidantes.....	26
5.4.4 Determinación de la actividad antioxidante	29
5.5 Identificación de azúcares y compuestos antioxidantes mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (CLAR).....	29
5.5.1 Azúcares.....	29
5.5.2 Ácidos fenólicos	30
5.5.3 Antocianinas	30
5.5.4 Flavonoides.....	31
5.6 Análisis estadístico.....	31
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1 Parámetros de calidad	32
6.1.1 Peso.....	32
6.1.2 Tamaño.....	33
6.1.3 Color	36

6.1.4 Firmeza	37
6.1.5 Azúcares totales.....	38
6.2 Contenido de compuestos antioxidantes.....	40
6.2.1 Fenoles totales.....	40
6.2.3 Antocianinas totales	42
6.2.3 Flavonoides totales	43
6.2.4 Taninos totales.....	45
6.3 Actividad antioxidante de los grupos fenólicos	46
6.3.1 Contribución por fenoles totales.....	46
6.3.2 Contribución por antocianinas totales	48
6.3.3 Contribución por flavonoides totales	49
6.4 Correlación entre la concentración de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.....	50
6.5 Azúcares y compuestos antioxidantes identificados por CLAR.....	52
6.5.1 Azúcares	52
6.5.2 Ácidos fenólicos	53
6.5.3 Antocianinas	57
6.5.4 Flavonoides.....	58
7 CONCLUSIONES	62
8 LITERATURA CITADA.....	63
9 ANEXOS.....	74
9.1 Anexo 1. Morfología de los siconos de <i>F. carica</i> colectados en cuatro sitios.....	74
9.2 Anexo 2. Condiciones climáticas mensuales de cuatro lugares próximos a los sitios de colecta reportadas en el año 2014.....	75

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
DPPH	2,2 difenil- 1 picril-hidrazil
EAG	Equivalentes de ácido gálico
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
INEGI	Instituto Nacional de la Estadística y Geografía
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Developmet
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

LISTA DE UNIDADES

µg	Micro gramos
µg mL⁻¹	Micro gramos por mili litro
µL	Microlitros
µm	Micrómetros
µM	Micromolar
cm	Centímetros
g	Gramos
h	Horas
m	Metros
M	Molaridad (número de moles por cada litro de solución)
mg	Miligramos
mg 100 g⁻¹	Miligramos por 100 gramos
mg g⁻¹	Miligramos por gramo
min	Minutos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
p/v	Peso en volumen
UV	Luz ultravioleta
v/v	Volumen en volumen

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fecha de colecta de siconos durante el año 2014.....	21
Cuadro 2. Color de la epidermis de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	37
Cuadro 3. Coeficiente de correlación (r) de la concentración total de cada grupo fenólico en epidermis y pulpa y, el porcentaje contribuido en la actividad antioxidante.	51
Cuadro 4. Azúcares (mg g^{-1} PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.....	53
Cuadro 5. Ácidos fenólicos ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.....	56
Cuadro 6. Antocianinas ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ PF) identificadas en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.....	58
Cuadro 7. Flavonoides ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de higo (<i>Ficus carica</i> L.).....	4
Figura 2. Hoja de <i>F. carica</i> L.....	5
Figura 3. Morfología externa e interna de siconos de <i>F. carica</i> L.	6
Figura 4. Defectos físicos en siconos.	14
Figura 5. Estado de madurez fisiológica de los siconos colectados	21
Figura 6. Medición de los siconos de <i>F. carica</i> L.....	23
Figura 7. Medición de textura de los siconos.....	24
Figura 8. Peso fresco de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.....	33
Figura 9. Longitud de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.....	35
Figura 10. Anchura de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	35
Figura 11. Firmeza de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.....	38
Figura 12. Contenido de azúcares totales en epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	40
Figura 13. Contenido de fenoles totales en epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	41
Figura 14. Contenido de antocianinas totales en epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	43
Figura 15. Contenido de flavonoides totales en epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	44
Figura 16. Contenido de taninos condensados totales en epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	46
Figura 17. Contribución en la actividad antioxidante de fenoles totales de epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.....	47
Figura 18. Contribución en la actividad antioxidante de las antocianinas totales de epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	49
Figura 19. Contribución en la actividad antioxidante de los flavonoides totales de epidermis y pulpa de siconos de <i>Ficus carica</i> L., colectados en cuatro sitios.	50

1. INTRODUCCIÓN

Higo o higuera (*Ficus carica* L.) es una especie originaria de Turquía (Marrelli *et al.*, 2012), cuyo cultivo data desde hace 11,000 años, precediendo a los cereales y leguminosas (Kislev *et al.*, 2006). En México el higo fue introducido a los estados de Hidalgo, Guanajuato, Morelos, San Luis Potosí y Zacatecas (Parra, 1996) por misioneros españoles desde 1683 (Storey, 1977).

F. carica es un árbol caducifolio perteneciente a la familia Moraceae (Ribeiro, 2011), se distribuye ampliamente en regiones tropicales y templadas, desde los 900 a 1800 msn. Es tolerante al clima seco y moderadamente al frío, además a suelos permeables, alcalinos, calcáreos, secos y pobres (CONABIO, 2013).

Se caracteriza por poseer hojas palmatilobas pubescentes (CONABIO, 2013) e infrutescencias denominados siconos. Estos son ovoides o piriformes de 5 a 8 cm de largo y recubiertos de una epidermis de coloración café, púrpura o verde amarillento (López *et al.*, 2011). El interior está conformado por una pulpa carnosos-mucilaginosos (Ibarra *et al.*, 2012), aquenios y alrededor de 30 a 1600 semillas (Joseph & Raj, 2011).

A nivel mundial, es uno de los frutales más cultivados y consumidos en fresco o deshidratado (Dueñas *et al.*, 2008; Veberic *et al.*, 2008a; Caliskan & Polat, 2011). La región Mediterránea de Asia integrada por Turquía, Egipto, Marruecos, Argelia, Irán y Siria, contribuye con el 70 % la producción mundial (FAO 2015).

En México se producen 5,255 ton anuales de siconos, de las cuales el 69 % es aportado por el estado de Morelos. Con una menor contribución son los estados de Veracruz (11 %), Hidalgo (10 %), Baja California del Sur y Puebla (4 %) y, Distrito Federal (2 %) (SIAP, 2015). Los atributos de calidad mayormente empleados en la clasificación para consumo en fresco son: el tamaño, peso, firmeza, color de epidermis y pulpa, contenido de sólidos solubles y acidez titulable. Los cuales, son determinantes en la aceptación de sus consumidores (Polat & Caliskan, 2008; Caliskan & Polat, 2012a; Perreira *et al.*, 2015)

Los siconos son utilizados en enjuagues bucales (Martínez, 2008), antiinflamatorio, suplemento alimenticio (Joseph & Raj, 2011) y antipirético (Chawla *et al.*,

2012). Y como alimento por su alto contenido de nutrientes y minerales (Vinson *et al.*, 2005; Caliskan & Polat, 2008; Perreira *et al.*, 2015).

Asimismo, es un alimento rico en compuestos fenólicos (fenoles, antocianinas, flavonoides, taninos condensados) los cuales han demostrado tener un efecto positivo en la actividad antioxidante (Solomon *et al.*, 2006; Dueñas *et al.* 2008; Del Caro & Piga, 2008; Veberic *et al.*, 2008a; Oliveira *et al.*, 2009; Caliskan & Polat, 2011; Vallejo *et al.*, 2012). Debido a la inhibición efectiva de especies altamente reactivas formadas en la oxidación y a la protección de componentes básicos en la célula. Reacciones que contribuyen a la prevención de enfermedades cardiovasculares y crónico degenerativas (Fregoso, 2013).

Actualmente, la información es escasa acerca de los parámetros de calidad y los compuestos antioxidantes en los siconos de huertos establecidos a campo abierto y bajo cobertura en México. La información existente de calidad y composición proviene de siconos colectados en países como Eslovenia, Israel, España, Turquía, Italia, Portugal, Túnez y Algeria. Así como, la mayoría de los compuestos identificados se han realizado a nivel de fruto, fresco o deshidratado. Con base en lo anterior se planteó el siguiente objetivo:

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros de calidad y compuestos antioxidantes en siconos de *Ficus carica* L. de cuatro sitios de colecta.

2.1. Específicos

- Determinar peso, tamaño, color, firmeza y contenido de azúcares de los siconos de *Ficus carica* L.
- Cuantificar el contenido total de fenoles, antocianinas, flavonoides y taninos condensados en epidermis y pulpa.
- Cuantificar la actividad antioxidante de cada grupo fenólico.
- Identificar los compuestos antioxidantes predominantes en epidermis y pulpa mediante cromatografía de líquidos de alta resolución.

3. HIPÓTESIS

- Los parámetros de calidad de los siconos están en función del sitio de colecta.
- El contenido total fenólico en epidermis y pulpa, es similar entre los sitios de colecta, y de cada grupo.
- Los compuestos polifenólicos de la epidermis contribuyen con más del 50 % de la actividad antioxidante comparada con la pulpa.
- El mayor número de compuestos antioxidantes se identifica en la epidermis de los siconos.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Generalidades de *Ficus carica* L.

4.1.1 Descripción botánica

Ficus carica L. es una especie perteneciente a la familia Moraceae. *Ficus* es uno de los 37 géneros incluidos en la familia (Ribeiro, 2011) y está representado por 700 (Ali y Chaudhary, 2011) a 750 especies. Alrededor de 500 especies se distribuyen en Asia y Australia, 150 en Neotrópico y 100 en África (Ribeiro, 2011).

El higo o higuera común es un árbol caducifolio con corteza lisa de color grisáceo (Figura 1) con exudado lechoso o traslúcido. Poseen un sistema radical fibroso que se desarrolla superficialmente cubriendo alrededor de 15 m del terreno. En suelos permeables, el 80 % de las raíces que descienden a 6 m, se encuentran entre 20 y 45 cm de profundidad (CONABIO, 2003).



Figura 1. Árbol de higo (*Ficus carica* L.) situado en Xaltampa, Xochiapulco, Puebla.

Fotografía: Yazmin Zaragoza.

Las hojas alternas presentan venación palmada, rugosas-pubescentes con 3 a 7 lóbulos, miden de 10 a 20 cm de longitud (Figura 2) (CONABIO, 2013). Son deciduas y dejan cicatrices anulares alrededor del tallo (Ibarra *et al.*, 2012).



Figura 2. Hoja de *F. carica*. Fotografía: Yazmin Zaragoza.

Las inflorescencias son axilares, solitarias o en pares, pedunculadas o sésiles. Se asemejan a urnas y, en su interior se unen las flores unisexuales: pistiladas y estaminadas al receptáculo. La flor pistilada (femenina) presenta de dos a cuatro tépalos y un ovario unilocular. Y la flor estaminada (masculina) tiene de dos a seis tépalos y de uno a dos estambres. El único acceso desde el exterior es a través de una abertura apical (ostiolo) protegido de brácteas (Ibarra *et al.*, 2012).

Las infrutescencias denominadas siconos (estructura diagnóstica) (Fig. 3), miden de 5 a 8 cm de largo y tienen sabor dulce. El sicono es ovoide o piriforme y carnoso recubierto con una epidermis muy fina de coloración café, púrpura o verde- amarillento. La pulpa se conforma de tejido de reserva y aquenios (fruto) (López *et al.*, 2011). Los aquenios y alrededor de 30 a 1600 semillas se ubican en las paredes de la pulpa del sicono (Joseph & Raj, 2011).

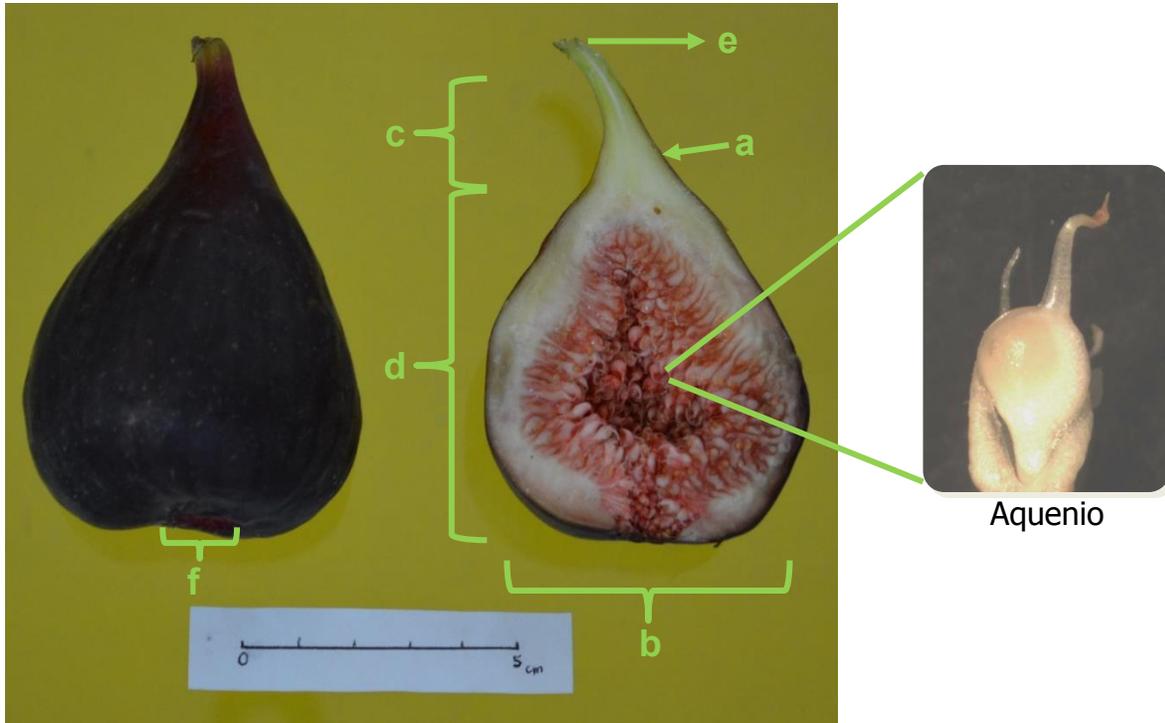


Figura 3. Morfología externa e interna de siconos de *F. carica* L. Las letras indican las partes que lo conforman: a (epidermis), b (pulpa), c (cuello), d (cuerpo), e (base del sicono), f (apertura apical u ostiolo). Vista frontal de aquenio. Fotografía: Yazmin Zaragoza.

4.1.2 Distribución geográfica

Ficus carica (L.) se distribuye ampliamente en clima subtropical con inviernos cálidos, veranos frescos y secos (resistente a sequia). Asimismo, se adaptan al clima frío y veranos calurosos con poca precipitación. No obstante, es moderadamente resistente a heladas. Se desarrolla sobre altitudes bajas a altas desde los 900 a 1800 msm. Se establece en suelos permeables y drenados y es tolerante a suelos alcalinos, calcáreos, secos y pobres (CONABIO, 2013). Se distribuye en regiones tropicales de África, América, Asia y Australia (Berg, 1989).

4.1.3 Origen del cultivo

El higo es un árbol nativo de Caria en Asia, actualmente denominada Turquía (Marrelli *et al.*, 2012) ubicado al suroeste de Asia y este de la región Mediterránea. Es una de las primeras plantas cultivadas por el hombre (Dueñas *et al.*, 2008, Joseph & Raj, 2011). Evidencias arqueobotánicas indican que su cultivo datan desde hace

11,000 años, precediendo a los cereales y leguminosas (Kislev *et al.*, 2006). La higuera ha sido cultivada desde hace muchos siglos en África, de donde paso a Grecia y posteriormente a Italia, Francia, España y Portugal (García, 1941).

Este árbol fue introducido desde Europa a América en el año 1600, pero el cultivo comercial inicio en el año 1900 (Crisosto *et al.*, 2013). Crisosto *et al.* (2010) mencionan que fue introducida a América por los españoles en 1520. En 1769 la misión de San Diego introdujeron el cultivar Mission a California (Flaishman, 2008).

El higo fue introducido en México por misioneros españoles en 1683 (Storey, 1977), quienes establecieron plantas en los atrios de las iglesias en los estados de Hidalgo, Guanajuato, Morelos, San Luis Potosí y Zacatecas. Posteriormente, se distribuyó en todo el país formando huertos familiares. En el siglo XIX, los siconos empezaron a comercializarse a baja escala en fresco y confitado (Parra, 1996).

4.2 Cosecha

La mayoría de las plantaciones de higo producen dos cosechas por año; en primavera y, en verano u otoño, denominada cosecha principal (CONABIO, 2003). La primera cosecha de los siconos se realiza en verano (en los meses de mayo y junio), resultado de inflorescencias desarrolladas en el año anterior. La segunda cosecha se desarrolla en infrutescencias formadas en la temporada anual al finalizar el verano, es decir a finales de julio e inicio de septiembre (Crisosto *et al.*, 2010).

La cosecha de los siconos es variante para cada temporada, debido a las condiciones climáticas y del cultivo (Lodhi *et al.*, 1969). Las condiciones óptimas del cultivo intensivo son el clima semiárido y con riego. Se cultiva en la región mediterránea, desde Turquía, este de España y el oeste de Portugal, Estados Unidos, India y Japón (Marrelli *et al.*, 2012).

En México, las plantaciones de higo se establecen a campo abierto o bajo cubierta. El periodo de cosecha se presenta a partir de junio- julio. Sin embargo, puede fluctuar debido a, la coincidencia con la época de lluvias (García, 2014).

4.3 Producción del cultivo

De acuerdo con, el Departamento de Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés) (2015), la producción mundial anual es de 1, 117,452.0 ton en 358,494.0 ha para el año 2013. El 44 % de la producción se registró en Asia, seguido por África con 37 %, Europa con un 12 % y América con un 7 %. En la región Mediterránea de Asia se produjo el mayor tonelaje de higo en el mundo. En este sentido, Turquía es el país dominante con un 26 % (un tercio de la producción mundial) y, sumados a la producción de Egipto, Marruecos, Argelia, Irán y Siria, representaron casi el 70 % de la producción anual del mundo.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y la FAO (2015), reportaron para el año 2013, que México tuvo una producción de 5,255 ton. Para este mismo año, SIAP publicó, el mayor porcentaje de producción en el estado de Morelos con 69 % del tonelaje nacional. Con menor contribución en la producción nacional son los estados; Veracruz (11 %), Hidalgo (10 %), Baja California del Sur y Puebla (4 %) y, Distrito Federal (2 %).

4.4 Composición química de los siconos

Los siconos están constituidos por ácidos orgánicos, vitaminas (β -caroteno, ácido ascórbico), carotenoides (Caliskan & Polat, 2011), fibra cruda (Dueñas *et al.*, 2008), azúcares predominantemente, fructuosa y glucosa (Caliskan & Polat, 2011). De igual forma, contiene minerales (calcio, potasio, magnesio, hierro, sodio), agua (83 %) (Vinson *et al.*, 2005), aminoácidos (alanina, aspartina, arginina, glicina, fenilalanina), proteínas y enzimas (esterasa, ficina) (Joseph & Raj, 2011). En higo seco, el contenido de fibra es mayor que en higo fresco (Vinson *et al.*, 2005).

4.5 Composición nutraceútica de los siconos

Se ha reportado el contenido de compuestos de naturaleza fenólica con actividad antioxidante en muestra fresca y seca de los siconos completos y, diferencial

en epidermis y pulpa. Los fenoles totales (ácidos fenólicos), antocianinas, flavonoides y taninos condensados son los grupos de compuestos con propiedades antioxidantes.

Los siconos de la variedad Mission colectados en Israel, contienen altos valores de flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante. La fracción con antocianinas de esta variedad contribuyó con un 36 % en la actividad antioxidante. La cianidina 3-O-rutinosido (C3R) contribuyó con el 92 % de la actividad antioxidante total (Solomon *et al.*, 2006).

Por otro lado, Dueñas *et al.* (2008) identificaron 15 antocianinas en epidermis y pulpa de cinco variedades de *Ficus carica* L., colectados en España y Turquía. Predominó la cianidina como aglicona y derivados de pelargonidina. Los azúcares sustituyentes encontrados fueron la rutinosa y glucosa. El contenido total de antocianinas fue de 32 a 97 $\mu\text{g g}^{-1}$ en epidermis y de 1.5 a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$ en pulpa. La antocianina con mayor concentración en ambas partes, fue la cianidina 3-rutinosido seguido de cianidina 3-glucósido. En pulpa, se detectó en menor concentración a la peonidina 3-rutinosido.

Asimismo, Del Caro & Piga (2008) identificaron mayores concentraciones de fenoles en epidermis que en pulpa de dos cultivares italianas. La epidermis presentó la mayor concentración de rutina con 527 hasta 1071 mg Kg^{-1} PF para Mattalona (tipo oscura) y San Pedro (tipo blanca), respectivamente. La cianidina 3-O-rutinosido fue encontrada en ambos tejidos, mientras que la cianidina 3-O-glucósido solo en la epidermis de la variedad tipo oscura. Los ácidos, clorogénico y cinámico se detectaron en epidermis de ambas variedades.

Veberic *et al.* (2008a) reportaron el contenido de ácidos fenólicos en tres cultivares de higo (Skofjotka, Crna petrovka, Miljska figa) para la primera y segunda temporada de cosecha provenientes de huertos de la zona costera de Eslovenia (Norte del Mediterráneo). El contenido de ácidos fenólicos por cada 100 g de materia fresca fue; 0.38 mg de ácido gálico, 4.03 mg catequina, 0.97 mg epicatequina, 1.71 mg ácido clorogénico, 0.10 mg ácido siríngico y 28.7 mg rutina. En mayor concentración se encontró ácido clorogénico, seguido de ácido gálico y finalmente ácido siríngico.

Veberic *et al.* (2008b) reportaron el contenido de azúcares, ácidos orgánicos, fenoles totales y actividad antioxidantes en higos frescos de las variedades Bela pretovka (tipo blanca) y Crna petrovka y Miljska figa (tipo oscura) establecidas en Eslovenia. Los higos de las variedades tipo oscura tuvieron el contenido de fenoles totales (274.9 a 454.6 mg EAG Kg⁻¹) y la actividad antioxidante, más altos en relación a Bela pretovka.

Oliveira *et al.* (2009) identificaron compuestos fenólicos y ácidos orgánicos en hojas, pulpa y epidermis de dos variedades blancas de *F. carica* (Pingo de Mel y Branca Tradicional) provenientes de Portugal. Todas las muestras presentaron ácidos 3-O- y 5-O-cafeiquínico, ácido ferúlico, quercetina -3-O-glucósido, quercetina -3-O-rutinósido, psoraleno and bergapteno.

Vallejo *et al.* (2012) reportaron las mayores concentraciones de polifenoles en epidermis (antocianinas) que en pulpa (proantocianinas) de 18 cultivares de *F. carica* L., de dos periodos de cosecha, provenientes del sureste de España (Alicante). Principalmente, se identificaron cinco compuestos: cianidina 3-rutinósido, quercetina 3-rutinósido, ácido clorogénico, luteolina y apigenina–rutinósido.

El contenido de compuestos fenólicos en higos (deshidratados) de los fenotipos negro y rojo colectados en Medenine (Túnez), osciló entre 29.18 y 55.56 mg kg⁻¹, respectivamente. La composición fue representada por ácido 5- O-cafeiquínico, ácido 3-O-cafeiquínico, ácido ferúlico, quercetina y quercetina -3-O- rutinósido, siendo esta la más representativa. La actividad antioxidante de las muestras contra DPPH• y superóxido, fue dependiente de la concentración fenólica (Faleh *et al.*, 2012).

Bachir *et al.* (2013) determinaron el contenido de fenoles totales en higos deshidratados de dos variedades (Taamaritwthe y Azenjar) de *F. carica* L., cosechados en la región de Bajaia (norte de Algeria). Los valores para cada variedad fueron, 464.46 y 399.79 mg EAG 100 g⁻¹.

4.6 Propiedades medicinales de los siconos

Joseph & Raj (2011) mencionan que los siconos frescos son utilizados para contrarrestar padecimientos como fiebre y ataques epilépticos en ciudades del Mediterráneo. Pastas tibias elaboradas con higo son aplicadas cutáneamente para aliviar inflamaciones o tumores.

De acuerdo con Martínez (2008), en la región central de la provincia de Córdoba en Argentina, la aplicación directa de fruto seco y caliente en la piel, favorece la maduración de pústulas y furúnculos. El extracto crudo de higo seco es utilizado como enjuague bucal en afecciones aftosas y dolor de muelas. De igual forma, en desórdenes urinarios para la dilución de cálculos. García (1941) menciona que, con el zumo de higos maduros se preparan bebidas pectorales.

Por otra parte, los siconos secos constituyen un suplemento alimenticio para diabéticos. Debido al alto contenido de hierro, el higo es incluido en la dieta de personas anémicas. La ingesta de una cucharada de ceniza de los siconos contribuye en la disminución de la acidez estomacal (Joseph & Raj, 2011). Asimismo, el látex y los frutos son empleados en el tratamiento de estreñimiento, disentería y enteritis (Gruenwald *et al.*, 2000), espasmos (Gilani *et al.*, 2008).

Los siconos son empleados en tratamientos de lepra, hemorragia nasal, parálisis, dolor de pecho. De igual forma como, antipirético, afrodisiaco, emoliente, demulcente. El aceite de las semillas es usado como lubricante y alimento (Chawla *et al.*, 2012).

A nivel mundial, es uno de los frutales más cultivados y consumidos en fresco o deshidratado con alto contenido de nutrientes (Dueñas *et al.*, 2008; Veberic *et al.*, 2008a; Caliskan & Polat, 2011;). En Turquía, ha sido un alimento estable por miles de años (Cakmar *et al.*, 2010), de forma fresca se puede ingerir el fruto completo o desprovisto de la epidermis. Los higos desprovistos de epidermis son servidos con crema y azúcar (Chawla *et al.*, 2012) y los higos deshidratados o secos han sido empleados para contrarrestar la hambruna y promover una condición saludable para el consumidor. Son presentados comercialmente en pasta, concentrado, jalea, vino,

pulverizado (Barolo *et al.*, 2014), mermelada, helados (Chawla *et al.*, 2012). En Sudamérica, el higo es ampliamente conocido como alimento y apreciado en dulces, jaleas y pasteles (Martínez, 2008).

4.7 Actividad biológica y antioxidante

Se han reportado compuestos bioactivos localizados en hojas, tallos, látex y frutos de *F. carica* que promueven beneficios en la salud. Las propiedades de compuestos en hojas son: la antimicrobiana, antifúngica, actividad antioxidante, citotóxica, pirético. Ahmad *et al* (2013) reportaron la actividad antimicrobiana de extractos metanólicos de hojas de *F. carica* para *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Enterobacter aerogenes* y *Staphylococcus epidermis*. Así como, la actividad antioxidante con valores de 0.18 a 10.22 %.

Patil *et al.* (2010) encontraron que los extractos etanólicos de hojas de *F. carica* tienen un efecto comparable al paracetamol (agente antipirético estándar) en ratones albinos. Asimismo, los extractos de éter de petróleo, cloroformo y etanol obtenidos de las hojas mostraron una reducción del 71.66 % en el tamaño de granulomas en ratas con respecto a la indometacina.

En el látex se han encontrado agentes citotóxicos como: 6-O-acilo- β -d-glucosil- β -sitosterol, ácidos grasos (palmítico, linoleico, esteárico y oleico, que tienen un efecto inhibidor sobre células cancerígenas (Joseph & Raj, 2011). La ficina (mezcla de proteasas) contenida en el látex presentó un efecto hemostático al disminuir el tiempo de tromboplastina parcial activada y de protrombina en el factor X de coagulación humana (Richter *et al.*, 2002).

Se han identificado compuestos fenólicos que otorgan color, sabor y aroma a frutos, vegetales y subproductos (Veberic *et al.*, 2008b). Los compuestos fenólicos presentan un papel importante en la salud humana, como antioxidantes. Debido a, la capacidad de reducir o donar átomos de hidrogeno a otros compuestos, atrapando radicales libres, e inhiben reacciones de oxidación que conducen a enfermedades

degenerativas, cancerígenas, mutagénicas, inflamatorias, microbianas, neurológicas (Kuskoski *et al.*, 2004, Veberic *et al.*, 2008; Caliskan & Polat, 2011).

4.8 Parámetros de calidad de los siconos

La calidad es el grado de excelencia o superioridad de frutos frescos, descrita por una serie de atributos, propiedades o características que ofrecen un valor en términos de alimento para humanos. Estos se dividen en externos (apariciencia) e internos (valor nutricional) (Kader, 1999). Con un enfoque nutricional, se destaca la composición bioactiva de los frutos (Kader, 1999). La importancia de cada componente de la calidad depende del producto, uso (fresco, procesado) y el interés de los productores, comercializadores y consumidores (Barreiro & Ruiz- Altisent, 1996; Kader, 1999; Flores, 2009).

En higo fresco (*F. carica*) los atributos de calidad son: el tamaño, peso, firmeza, color de epidermis y pulpa, contenido de sólidos solubles y acidez titulable. Los cuales, son determinantes en la aceptación de sus consumidores (Polat & Caliskan, 2008; Caliskan & Polat, 2012a; Perreira *et al.*, 2015). En campo, el color y la firmeza son los parámetros que describen la calidad de siconos frescos (Crisosto *et al.*, 2013). En este sentido, el estado fenológico es un factor clave en la calidad composicional (Marreli *et al.*, 2012).

El color de la epidermis es medido con un colorímetro triestímulo cuyo sistema es $L^* a^* b^*$, que usa sensores que simulan el modo en el que ojo humano ve el color. Expresa el color en forma numérica y, cuantifica la diferencia de color entre un estándar y una muestra de producción (Angón-Galván *et al.*, 2006). Es expresado en luminosidad (L), indica claro o blanco (100) u oscuro o negro (0), a y b indican la orientación del color. El valor de a, expresa la tendencia del color, al rojo (positivo) o al verde (negativo). Y el valor de b, indica la tendencia del color, al amarillo (positivo) o al azul (negativo) (Polat & Caliskan, 2008).

La firmeza es un atributo textural, determinada por la resistencia a la rotura (ensayo de penetración Magness- Taylor) (Barreiro y Ruiz- Altisent, 1996; Flores,

2009). Es medida como la fuerza máxima de penetración con punzón de 8 mm (=0.5 cm²), expresada en N o kg (1kg=9.8N) (Lleó *et al.*, 1999). La cual establece el momento óptimo de la cosecha, almacenamiento, comercialización en fresco o procesado (Barreiro y Ruiz- Altisent, 1996).

Crisosto *et al.* (2010) incluyeron como atributos de calidad; la producción de etileno, respiración (producción de dióxido de carbono) y actividad antioxidante. Por otra parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (por sus siglas en inglés OECD, 2015) enuncia que, la ausencia de defectos físicos (Figura. 4) (perforaciones, manchas, roturas de epidermis, arrugamientos), defectos mecánicos, fisiológicos (marchitez), patológicos, son componentes que suman mayor calidad al producto.

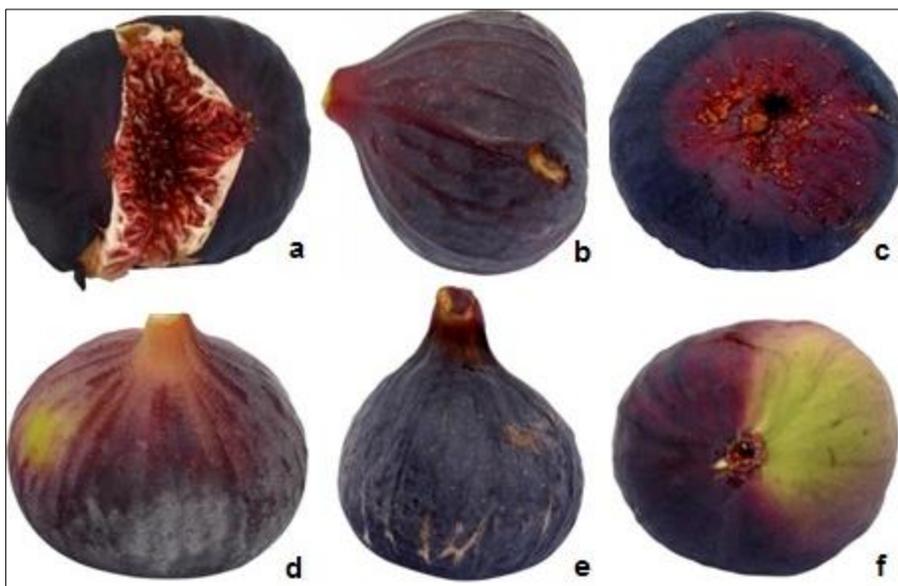


Figura 4. Defectos físicos en siconos: **a** división del fruto, **b** daño mecánico, **c** pudrimiento, **d** sucio, **e** no fresco, **f** coloración heterogénea (OECD, 2015).

En términos de conservación in situ y ex situ de recursos genéticos de *F. carica*, se emplean otros parámetros como; largo y ancho del sicono, índice de forma, largo del cuello, diámetro del ostiolo (Gozlekci, 2011). En el diseño de sistemas de empaquetado, el área proyectada (largo, ancho y el diámetro medio), representa un criterio recomendado en el diseño de sistemas de clasificación de higos (Shahbazi & Rahmati, 2012). Así como, el índice de forma es un valor útil en el empaquetado y transporte.

4.9 Compuestos fenólicos

Son metabolitos secundarios con mayor representación en plantas (frutos y vegetales) (Tawfik & Alhejv, 2014), y se reconocen alrededor de 8000. Estructuralmente están formados por al menos de un anillo, unido a uno o más grupos hidroxilo, libres o conjugados (éteres, ésteres o glucósidos) (Ignat *et al.*, 2011; Khoddami *et al.*, 2013). El anillo aromático se biosintetiza a partir de las rutas, shikimato y acetato (poliacetato). Y un tercer bloque de construcción, la ruta de mevalonato para algunas quinonas o pirano cumarinas (Quiñones *et al.*, 2012).

La ruta del shikimato involucra al ácido shikímico y parte de monosacáridos a aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina), continúa con la desaminación de estos para formar derivados del ácido cinámico: ácidos benzoicos, lignanos, ligninas y cumarinas. (Quiñones *et al.*, 2012). Posteriormente, al condensarse con las unidades de acetato dan origen a la estructura cinamol de los flavonoides y los derivados glucosados o sulfatados (Escamilla *et al.*, 2009). La ruta del acetato conduce a poli- β -cetoésteres de tamaño variable (policétido) que al ciclarse forman productos policíclicos, las isocumarinas, xantonas y quinonas (Quiñones *et al.*, 2012).

Existen moléculas simples y estructuras complejas de alto peso molecular (Crozier *et al.*, 2009; Ignat *et al.*, 2011). Se subdividen en ácidos fenólicos, flavonoides (flavonas, isoflavonas, flavonoles, antocianidinas) y taninos (condensados e hidrolizables) (Ignat *et al.*, 2011). La variabilidad de estos compuestos, está en función de la especie, órgano, origen geográfico, condiciones climáticas, prácticas agrícolas, procesamiento y condiciones de almacenamiento (Faleh *et al.*, 2012).

4.9.1 Ácidos fenólicos

Se encuentran en forma libre o conjugada a enlaces éster, éter o acetal, constituyen un tercio de la dieta (Ignat *et al.*, 2011). Se dividen en hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos. Los ácidos hidroxibenzoicos tienen una estructura básica C6-C1 como; gálico, p-hidroxibenzoico, vainillínico y siríngico. Los ácidos hidroxicinámicos (compuestos aromáticos con una cadena de tres carbonos) están distribuidos de forma conjugada; cafeico, ferúlico, p- coumárico, y sinápico, los cuales tienen la forma básica,

C6-C3 (Crozier *et al.*, 2009; Ignat *et al.*, 2011; Khoddami *et al.*, 2013). Estos se producen como conjugados, por ejemplo con ácido tartárico o ácido tánico, denominados colectivamente como ácidos clorogénicos.

4.9.2 Flavonoides

Son compuestos de bajo peso molecular, formados de 15 carbonos arreglados en una configuración C6-C3-C6. La estructura básica (flaván) es de dos anillos fenilos (A y B), unidos a un anillo heterocíclico o pirano (C). El anillo A es derivado de la ruta de acetato-malonato y los anillo B y C, de la fenilalanina sintetizada de la ruta del shikimato (Crozier *et al.*, 2009; Ignat *et al.*, 2011).

La diversidad de flavonoides está relacionada con los patrones de sustitución en los anillos, pueden ser por; oxigenación, glucosilación, acilación y sulfuración (Ignat *et al.*, 2011; Khoddami *et al.*, 2013). Existen alrededor de 4000 estructuras y se clasifican en flavonas, isoflavonas, flavonoles, flavononas, flavan-3-oles, antocianinas y taninos (Ignat *et al.*, 2011; Khoddami *et al.*, 2013). Y en menor concentración se encuentran otros grupos como dihidroflavonoles, cumarinas, dihidrochalconas, chalconas, auronas (Crozier *et al.*, 2009).

La función de los flavonoides en las plantas es la fotoprotección, anti herbivoría (parásitos, patógenos) y en sistemas biológicos, funcionan como antioxidantes, por la capacidad de desaparecer electrones, quelar metales (Heim *et al.*, 2002; Tomás-Barberán, 2003; Kuskoski *et al.*, 2004) e inhibir la oxidación regulada por enzimas (catalasa y peróxido dismutasa) (Escamilla *et al.*, 2009).

4.9.2.2 Flavonas

Se caracterizan por poseer una estructura 7-O-glucósido. En este subgrupo se encuentra la apigenina y la luteolina, las cuales carecen de oxigenación en C3. No obstante, pueden presentar una amplia gama de sustituciones (hidroxilación, metilación, glucosilación). Se han encontrado en apio, perejil y en especies de cítricos (Crozier *et al.*, 2009).

4.9.2.3 Isoflavonas

Estructuralmente presentan grupos hidroxilos en las posiciones 7 y 4. Se encuentran en plantas como agliconas, acetil o malonil. Actúan como fitoestrógenos debido a la estructura similar con los β -estradiolos (Ignat *et al.*, 2011). La mayoría de las isoflavonas son exclusivas de leguminosas como la soya (Crozier *et al.*, 2009; Quiñones *et al.*, 2012).

4.9.2.4 Flavonoles

Se caracterizan por la presencia de un grupo ceto en el carbono 4, una instauración entre los carbonos 2 y 3 y, un grupo hidroxilo adicional en el carbono 3 (Quiñones *et al.*, 2012). Se encuentran ampliamente en las plantas con excepción de las algas. Los principales flavonoles en la dieta son: kaemferol, quercetina, isorhamnetina y miricetina, los cuales tienen la forma O- glucósido. Generalmente, las sustituciones se localizan en las posiciones 5, 7, 4', 3' y 5' (Crozier *et al.*, 2009).

4.9.2.5 Antocianinas

Antocianinas (proviene del griego *anthos*=flores y *kianos*=azul), son pigmentos hidrosolubles disueltos en la solución vacuolar de células epidérmicas, cuya coloración depende del pH, puede ser rojo, violeta o azul. Se encuentran en hojas, tallos, flores y frutos. Consisten de un anillo aromático A unido al anillo heterocíclico C que contiene oxígeno, el cual está unido a un tercer anillo B. Las antocianidinas glucosadas denominadas, antocianinas (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009; Ignat *et al.*, 2011), son las estructuras más frecuentes y son esterificadas con mono (D-glucosa, D-galactosa, arabinosa, fructosa), di (rutinosa) o trisacáridos (Aguilera *et al.*, 2011; Ignat *et al.*, 2011) en el carbono 3 del anillo C y, en diferentes posiciones hidroxiladas del anillo B (5, 7, 3', 5' y 4') (Bakowska- Barczak, 2010; Quiñones *et al.*, 2012).

Se han reportado alrededor de 300 (Kuskoski *et al.*, 2004) a 500 antocianinas y 23 antocianidinas (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009). Las antocianidinas más frecuentes son pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina y malvidina (Jin-Ming *et al.*, 2003; Castañeda- Ovando, 2009; Ignat *et al.*, 2011). Las tres primeras se concentran en frutos y el resto en flores (Aguilera *et al.*, 2011; Ignat *et al.*, 2011).

En las plantas, las antocianinas funcionan como atrayentes de los polinizadores, o dispersores de semillas y en la interacción coevolutiva planta- animal. Además, pueden actuar como antioxidantes, fitoalexinas y agentes antibacteriales. Algunas de las propiedades asociadas al consumo de las antocianinas son anticancerígena, mantenimiento de la permeabilidad vascular (Jin-Ming *et al.*, 2003; Bakowska- Barczak, 2010), el mejoramiento de la agudeza visual y tratamiento de diabetes tipo II (Bakowska- Barczak, 2010).

4.9.2.6 Taninos

Son compuestos de alto peso molecular entre 500 y 3000 Da (Amarowicz, 2007; Lochab *et al.*, 2014), se subdividen en hidrolizables y condensados. Los taninos hidrolizables son derivados de ácido gálico. Los taninos condensados (proantocianidinas) están formados por polímeros de flavonoles: bloques de flavan- 3- ol, (-)- epicatequina o (+) catequina (Ignat *et al.*, 2011; Vázquez-Flores *et al.*, 2012; Lochab *et al.*, 2014;). En condiciones ácidas a altas temperaturas, se des polimerizan a antocianidinas (Porter *et al.*, 1986; Amarowicz, 2007).

En sistemas biológicos, los taninos son quelantes potentes de cationes metálicos (Fe), agentes precipitantes de proteínas, antioxidantes (Ignat *et al.*, 2011; Vázquez-Flores *et al.*, 2012), inhibidores de enzimas digestivas, vitaminas, minerales y oxidación lipídica. Por otra parte, los taninos contribuyen en el sabor astringente o amargo de los alimentos y bebidas (Amarowicz, 2007; Vázquez-Flores *et al.*, 2012).

4.10 Actividad antioxidante

Es un proceso dado por compuestos antioxidantes (endógenos o exógenos) que retrasan o detienen la formación de radicales libres (productos finales y reactivos de la oxidación), al ceder o inhibir electrones (Mendoza & Fregoso, 2013). Los antioxidantes impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, al reaccionar rápidamente con los radicales libres (Venereo, 2002). De acuerdo a su acción inhibidora, los antioxidantes se clasifican en primarios, secundarios y terciarios (Mendoza & Fregoso, 2013; Venereo, 2002).

Las fuentes de radicales son celulares (macrófagos, endoteliales), enzimáticas (galactosa oxidasa) y agentes externos (humo de cigarro, sustancias de naturaleza

redox, luz solar) (Venereo, 2002). Los principales radicales u oxidantes son, las especies reactivas de oxígeno (ERO) (ión superóxido, radical hidropéroxido, radical hidroxilo) y de nitrógeno (ERN) (óxido nítrico, NO). Los cuales tienen la capacidad de dañar a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Estos efectos contribuyen a un estrés oxidativo no regulado y posteriormente al desarrollo de enfermedades cardiovasculares y crónico degenerativas (Heim *et al.*, 2002; Tomás- Barberán, 2003; Mendoza & Fregoso, 2013).

Los ensayos desarrollados para medir la actividad antioxidante consisten, en la capacidad de eliminar radicales libres generados por la oxidación en las fases acuosas o lipofílicas (Antolovich *et al.*, 2001). De forma *in vitro*, se contrasta frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical. Mediante la pérdida de color que ocurre de forma proporcional con la concentración del compuesto antioxidante (Kuskoski *et al.*, 2005; Mendoza & Fregoso, 2013). Los compuestos cromógenos empleados en determinar el efecto de los compuestos fenólicos son ABTS, DPPH, y FRAP. Los ensayos más empleados son ABTS y DPPH (Antolovich *et al.*, 2001; Kuskoski *et al.*, 2005).

En México no hay información acerca de los parámetros de calidad y bioquímica o nutracéutica de los siconos de *F. carica* L., cosechados en campo abierto o bajo cubierta. La diversidad morfológica de los siconos es amplia y se desconocen las características cuantitativas que describan cada material en relación a las condiciones ambientales y al manejo de pre y poscosecha.

A pesar de ser un frutal cultivado desde hace varios años, presenta bajas expectativas en la alimentación y comercio. Es un frutal de propagación no intensiva y se adapta a condiciones marginales, suelos porosos, salinos y sequias prolongadas.

Por otra parte, los siconos representan una fuente natural y potencial de nutrientes y antioxidantes en la dieta. Debido a la presencia de compuestos polifenólicos o fenólicos que participan en la inhibición eficiente de radicales libres u oxidantes. Tienen la capacidad de donar o recibir electrones a su estructura aromática para estabilizar a los oxidantes. Por lo tanto, participan de forma activa en el sistema antioxidante o de defensa en el cuerpo. En este sentido, los siconos frescos pueden

representar una alternativa terapéutica y natural en el equilibrio entre el sistema antioxidante y pro oxidativo en el cuerpo.

Bajo este contexto, el objetivo general del presente trabajo fue evaluar los parámetros de calidad y compuestos antioxidantes en siconos de *F. carica* L. Los objetivos específicos fueron determinar el peso, tamaño, color, firmeza, contenido de azúcares, fenoles y antocianinas, flavonoides, taninos condensados y actividad antioxidante. Así como, identificar los compuestos antioxidantes predominantes en epidermis y pulpa mediante cromatografía de líquidos de alta resolución.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Colecta del material vegetal

Los siconos se colectaron en estado de madurez fisiológica (Figura 5) durante la temporada de cosecha en 2014 (Cuadro 1), en tres huertos establecidos a campo abierto en las localidades de Xaltampa en el municipio de Xochiapulco (Puebla), Xalostoc en municipio de Ayala (Morelos), Tezontepec de Aldama (Hidalgo) y en un invernadero localizado en La Magdalena Panoaya en el municipio de Texcoco (México). Los siconos colectados se transportaron a 0°C hasta el laboratorio de Bioquímica ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus, Montecillo, Texcoco, Edo., de México para los análisis correspondientes.



Figura 5. Estado de madurez fisiológica de los siconos colectados en Xaltampa (Puebla) [a], Xalostoc (Morelos) [b], Tezontepec de Aldama (Hidalgo) [c] y La Magdalena Panoaya (México) [d].

Cuadro 1. Fecha de colecta de siconos durante el año 2014.

Sitio	Estado	Fecha de colecta
Xaltampa (Xochiapulco)	Puebla	19 Junio
Xalostoc (Ayala)	Morelos	25 Julio
Tezontepec de Aldama	Hidalgo	26 Septiembre
La Magdalena Panoaya (Texcoco)	México	14 Octubre

5.2 Área de estudio

5.2.1 Municipio de Xochiapulco

El municipio de Xochiapulco se encuentra ubicado en el estado de Puebla a 19° 47' y 19° 55' de latitud norte, 97° 36' y 97° 41' de longitud oeste, a una altitud entre 1400 y 2500 m. Limita al norte con los municipios de Tetela de Ocampo, Xochitlán de Vicente Suárez y Zacapoaxtla; al este con el municipio de Zacapoaxtla; al sur con los municipios de Zautla; al oeste con los municipios Tetela de Ocampo (INEGI, 2009a).

Los climas predominantes son el templado húmedo con abundantes lluvias en verano (87 %), templado húmedo con lluvias todo el año (11 %) y semicálido húmedo con lluvias todo el año (2 %). La temperatura oscila entre 14 y 20 °C, con precipitación de 900 a 1 600 mm. La vegetación predominante es el bosque (INEGI, 2009a).

5.2.2 Municipio de Ayala

Está ubicado en el estado de Morelos a 18° 34' y 18° 50' de latitud norte; 98° 50' y 99° 06' de longitud oeste a una altitud entre 900 y 1800 m. Colinda al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla; al este con los municipios de Yecapixtla, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec y Tepalcingo; al sur con los municipios de Tepalcingo, Tlaquiltenango y Tlaltizapán; al oeste con los municipios Tlaltizapán y Yautepec (INEGI, 2009b).

El municipio presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura es de 22 – 24 °C y presenta precipitación de 800 a 1 000 mm. Cuenta con dos tipos de vegetación, selva y pastizal, siendo en mayor proporción el primero (INEGI, 2009b).

5.2.3 Municipio de Tezontepec de Aldama

Se ubica geográficamente en el estado de Hidalgo a 20° 05' y 20° 16' de latitud norte, 99° 12' y 99° 22' de longitud oeste, a una altitud entre 2000 y 2800 m. Colinda al norte con los municipios de Tepetitlán, Chapulhuacán, Chilcuautla y Mixquiahuala de Juárez; al este con los municipios de Mixquiahuala de Juárez y Tlahuelilpan; al sur con los municipios de Tlaxcoapán y Tula de Allende; al oeste con los municipios de Tula de Allende y Tepetitlán (INEGI, 2009c).

El municipio presenta un clima semiseco templado. La temperatura oscila entre 15 - 17 °C, con precipitaciones de 500 a 600 mm. Cuenta con tres tipos de vegetación, bosque (8.0 %), pastizal (8.0 %) y matorral (7.0 %) (INEGI, 2009c).

5.2.4 Municipio de Texcoco

Se encuentra en el estado de México a 19°24' y 19°33' de latitud norte; 98°38' y 99°02' de longitud oeste a una altitud entre 2200 y 4200 m. Colinda al norte con los municipios de Atenco, Chiconcuac, Chiautla, Papalotla y Tepetlaoxtoc; al este con el municipio de Tepetlaoxtoc y los Estados de Tlaxcala y Puebla; al sur con los municipios de Ixtapaluca, Chicoloapan, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl; al oeste con los municipios de Nezahualcóyotl, Ecatepec de Morelos y Atenco (INEGI, 2009d).

Los climas presentes en el municipio son, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, templado subhúmedo con lluvias en verano, semiseco con lluvias en verano, templado subhúmedo con lluvias en verano, y templado subhúmedo con lluvias en verano, siendo el predominante el primero. La temperatura se encuentra entre los 6 a 16 °C, con una precipitación de 500 a 1200 mm. Los tipos de vegetación son, bosque, pastizal, desprovisto de vegetación y matorral (INEGI, 2009d).

5.3 Parámetros de calidad

5.3.1 Peso

Los siconos individuales se pesaron en gramos en una balanza (Ohaus® Adventure Pro AV3102C).

5.3.2 Tamaño

Los siconos se midieron con un vernier digital (Truper®). Las dimensiones evaluadas fueron la longitud y la anchura en centímetros. Para la longitud (L), se realizaron dos mediciones desde la base del sicono hasta el ostiolo. La anchura (A) se determinó por el diámetro máximo de la zona ecuatorial del sicono, es decir perpendicularmente a la zona longitudinal (Figura 6).



Figura 6. Medición de los siconos de *F. carica* L.

Fotografía: Yazmin Zaragoza.

5.3.3 Color

El color total se determinó en dos zonas opuestas sobre la región central y convexa del sicono con colorímetro estandarizado (HunterLab® D25-PC2). El color se expresó en valores de L, a y b. Donde L, indica la luminosidad (claro=100 u oscuro= 0), a y b indican la orientación del color. El valor positivo de a, expresa la tendencia del color, al rojo o negativo al verde. Y el valor positivo de b, indica la tendencia del color, al amarillo o negativo al azul. Subsecuentemente, de acuerdo con Polat & Caliskan (2008) se obtuvo el índice de saturación o croma (C) a través de la ecuación, $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. El ángulo matiz o hue (H°) se calculó mediante la tangente inversa (\tan^{-1}) del cociente de b^*/a^* , donde los valores de $0^\circ =$ rojo, $90^\circ =$ amarillo, $180^\circ =$ verde, y $270^\circ =$ azul y $360^\circ =$ violeta.

5.3.4 Firmeza

Se midió en dos puntos opuestos sobre la zona central del sicono con un texturómetro universal (Force Five® FDV-30) (Figura 7). En cada punto se realizó una punción con ayuda de un puntal cónico de 0.8 mm de diámetro. La firmeza se determinó como la fuerza requerida en la penetración expresada en newtons (N).



Figura 7. Medición de textura de los siconos.

Fotografía: Yazmin Zaragoza

5.4 Cuantificación de azúcares y compuestos antioxidantes

5.4.1 Preparación de las muestras

Posterior a la medición de los parámetros de calidad, se separó manualmente la epidermis y pulpa de los siconos. Se formaron cinco sub muestras con la epidermis y pulpa de 10 siconos y se colocaron en sobres de aluminio a una temperatura de -20 °C para análisis posteriores. Todos los análisis se realizaron por quintuplicado para cada sitio de colecta.

5.4.2 Azúcares totales

Una muestra de material fresco (2 g), se maceró con etanol a 80 % y se llevó a ebullición durante 10 min para fijar la muestra. El extracto etanólico se filtró en papel filtro Whatman® (No. 5) de 10 cm² con ayuda de una bomba de vacío. El residuo recuperado se colocó en el papel para formar cartuchos rectangulares. Con el equipo Soxhlet, los cartuchos con muestras de epidermis y pulpa se sometieron a 3 y 2 reflujos respectivamente. El extracto se concentró a un volumen entre 5 a 10 mL y se conservó a -20°C.

El contenido de azúcares totales se realizó por el método de antrona descrito por Zaragoza (2014). El volumen requerido de cada uno de los cinco extractos se determinó con pruebas preliminares para no superar el marco de lectura del espectrofotómetro. Se tomaron 10 µL de los extractos y se diluyeron en 4990 µL de agua destilada (H₂O DD) con un agitador vórtex (Mistral®)

En tubos de ensaye se mezclaron 300 µL de agua destilada y 300 µL de cada dilución o agua destilada (blanco) y se colocaron en baño frío durante 5 minutos. Posteriormente, se sometieron a agitación vigorosa en el agitador vortex para agregar 3 mL de disolución de antrona (200 mg de antrona [C₁₄H₁₀O, Sigma-Adrich®]) diluida en ácido sulfúrico (H₂SO₄, Merck®) a 75 % y 5 mL de etanol absoluto [C₂H₆O, J.T. Baker®]). Posterior a cinco min de agitación (agitador orbital, Lab-Line®), se colocaron en baño María durante 10 min.

Finalmente, los tubos se transfirieron a baño frío durante 15 min, y se midió la absorbancia a 625 nm en espectrofotómetro (Jenway® 6305/UV). El contenido de azúcares totales se calculó mediante una curva patrón, utilizando un estándar de glucosa ($C_6H_{12}O_6$, Sigma-Aldrich®, 2.5 mg mL⁻¹ disuelto en H₂O DD) construida con concentraciones de 0 a 250 µg a intervalos de 50 µg. Los valores de azúcares totales se expresaron como mg de glucosa g⁻¹ de peso fresco (PF).

5.4.3 Compuestos antioxidantes

5.4.3.1 Fenoles totales

La extracción de fenoles se realizó de acuerdo con lo descrito por Bachir *et al.* (2012) con algunas modificaciones. Un gramo de tejido fresco y macerado se colocó en una vaso de precipitado con 40 mL de acetona (CH_3COCH_3 , Merck®) a 60 % y 40°C durante una hora en parrilla eléctrica (Cimarec®). Transcurrido el tiempo, el extracto se filtró con papel filtro (Whatman®, No. 5) para recuperar el sobrenadante. El residuo se sometió a una segunda extracción bajo las mismas condiciones. Los sobrenadantes se combinaron y se conservaron en frascos ámbar a -15°C para la determinación del contenido de fenoles. El residuo final se conservó para la cuantificación de taninos condensados totales.

La cuantificación del contenido de fenoles totales se basó en el método de Folin- Ciocalteu descrito por García- Cruz *et al.* (2012) con algunas modificaciones. Una alícuota de 50 µL de muestra se mezcló con 200 µL de H₂O DD y 125 µL de la disolución Folin: agua (1:1 v/v [Sigma-Aldrich®]) en tubos de ensaye y se colocaron en agitador orbital (Lab-Line®) durante 5 min. Posteriormente, se agregó 625 µL de una disolución de carbonato de sodio (Na_2CO_3 , J.T. Baker®) a 20 % en agua destilada (p/v). La mezcla se dejó en agitación durante 60 min en oscuridad y a temperatura ambiente. Posteriormente, se midió la absorbancia a 760 nm.

El contenido de fenoles se estimó por la construcción de una curva estándar de una solución de ácido gálico monohidratado ($C_6H_2(OH)_3COOH \cdot H_2O$, Sigma-Aldrich®, 0.01 µg mL⁻¹ disuelto en acetona a 60 %) a concentraciones de 0 a 100 µg a intervalos de 20 µg. El blanco se preparó sustituyendo el volumen de la muestra por H₂O DD. Los

resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de PF (mg EAG 100 g⁻¹ de PF).

5.4.3.2 Antocianinas totales

La extracción se basó en la metodología de Peña-Varela *et al.* (2006), con algunas modificaciones. Se depositó un 1 g de muestra macerada en tubos de ensaye cubiertos con papel aluminio y se añadió 10 ml una disolución de metanol (CH₃OH, Fermont®) con ácido trifluoroacético (F₃CCOOH), J.T. Baker®) a 1 %. Los tubos de ensaye se colocaron en condiciones de frío a -15°C durante 24 h. Posteriormente, se decantó y depositó el sobrenadante (extracto primario) en tubos protegidos de la luz.

El residuo se sometió a una segunda extracción con 10 mL de una disolución con metanol: ácido acético (CH₃COOH, J.T. Baker®): agua (10:1:9 v/v/v). Los tubos se colocaron en un agitador orbital durante 24 h a temperatura ambiente. Se realizaron en total tres extracciones sucesivas, las dos últimas con el sistema de disolventes; metanol: ácido acético: agua (10:1:9 v/v/v). Los sobrenadantes de la segunda y tercera extracción se filtraron en papel filtro (Whatman®, No 5, 110 mm Ø). Los extractos (primario y secundario) se conservaron en tubos de ensaye protegidos de la luz y en refrigeración.

Posteriormente, se preparó una curva estándar con pelargonidina clorada (Sigma-Aldrich®) diluida en metanol, a una concentración de 1 mg mL⁻¹ para cada sistema de disolventes; metanol con ácido trifluoroacético a 1 % y metanol: ácido acético: agua (10:1:9 v/v/v). Se emplearon concentraciones de 0 a 50 µg de la solución estándar, con intervalos de 10 µg.

Finalmente, la absorbancia se leyó a 520 nm de cada solución de la curva, dilución y extractos. Únicamente, los extractos de epidermis con metanol: ácido trifluoroacético a 1 % se diluyeron para evitar rebasar el marco de lectura del espectrofotómetro. El contenido total de antocianinas se expresó como mg equivalentes de pelargonidina clorada 100 g⁻¹ de PF.

5.4.3.3 Flavonoides totales

La extracción se basó en la metodología de Stankovié (2011) con algunas modificaciones. Se realizó con 1.5 g de muestra y 15 mL de metanol (CH₃OH, Fermont®) en tubos con tapa durante 24 horas a temperatura ambiente y en agitación. Finalizado el tiempo, la muestra se sometió a la segunda extracción bajo las mismas condiciones. El sobrenadante se recuperó y conservó en frascos ámbar a -15°C.

El contenido de flavonoides se cuantificó mediante el ensayo de cloruro de aluminio (AlCl₃) descrito por Martínez-Cruz *et al.* (2011). En tubos de ensaye, se mezclaron 300 µL de muestra o solución estándar de catequina (C₁₅H₁₄O₆, Sigma-Aldrich®, 0.2 mg mL⁻¹ en metanol) y 80 µL de solución de nitrito de sodio (NaNO₂, J.T. Baker) a 5 % (p/v), las reacciones se colocaron en agitador orbital durante 5 min. Posteriormente, se adicionaron 80 µL de solución de AlCl₃ a 10 % (Sigma-Aldrich®, p/v) y se homogeneizaron por un minuto. Se agregaron 500 µL de solución de hidróxido de sodio (NaOH, Merck®) 1M y 1.5 mL de H₂O DD, se mezcló durante 5 min y se midió la absorbancia a 510 nm.

Para el blanco se sustituyó la solución estándar por agua destilada. La curva patrón se construyó con concentraciones de 0 a 60 µg a intervalos de 10 µg de una solución de catequina (0.2 mg mL⁻¹ en metanol). El contenido total de flavonoides se expresó como mg equivalentes de catequina por 100 g de PF.

5.4.3.4 Taninos condensados

En tubos con tapa se colocó el residuo de epidermis y pulpa, resultado de la extracción de fenoles. En cada tubo se colocaron 50 mg y 20 mg de epidermis y pulpa respectivamente. Posteriormente se agregaron 4 mL de una solución de 1-butanol: ácido clorhídrico (95:5 v/v) y 100 µL de sulfato de hierro y amonio (Na₄ Fe (SO₄)₂·12 H₂O, Merck®) a 2 % diluido en una solución de ácido clorhídrico (HCl, J.T. Baker®) 2 M. Los tubos se colocaron en baño María durante 50 min. Subsecuentemente, se dejaron enfriar y se midió la absorbancia a 550 nm (Porter *et al.*, 1986).

Se realizó una curva estándar con catequina (1 mg mL⁻¹ diluida en 1-butanol: ácido clorhídrico) a concentración de 0 a 300 µg con intervalos de 50 µg. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de catequina por cada 100 g de PF.

5.4.4 Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó mediante el método 2,2 difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) propuesto por Brand *et al.* (1995) con algunas modificaciones. El método se basa en la reducción del radical DPPH por antioxidantes. La reacción se preparó al añadir 300 µL de cada extracto (fenoles, antocianinas y flavonoides) de epidermis y pulpa y 2700 µL de solución de DPPH 60 µM (Sigma-Aldrich®) en metanol.

Para el blanco, se sustituyó el volumen de la muestra por metanol. La reacción se dejó en agitación y oscuridad durante 30 min. Después, se midió la absorbancia de la solución de DPPH (blanco) y de las muestras a 517 nm. El espectrofotómetro se ajustó 0 con metanol.

La capacidad antioxidante se expresó en porcentaje, el cual se calculó con la siguiente ecuación: % CA= [(A blanco-A muestra)/A blanco] x100

Donde:

A blanco= absorbancia del DPPH.

A muestra= absorbancia de muestra con DPPH a los 30 min

5.5 Identificación de azúcares y compuestos antioxidantes mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (CLAR)

Los extractos de azúcares, antocianinas, fenoles y flavonoides se analizaron en un cromatógrafo (Angilet Technologies® 61362A) con un detector de arreglo de diodos. Previo a la inyección, las muestras fueron depuradas en filtros de 0.22 µm, tipo GV (Milex®, millipore).

5.5.1 Azúcares

Los extractos de azúcares se separaron en una columna de calcio (Supelco®, 300 x 7.8 mm., 1.8 µm). Se empleó agua como fase móvil. El volumen de inyección fue 5.0 µL y la velocidad de flujo fue de 0.3 mL min⁻¹. La detección se llevó a cabo en un detector de índice de refracción (IR) a 45°C. El análisis de cada muestra tuvo una duración de 42 min.

Para la identificación y cuantificación de los principales azúcares se realizaron curvas patrón con los estándares de glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa (Baker®). La concentración se expresó en mg de cada azúcar g⁻¹ de PF de epidermis o pulpa de higo.

5.5.2 Ácidos fenólicos

Los extractos fenólicos se separaron en una columna C18 (Nucleosil®, 125 x 4.0 mm, 1.8 µm). La fase móvil se preparó con dos solventes: A (agua pH 2.5 ajustado con ácido trifluoroacético) y B (acetonitrilo). Los gradientes empleados fueron 15 % de B por 0.1 min, 15 % a 35 % de B por 20.0 min y 35 % de B por 23.0 min. La velocidad de flujo fue 1.0 mL min⁻¹ y el volumen de inyección fue de 20 µL. La detección se llevó a cabo a 280 nm. La temperatura de la columna se mantuvo en 30.0 °C.

Los ácidos fenólicos se identificaron al comparar los tiempos de retención dilucidados en las muestras con ocho estándares comerciales (ácido gálico, siríngico, vainillínico, p-hidroxibenzoico, coumárico, clorogénico, cafeico y felúrico), y comparando los espectros obtenidos con el arreglo de diodos. La concentración se expresó en mg de cada ácido fenólico por cada 100 g de PF de epidermis o pulpa de higo.

5.5.3 Antocianinas

Los extractos de antocianinas se separaron en una columna C18 de resolución rápida (Zorbax®, 50 mm x 4.6 mm., 1.8 µm). Se emplearon dos sistemas de solventes como fase móvil: (A) agua: ácido fosfórico (99.5:0.05 v/v) y (B) agua: acetonitrilo: ácido acético: ácido fosfórico (50.0: 48.5: 1.0: 0.5 v/v/v). Los gradientes empleados fueron 9 % de B por 0.01 min, 9 % a 36 % de B por 8.5 min, 36 % a 60 de B por 9.0 min, 60 % a 80 % de B por 9.1 min, 80 % a 9 % de B por 1.4 min. El volumen de inyección fue 5.0 µL de muestra y la velocidad de flujo fue de 0.5mL min⁻¹. La detección se llevó a cabo a 520 nm.

Las antocianinas presentes en las muestras se identificaron mediante los tiempos de retención de dos antocianinas estándar. La concentración de las

antocianinas se cuantificó al comparar el área de los picos elucidados a 520 nm en las muestras y una curva de calibración preparada con diferentes concentraciones (0.52 a 20.80 $\mu\text{g mL}^{-1}$) de cianidina -3- glucósido (cianidina 3-O- glucósido, Sigma ®) y peonidina 3-O- β - glucopiranosido (Sigma ®). La concentración se expresó en mg de cada antocianina por 100 g de PF de epidermis o pulpa de higo.

5.5.4 Flavonoides

Los extractos de flavonoides se separaron en una columna C18 de resolución rápida (Hypersyl ODS®, 4.6 x 50 mm., 1.8 μm). Se emplearon dos sistemas de solventes como fase móvil: (A) agua pH 2.5 ajustado con ácido trifluoroacético y (B) acetonitrilo. Los gradientes empleados fueron 15 % de B por 0.1 min, 15 % a 35 % de B por 20.0 min y 35 % de B por 25.0 min. El volumen de inyección fue 5.0 μL y la velocidad de flujo fue de 1.0 mL min^{-1} . La detección se llevó a cabo a 254 nm.

Los flavonoides se identificaron mediante los tiempos de retención de ocho estándares: apigenina, rutina, florizidina, miricetina, quercetina, naringenina, floretina y galangina. La concentración de flavonoides se cuantificó al comparar el área de los picos elucidados a 254 nm en las muestras y una curva de calibración preparada con los ocho estándares a diferentes concentraciones (0.52 a 20.80 $\mu\text{g mL}^{-1}$). La concentración se expresó en mg de cada antocianina por 100 g de PF de epidermis o pulpa de higo.

5.6 Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con cinco réplicas. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros de calidad: peso, tamaño (longitud y anchura), color (L, a^* , b^* , C, H°), firmeza y azúcares totales. Así como, del contenido total de los compuestos polifenólicos presentes en epidermis y pulpa, y su actividad antioxidante y, de las concentraciones de los compuestos identificados por la CLAR. Posteriormente, se sometieron a una comparación de medias con la prueba de Tukey.

Para determinar, la correlación entre la actividad antioxidante y el contenido total de cada grupo fenólico (fenoles, antocianinas y flavonoides) se efectuó un análisis de correlación. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa estadístico SAS

versión 9.0 (SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Caroline, USA) con un alfa de 0.05. Para la presentación gráfica de los resultados se usó el programa Sigma Plot versión 11.0.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Parámetros de calidad

6.1.1 Peso

Se observaron diferencias significativas en el peso de los siconos por sitio de colecta (Figura 8). El peso se presentó en un intervalo de 35.0 a 102.4 g. Los siconos colectados en Xaltampa (Puebla) tuvieron el mayor peso (102.4 g) en relación a los colectados en Xalostoc (35.0 g) y Tezontepec de Aldama (38.8 g), cuyos pesos fueron inferiores y similares estadísticamente. Esta tendencia en la variación del peso con respecto al sitio o fuente de colecta fue reportada por Gozlekci (2011), quien observó diferencias significativas en siconos de 15 genotipos de *F. carica*, cosechados simultáneamente en dos distritos ubicados en Turquía. Lo cual concuerda con el comportamiento en los pesos reportados por King *et al.* (2012), para cultivares provenientes de seis sitios en California.

Los resultados de la presente investigación sugieren que las condiciones ambientales particulares de los sitios de colecta, influyeron en su crecimiento y por lo tanto, en la variación de los pesos. No obstante, no se descarta que las prácticas de pre cosecha son importantes en el desarrollo de siconos de calidad. En los cuatro sitios muestreados se realizaron podas, riego y fertilización.

Por otra parte, factores intrínsecos como la variedad, genotipo, selección o accesión influyen en la morfología de los siconos. Estos cambios morfológicos se han registrado intra o entre variedades y genotipos de *F. carica* (Caliskan & Polat, 2008; Cakmak *et al.*, 2010; Crisosto *et al.*, 2010; Gozlekci 2011; King *et al.*, 2012; Caliskan & Polat, 2012b). Caliskan & Polat (2008) reportaron pesos en un intervalo de 23.0 a 50.0

g en siconos de ocho genotipos y 24 selecciones de Turquía. Los siconos de 11 cultivares y una selección de California pesaron de 42.0 a 77.0 g (King *et al.*, 2012). En 76 accesiones de Turquía, los pesos presentados fueron de 21.0 a 80.0 g (Caliskan & Polat, 2012b). Estos valores se parecen a los pesos de los siconos de Xalostoc, Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya.

El peso es uno de los parámetros con importancia en la descripción morfológica y de la calidad (Caliskan & Polat, 2008; Crisosto *et al.*, 2010; Gozlekci, 2011; Caliskan & Polat, 2012a; Caliskan & Polat, 2012b; King *et al.*, 2012).

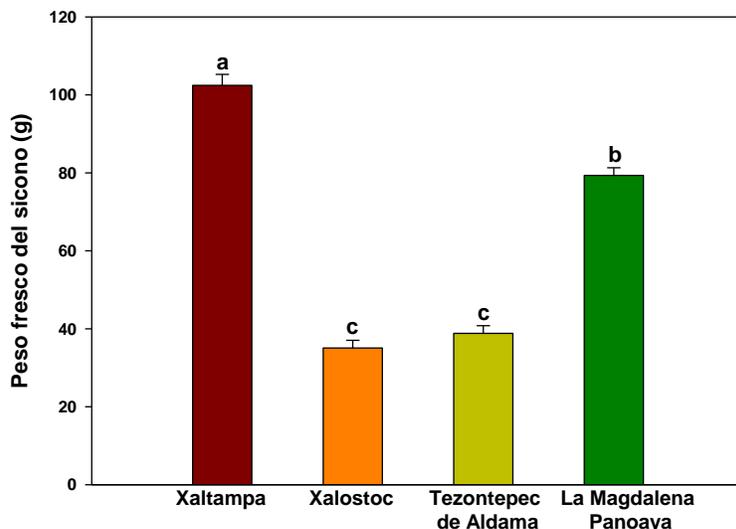


Figura 8. Peso fresco de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.1.2 Tamaño

El tamaño de los siconos se describió mediante la longitud y la anchura, los cuales fueron estadísticamente diferentes por sitio de colecta (Figura 9 y 10). Los siconos de Xaltampa y La Magdalena Panoaya fueron los de mayor longitud y anchura, por tanto tuvieron el mayor tamaño. En longitud alcanzaron los 9.2 cm, y en anchura

alrededor de 5 cm. Los de Xalostoc fueron los siconos de menor longitud (4.34 cm), así como, de menor anchura al igual que los de Tezontepec de Aldama.

Siconos con tamaños similares a los de Xalostoc fueron descritos en genotipos con epidermis oscura y cultivados en Turquía, aunque no superan longitudes mayores a 9 cm (Caliskan & Polat, 2008; Caliskan & Polat, 2012a, Caliskan & Polat, 2012b). En contraste, Perreira *et al.* (2015) registraron una longitud media de 14.5 cm para un cultivar localizado en España.

Las diferencias en los tamaños están relacionados con la forma del sicono (González- Rodríguez & Grajal- Martín, 2011). Los siconos de Xaltampa, Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya, por ser de forma oblonga presentaron mayor longitud que anchura. En contraste, con los siconos globosos de Xalostoc la relación entre longitud y anchura fue semejante.

El tamaño es uno de los parámetros que determinan directamente la calidad y la preferencia del consumidor (Polat & Caliskan, 2008; Caliskan & Polat, 2012a; Perreira *et al.*, 2015). Este parámetro tiene aplicación en el diseño de sistemas de empaçado (Shahbazi & Rahmati, 2012) y transporte (Caliskan & Polat, 2008).

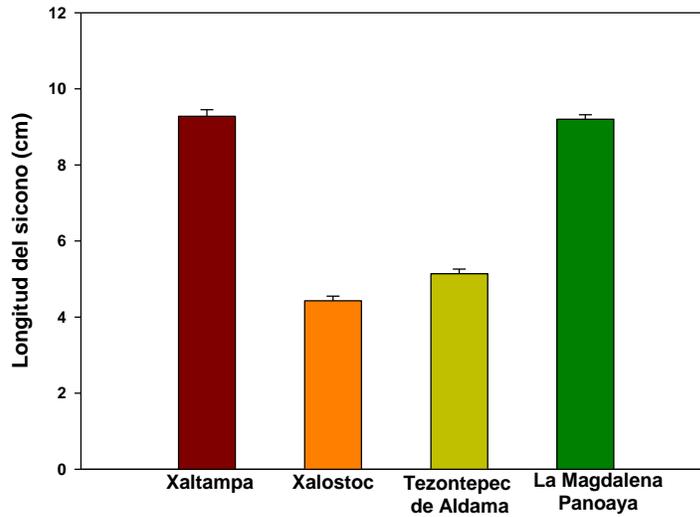


Figura 9. Longitud de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

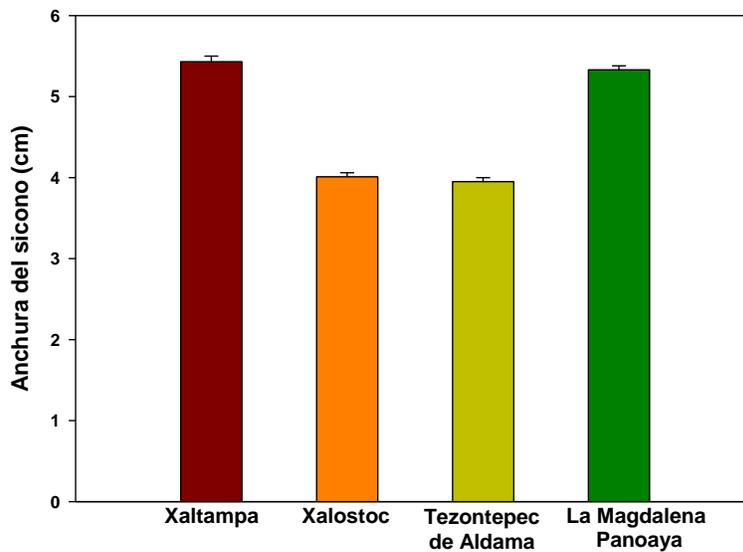


Figura 10. Anchura de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.1.3 Color

El color (L, a^* , b^* , C) de la epidermis fue estadísticamente diferente para cada sitio de colecta, a excepción del ángulo hue (H°) (Cuadro 2). La luminosidad (L) se describió entre valores de 0 a 100. Valores cercanos o iguales a cero= negro u oscuro y valores cercanos o iguales a 100= blanco o claro. En general, los valores de L se encontraron entre 21 y 34, lo cual sugiere que los siconos fueron oscuros. Los siconos más oscuros fueron para Xalostoc y Tezontepec de Aldama y, ligeramente más claros los de Xaltampa (Anexo 1).

En todos sitios, los siconos tuvieron la tendencia al rojo (a^*). Los valores de a^* se encontraron en un intervalo de 1.0 a 8.5. Los siconos de Xaltampa tuvieron el mayor acercamiento al rojo, en comparación con los de Xalostoc y Tezontepec de Aldama. En los cuatro sitios se observaron siconos con valores positivos de b^* , los cuales corresponden una dirección del color hacia el amarillo. El parámetro de b^* presentó una tendencia similar al parámetro de a^* . Para el sitio de Xaltampa se observó, el valor máximo en el color amarillo con 12.55. En contraste, 0.80 y 1.77 fueron los mínimos registrados en Xalostoc y Tezontepec de Aldama.

El croma (C) exhibió el mismo comportamiento que los parámetros a^* y b^* para los siconos de Xaltampa, que mostraron la mayor intensidad de color. Los valores más altos en L y C denotaron los colores más intensos o saturados. El ángulo hue (H°) fue similar para los cuatro sitios, tomó valores hasta 53° aproximadamente. De acuerdo a los valores anteriores de H° , los siconos exhibieron colores que van del rojo profundo al amarillo. Los incrementos en los valores de H° hacia el rojo, son resultado del aumento en la metoxilación de las antocianinas presentes en la epidermis (Eskin & Hoehn, 2013).

El color de los siconos evaluados mostró similitudes al descrito por Solomon *et al.* (2006), quienes muestran valores para L de 29.7 a 55.7, en a^* de 2.2 a 8.2, en b^* de 7.9 a 27.5, en C de 7.6 a 28.7 y en H° de 58.7 a 79.9 en siconos oscuros. Lo cual describe un color oscuro, con tendencia y pureza al rojo y al amarillo, los cuales están saturados. Lo cual concuerda con lo descrito por Caliskan & Polat (2011), a excepción

de la pureza, quienes la definen entre los colores amarillo y verde. Las tendencias en L y a* fueron similares a los medidos por Aguilera (2009), quien describió a un cultivar de epidermis oscura (Mission).

Caliskan & Polat (2012a) describieron el color de la epidermis oscura del cultivar denominado Bursa siyahi, con un valor en L de 28.1, con dirección más acentuada al rojo y con C y H° superiores a los siconos evaluados. Otros autores describieron cualitativamente el color de la epidermis como púrpura (Caliskan & Polat, 2008; González-Rodríguez & Grajal-Martín, 2011) u oscuros (Caliskan & Polat, 2012a; Perreira *et al.*, 2015).

El color en los siconos puede ser una respuesta fisiológica, cuya expresión es el incremento en la concentración de compuestos cromógenos (antocianinas) (Crisosto *et al.*, 2010) y de las condiciones ambientales, en especial la radiación UV y la temperatura (Tomás-Barberán, 2003). En los cuatro sitios evaluados la temperatura alcanzada fue mayor o igual a 23 °C (Anexo 2), previa a la cosecha. Lo cual sugiere una relación de esta coloración roja intensa con la concentración de antocianinas (Caliskan & Polat, 2011).

Cuadro 2. Color de la epidermis de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios.

Sitio	L	a*	b*	C	H°
Xaltampa	34.40 a^z	8.54 a	12.55 a	16.03 a	52.83 a
Xalostoc	22.13 c	1.18 c	0.80 c	1.96 c	22.70 b
Tezontepec de Aldama	21.05 c	1.00 c	1.77 c	2.97 c	15.01 b
La Magdalena Panoaya	31.43 b	4.47 b	7.20 b	8.94 b	41.01 ab
ES	0.57	0.31	0.40	0.34	6.28

^zValores con letras iguales, no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). L: luminosidad, C: croma y H°: ángulo hue.

6.1.4 Firmeza

La firmeza fue similar en los cuatro sitios (Figura 11), se encontró en un intervalo de 0.68 a 0.99 N. Lo cual indica que las condiciones ambientales no influyeron de manera notable en este parámetro. Los siconos fueron firmes independientemente a la distancia recorrida para transportarlos al laboratorio.

Estos resultados son siete u ocho veces menores a los mencionados por Cakmak *et al.* (2010) en un cultivar de epidermis oscura (Bursa negra) de Turquía, los cuales fueron menos sensibles al transporte. King *et al.* (2012), reportaron firmezas mayores a los anteriores, en dos cultivares (Mision y Café Turquía) hasta de 10.8 y 14.3 N, respectivamente. En contraste, Perreira *et al.* (2015) registraron firmezas de 1.1 a 1.5 N para seis cultivares de Badajoz, España.

La firmeza es un indicador de daños internos en higos frescos. Los cuales están sujetos a diferentes daños mecánicos durante la cosecha, almacenamiento y transporte. Como el impacto, vibración, abrasión y compresión (Cakmak *et al.*, 2010). Por todos los eventos que suelen sucederles a los siconos durante la cosecha, definitivamente la firmeza es un parámetro esencial de calidad (Perreira *et al.*, 2015).

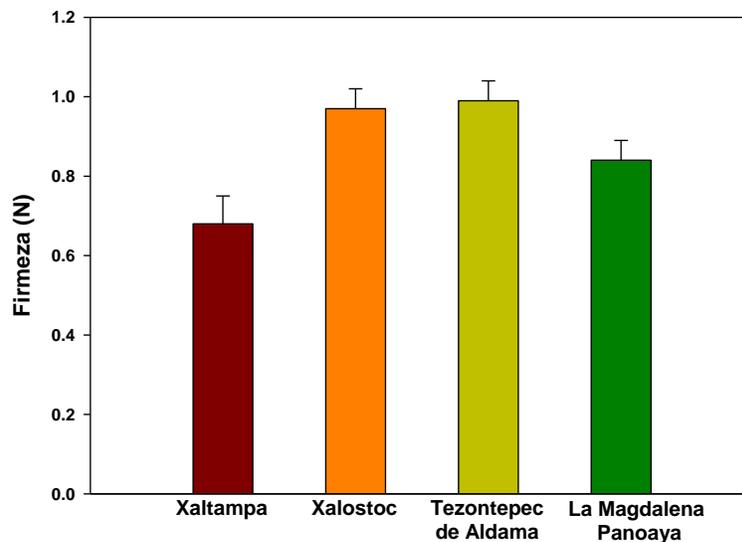


Figura 11. Firmeza de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.1.5 Azúcares totales

La cantidad de azúcares ha sido empleada como parámetro de calidad interna o nutritiva. Generalmente el contenido de azúcares en higos, es referido con el contenido de sólidos solubles totales, expresado en porcentaje o grados Brix ($^{\circ}$ Brix), y son

empleados en la determinación del índice de acidez (Ersoy *et al.*, 2007; Caliskan & Polat, 2008; Crisosto *et al.*, 2010; Gozlekci, 2011; Caliskan & Polat, 2012a; Caliskan & Polat, 2012b; Perreira *et al.*, 2015). En este trabajo, se empleó un ensayo colorimétrico que determinó el contenido de azúcares totales en higos frescos, incluida la sacarosa.

El contenido de azúcares totales en siconos mostró diferencias significativas por sitio de colecta, tanto en epidermis como en pulpa (Figura 12). La epidermis de los siconos de Xaltampa presentó el mayor contenido (444.71 mg) de azúcares. En contraste, la epidermis de siconos de los otros sitios presentó un contenido menor, en relación a los de Xaltampa. Mientras que en la pulpa, se encontraron valores de 135 a 285 mg de glucosa g⁻¹ PF. Los de Xaltampa y Xalostoc presentaron mayor dulzura comparados con los de Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya.

Owino *et al.* (2004) evaluaron azúcares totales en dos secciones de un cultivar de epidermis oscura, la primera comprendida por la epidermis y el receptáculo, y la segunda por el resto de fruto, y encontraron contenidos de 303.7 mg g⁻¹ en la primera sección y 309.5 mg g⁻¹ en la segunda. Estos resultados son contrastantes a los encontrados en este estudio, cuyos valores fueron inferiores con excepción de la epidermis de los siconos de Xaltampa que obtuvo alrededor de 445 mg g⁻¹ de PF.

Los contenidos de azúcares obtenidos en este estudio son mayores a los mencionados por Morton (1987), por el Instituto de Nutrición de Centro América y por Panamá [INCAP] (2012), quienes reportaron contenidos en porciones de siconos completos, y cuyos valores fueron 191, 171 y 203 mg de azúcares g⁻¹ de higo, respectivamente.

El contenido de azúcares en otras frutas evaluadas por INCAP (2012) es menor al encontrado en epidermis y pulpa de siconos de *F. carica*. La fresa contiene 76.8 mg g⁻¹, ciruela roja con 111.1 mg g⁻¹, en cereza con 121.8 mg g⁻¹ y para uva con 171.0 mg g⁻¹. Sin embargo, la zarzamora presenta 179.0 mg g⁻¹, cuyo valor se acerca al valor calculado en la epidermis de los siconos de Xalostoc. Estos resultados sustentan que, los siconos representan una fuente importante de azúcares (Veberic *et al.*, 2008b; Caliskan & Polat, 2011), y que su contenido define el carácter dulce de los mismos.

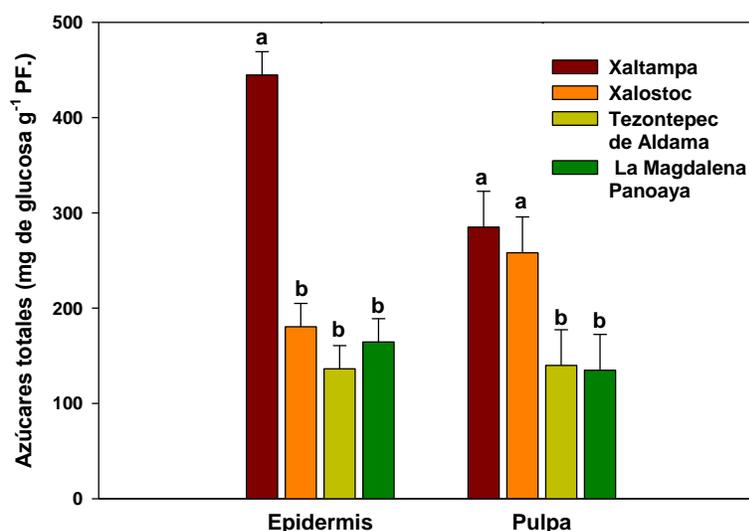


Figura 12. Contenido de azúcares totales en epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2 Contenido de compuestos antioxidantes

6.2.1 Fenoles totales

El contenido de fenoles totales en la epidermis de los siconos fue diferente entre los sitios de colecta, pero no en pulpa (Figura 13). Los contenidos en la epidermis de los siconos de Xalostoc y Tezontepec de Aldama fueron mayores de $4.5 \text{ mg EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$, mientras que el contenido de fenoles presente en la epidermis de los sitios, Xaltampa y La Magdalena Panoaya fue menor. Alcanzando un tercio con respecto al valor máximo, representado por Xalostoc o Tezontepec de Aldama.

La concentración en pulpa estuvo en un intervalo de 0.68 a $2.5 \text{ mg EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$. Los siconos de Xaltampa, Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya presentaron una concentración semejante, así como, estos dos últimos con Xalostoc. En general, se observaron concentraciones elevadas en la epidermis que en pulpa (Solomon *et al.*, 2006; Vallejo *et al.*, 2012).

Las concentraciones observadas se encontraron en intervalos distintos a las dilucidadas por Solomon *et al.* (2006), quienes cuantificaron valores superiores a los obtenidos. En epidermis, encontraron de 123.0 a 463.0 mg y en pulpa 73.7 a 164.2 mg.

El total de los contenidos entre epidermis y pulpa es bajo si se contrasta con los valores encontrados por Vinson *et al.* (2005), Veberic *et al.* (2008b), Caliskan & Polat (2011) y García (2014) para siconos completos, quienes reportaron valores de 2859.0, 36.4, 118.9 y 180.4 mg, respectivamente. De igual forma, al contrastar los valores encontrados en peso fresco (epidermis + pulpa) son superiores que en peso seco (Vinson *et al.*, 2005; Bachir *et al.*, 2013).

Por otra parte, los valores encontrados en los siconos son inferiores comparados a los hallados en otros frutos. Por ejemplo, 113.7 mg en zarzamora (De Ancos *et al.*, 2000), 382.0 mg en arándano, 347.0 mg en grosella negra (Fukumoto & Mazza, 2000), 363.7 mg en fresa (Lin & Tang 2007), 2944 mg en arrayan rojo (Simirgiostis *et al.*, 2013).

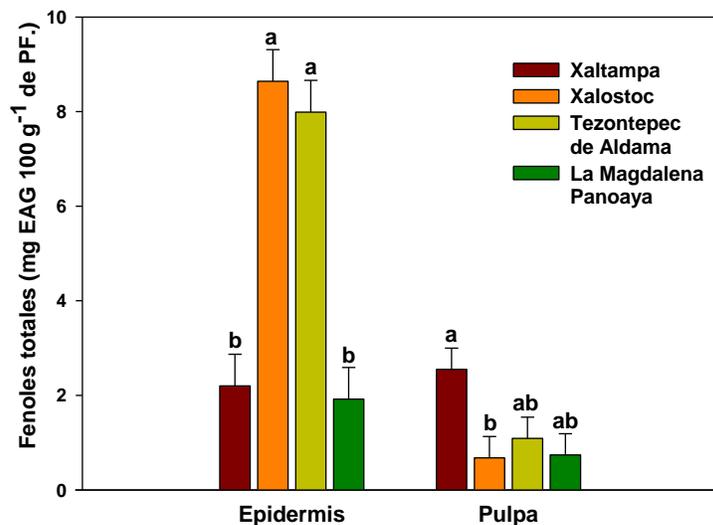


Figura 13. Contenido de fenoles totales en epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). EAG: equivalentes de ácido gálico.

6.2.3 Antocianinas totales

En la epidermis, el contenido de antocianinas totales fue diferente y en la pulpa no se encontraron diferencias significativas entre los sitios de colecta (Figura 14). El contenido máximo en epidermis fue de 144.2 mg para el sitio de Tezontepec de Aldama. El contenido intermedio se presentó en los sitios de Xaltampa y Xalostoc y, el mínimo se encontró en los siconos de La Magdalena Panoaya, cuyo valor puede ser debido a su establecimiento bajo cubierta. La intensidad de la radiación UV es disminuida por la cubierta, por lo que, la síntesis de antocianinas se reduce, junto con su papel como defensa a la radiación UV.

El contenido de antocianinas en pulpa fue similar entre los sitios y en menor grado con relación a la epidermis. El contenido se ubicó en un intervalo de 1.4 a 8.4 mg de pelargonidina 100 g^{-1} PF. En este intervalo se encuentra la pulpa de mamey con 5.57 ± 0.07 mg, pero no la pulpa de anona (79.87 ± 0.03 mg) y zapote negro (14.19 ± 0.01) (Moo-Huchin *et al.*, 2014). Cabe destacar que, se observaron coloraciones rojizas en los extractos antociánicos, lo cual se puede inferir que las antocianinas se encontraron metoxiladas, en consecuencia fueron mayormente estables en el medio circundante (Bakowska-Barczak, 2010; Eskin & Hoehn, 2013).

Las concentraciones de antocianinas más altas se observaron en epidermis, lo cual concuerda con lo reportado por Solomon *et al.* (2006), Crisosto *et al.* (2010), Vallejo *et al.* (2012) y Dueñas *et al.* (2008). Salomon *et al.* (2006), mostraron valores (mg equivalentes de cianidina 3-O-glucósido) inferiores a los encontrados en los sitios de colecta de esta investigación. El valor mínimo fue 4.1 mg y el valor máximo fue 27.3 mg en epidermis, para pulpa los valores estuvieron en el intervalo de 0.1 a 0.3 mg.

En siconos completos se han reportado concentraciones de 12,840 mg equivalentes de cianidina 3-O-glucósido (Caliskan & Polat, 2011) y, 11.36 mg (Caliskan & Polat, 2012a) y 33.4 mg (García, 2014) de cianidina 3-O-rutinósido. En términos de concentración, se puede mencionar que no concuerda con lo observado en este estudio.

En contraste con otros frutos, se han reportado valores de 37.04 mg en zarzamora (De Ancos *et al.*, 2000), 149.0 mg en arándano, 213.0 mg en grosella negra (Fukumato & Mazza, 2000), de 19.0 a 51.0 mg en frambuesa (Peña-Varela, 2006) y 2103.0 mg en arrayan rojo (Simirgiotis *et al.*, 2013). El contenido de azúcares en zarzamora y frambuesa fue menor a la determinada en epidermis de los siconos colectados en Xaltampa, Xalostoc y La Magdalena Panoaya.

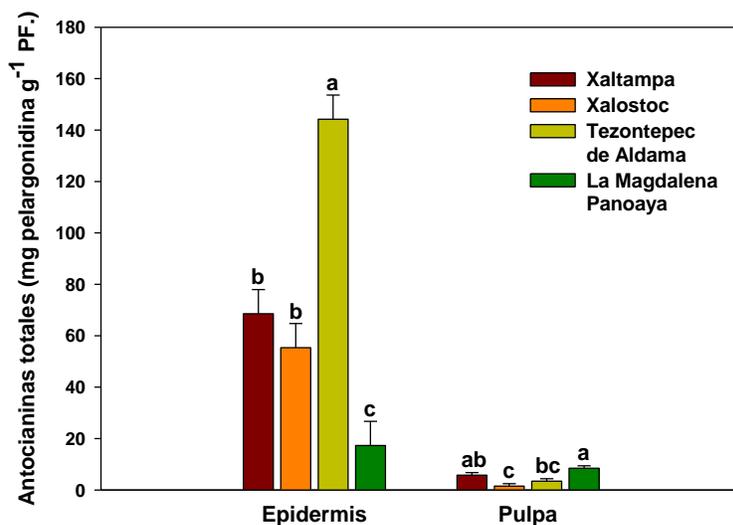


Figura 14. Contenido de antocianinas totales en epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2.3 Flavonoides totales

En epidermis se observaron concentraciones diferentes entre los sitios de colecta, sin embargo, en pulpa fueron similares (Figura 15). La epidermis presentó una concentración de 28.3 mg catequina 100 g^{-1} PF en los siconos de Xaltampa. En cambio, el valor más alto fue para los de Tezontepec de Aldama, alcanzando un valor de 63.3 mg. La concentración de flavonoides en pulpa fue similar entre los sitios de colecta, con una media ponderada de 11.0 mg, la cual es baja comparada con la media descrita en pulpas de anona (230.5 mg), mamey (65.2 mg) y zapote negro (376.04 mg) (Moo-Huchin *et al.*, 2014).

Los valores en epidermis y pulpa fueron diferentes a los registrados por Solomon *et al.* (2006), quienes cuantificaron concentraciones desde 10.1 mg a 45.6 mg en epidermis y de 1.6 a 5.7 mg en pulpa. Este intervalo en pulpa es bajo en relación con las pulpas de los cuatro sitios aquí evaluados. Esta disposición diferencial entre epidermis y pulpa fue encontrada por Crisosto *et al.* (2010).

La concentración de flavonoides totales en los siconos de higo fue distinta con respecto a otros frutos estudiados por Jin-Yuarn & Chin-Yin (2007). La pulpa de La Magdalena Panoaya presentó un contenido de 12.24 mg cercano al de fresa (14.6 mg \pm 3.0). Asimismo, la epidermis de higo de Xalostoc tuvo una concentración similar al de la ciruela oriental (37.6 \pm 7.0). No obstante, en mora de árbol se cuantificó una concentración (250.1 mg) mayor a la encontrada en epidermis y pulpa de los siconos aquí evaluados. Así como, en arrayán rojo (1331.0 mg) (Simirgiotis *et al.*, 2013) y ciruela verde (152.35 mg) (Moo-Huchin *et al.*, 2014).

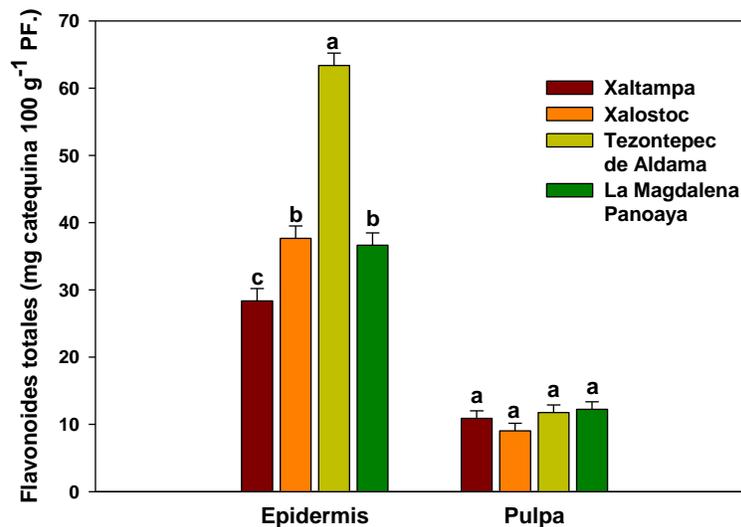


Figura 15. Contenido de flavonoides totales en epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2.4 Taninos totales

La concentración de taninos totales por cada 100 g de peso fresco de epidermis fue similar entre los sitios de colecta. De la misma forma, la pulpa presentó esta tendencia (Figura 16). En la epidermis, la concentración media general fue de 1.5 mg. Únicamente, en los siconos de Xaltampa y Xalostoc, fue cuantificada una concentración de 0.03 mg. Lo cual sugiere que los taninos en pulpa pueden estar ausentes o ser de síntesis reducida. Estos resultados no concuerdan con lo mencionado por Vallejo *et al.* (2012), quienes los enunciaron como compuestos predominantes en pulpa.

El contenido de taninos en higo crudo es de alrededor de 0.04 mg (USDA, 2014). Valor inferior al de epidermis y semejante al de pulpa. Las concentraciones registradas en los siconos son bajas en relación con otros frutos. En fresa hay de 5.83- 97.81 mg, en zarzamora de 1.46- 14.56 mg, en arándano de 58.37- 200.62 mg (USDA, 2014) y 502.73 mg en guayaba agria (Zapata *et al.*, 2013)

El impacto gustativo de los taninos puede ser astringente o amargo (pronunciado y/o persistente) y este depende de su concentración (Álvarez, 2007). Los resultados encontrados en los siconos indican que, el carácter astringente fue mínimo, por lo que se infiere que el estado de madurez de los mismos pudo ser un factor importante en la cuantificación de estos compuestos (Vázquez-Flores *et al.*, 2012).

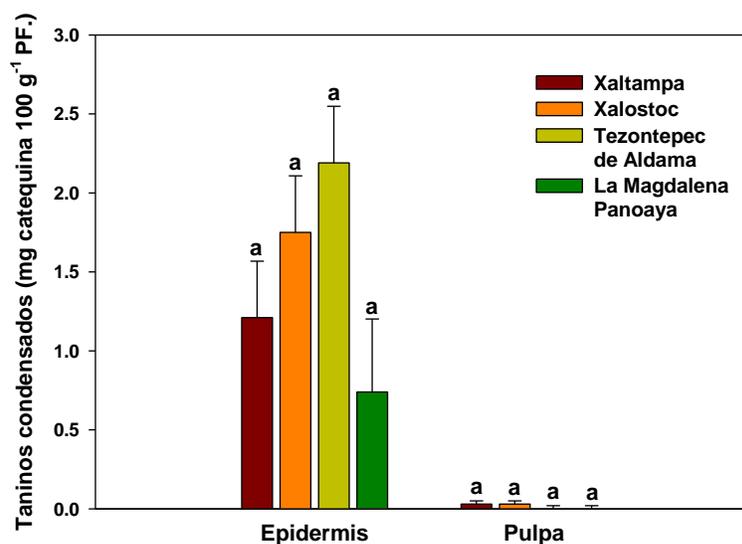


Figura 16. Contenido de taninos condensados totales en epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.3 Actividad antioxidante de los grupos fenólicos

6.3.1 Contribución por fenoles totales

Se analizó la contribución de los extractos fenólicos de epidermis y pulpa de los siconos de cada sitio de colecta sobre la actividad antioxidante. Mediante la inhibición del radical DPPH por los compuestos de naturaleza fenólica en estudio, expresado en porcentaje. La contribución de los fenoles totales en epidermis y pulpa por los sitios fue diferente (Figura 17).

Los fenoles totales de la epidermis contribuyeron en la reducción del DPPH con un 35 y 83 %, siendo el mínimo y máximo, respectivamente. Xalostoc y Tezontepec de Aldama, presentaron los valores más efectivos en la actividad antioxidante. Comparado con la epidermis proveniente del sitio La Magdalena Panoaya, que contribuyó con el 35 %.

La actividad antioxidante de la pulpa contribuida por los fenoles totales fue de 17 a 48 %. La pulpa de los siconos provenientes del sitio Tezontepec de Aldama presentó la mayor reducción del radical (48 %). Xaltampa y Xalostoc fueron los sitios que destacaron por la mínima inhibición.

La contribución de los fenoles en la actividad antioxidante es atribuida por su estructura química (Heim *et al.*, 2002; Tomás- Barberán, 2003; Kuskoski *et al.*, 2004). La contribución dada por la epidermis proveniente de La Magdalena Panoaya fue similar a la encontrada en peso seco de siconos oscuros medida por Faleh *et al.* (2012).

La actividad antioxidante reportada en otros trabajos fueron expresados en equivalencias de trólox (Solomon *et al.*, 2006; Crisosto *et al.*, 2010), ácido gálico (Bachir *et al.*, 2013), vitamina c (Veberic *et al.*, 2008), fierro (Caliskan & Polat, 2011; Caliskan y Polat, 2012a) o índice de inhibición media [IC₂₅] (Faleh *et al.*, 2012).

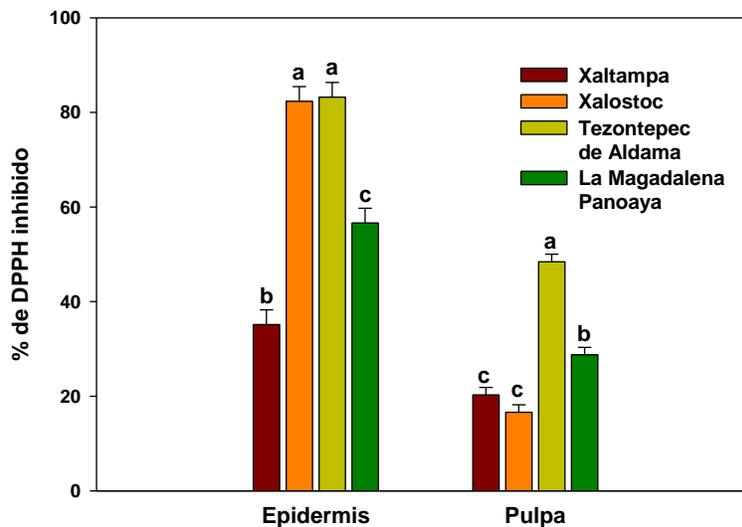


Figura 17. Contribución en la actividad antioxidante de fenoles totales de epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.3.2 Contribución por antocianinas totales

Los extractos antociánicos de la epidermis mostraron inhibiciones semejantes entre los sitios. Por otra parte, las antocianinas presentes en pulpa contribuyeron con porcentajes diferentes, los cuales formaron dos grupos y cuyos porcentajes son iguales (Figura 18).

El porcentaje de DPPH inhibido por las antocianinas de la epidermis fue de 39.3 a 49.9. En los cuatro sitios, la contribución fue indistinta a la concentración de antocianinas. Se esperaba que a mayor concentración, la contribución se incrementaría. Este efecto se vería favorecido para el sitio de Tezontepec de Aldama.

El contenido de antocianinas totales en pulpa tuvo un efecto mayor para los sitios de Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya, que redujeron hasta un 40 % del radical. En contraste, los siconos de Xaltampa y Xalostoc, efectuaron una reducción ponderada del 31 %. Cabe destacar que, a pesar de que los contenidos de antocianinas totales en epidermis fueron mayores que en pulpa, las reducciones del radical no fueron contrastantes.

Las antocianinas presentes en ambos tejidos (epidermis y pulpa) fueron menos eficientes en relación a los fenoles totales. El efecto de la concentración sobre el porcentaje de DPPH no fue suficiente para alcanzar 50 % de inhibición. En otros estudios se ha revelado la actividad antioxidante de extractos polifenólicos de epidermis y pulpa expresados en equivalencias de trólox (Solomon *et al.*, 2006) o en muestras del sicono completo, expresado en hierro (Caliskan y Polat, 2011).

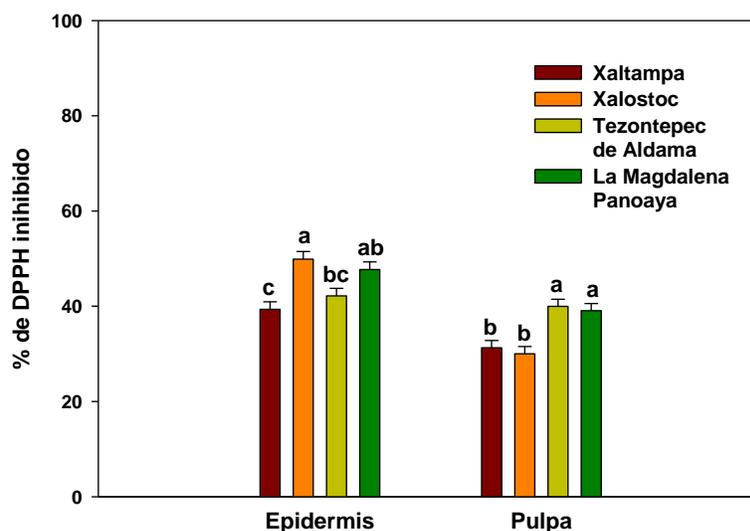


Figura 18. Contribución en la actividad antioxidante de las antocianinas totales de epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.3.3 Contribución por flavonoides totales

Los flavonoides contribuyeron significativamente en la actividad antioxidante, para ambos tejidos de los siconos, en especial la epidermis (Figura 19). Los flavonoides presentes en la epidermis proveniente del sitio de Tezontepec de Aldama inhibieron hasta un 90 %, seguido por Xalostoc con 48 %. Los porcentajes contribuidos por Xaltampa y La Magdalena Panoaya, representaron aproximadamente el 25 % del porcentaje máximo.

En pulpa, el sitio de Xalostoc fue sobresaliente con el mayor porcentaje de DPPH inhibido (42.1 %), en relación con los tres sitios restantes. En estos sitios el porcentaje fue similar, y el rango se ubicó entre 14.7 a 42.1 %.

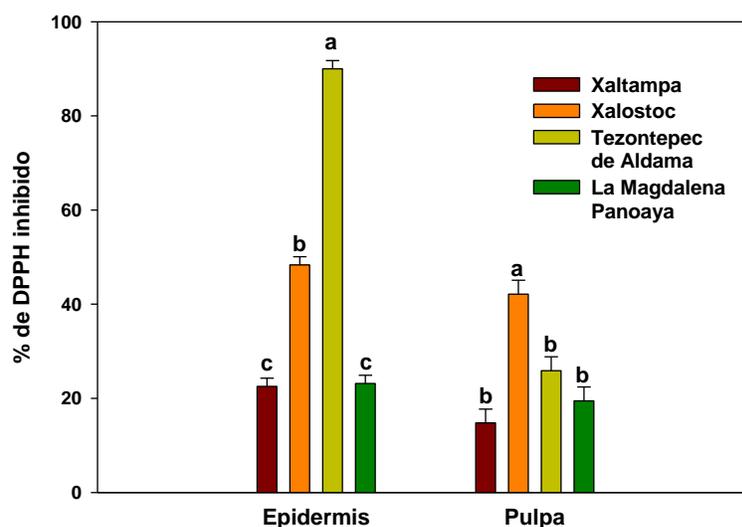


Figura 19. Contribución en la actividad antioxidante de los flavonoides totales de epidermis y pulpa de siconos de *Ficus carica* L., colectados en cuatro sitios. Las barras representan la media y, la línea vertical sobre la barra, el error estándar. Las barras sin superíndice en común, son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4 Correlación entre la concentración de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante

Se observó que la actividad antioxidante fue dependiente de la concentración de fenoles y flavonoides principalmente, seguido por las antocianinas (Cuadro 3). Las concentraciones de fenoles y flavonoides en epidermis presentaron una fuerte correlación de 0.80 y 0.92 ($p \leq 0.001$), respectivamente, en la disminución del radical. En cambio, la correlación entre las antocianinas y la actividad antioxidante fue baja ($p \leq 0.008$). La contribución en la actividad antioxidante no fue favorecida por la concentración.

En pulpa, el coeficiente de correlación entre la concentración de antocianinas y la actividad antioxidante fue de 0.48 ($p \leq 0.05$). En contraste, la correlación observada en fenoles y flavonoides no fue significativa. La relación entre fenoles y la actividad antioxidante fue nula.

La correlación entre el contenido de los grupos fenólicos y la actividad antioxidante en ambos tejidos, fue alta para fenoles y flavonoides. Se observó que

estas variables están correlacionadas significativamente, alcanzando valores de 0.79 y 0.76.

La correlación establecida por los fenoles fue inferior comparada con la reportada por Solomon *et al.* (2006) y Caliskan & Polat (2012a) e igual que la reportada por Veberic *et al.* (2008b). Solomon *et al.* (2008) reportaron una $r = 0.99$ para antocianinas. El cual es menor al hallado por Caliskan & Polat (2011) y Caliskan & Polat (2012a) con un r de 0.63 y 0.56, respectivamente. Los valores anteriores son superiores al calculado ($0.26 \leq p \leq 0.10$).

Cabe destacar que en estos trabajos, la actividad antioxidante fue medida en extractos totales donde se cuantificó cada grupo fenólico. Las diferencias en las correlaciones pueden deberse a efectos sinérgicos de otros compuestos en la inhibición del radical y no propiamente de los compuestos en estudio. Comparado con los resultados de los siconos, donde se analizaron individualmente los extractos; fenólicos, antociánicos y flavonoides.

La epidermis, fue el tejido con mayor contribución en la actividad antioxidante. Además, la actividad antioxidante estuvo en función de la concentración de cada grupo fenólico. Lo cual fue observado por Oliveira *et al.* (2009), que analizaron el porcentaje de inhibición del DPPH en pulpa y epidermis de dos cultivares de *F. carica*.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación (r) de la concentración total de cada grupo fenólico en epidermis y pulpa y, el porcentaje contribuido en la actividad antioxidante.

GF_E	AA_E	GF_P	AA_P	GF_{E y P} vs AA_{E y P}
Fen_E	0.80 ***	Fen_P	0.00	0.79 ***
Antoc_E	-0.57	Antoc_P	0.48 *	0.26
Flav_E	0.92 ***	Flav_P	-0.35	0.76 ***

GF, grupo fenólico, Fen, fenoles, Antoc, antocianinas, Flav, flavonoides, E, epidermis; P, pulpa y AA, actividad antioxidante. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$.

6.5 Azúcares y compuestos antioxidantes identificados por CLAR

6.5.1 Azúcares

Se identificaron cuatro azúcares en epidermis y pulpa para los cuatro sitios de colecta; glucosa, fructosa y sacarosa y maltosa. Las concentraciones de cada azúcar mostraron diferencias significativas entre los sitios de colecta para epidermis y pulpa (Cuadro 4). La epidermis de los siconos de Xaltampa y Xalostoc mostró la mayor concentración de glucosa, comparada con los otros sitios. De igual forma, los de Xalostoc y Tezontepec de Aldama obtuvieron la misma tendencia para la maltosa. Los azúcares predominantes en epidermis fueron, glucosa, fructosa y sacarosa. El contenido total de azúcares fue similar entre los sitios. El rango de los totales fue de 97.5 a 152.1 mg g⁻¹ PF.

La concentración de fructosa en pulpa fue alta en tres sitios excepto a Tezontepec de Aldama (49.6 mg g⁻¹ PF). Los valores de glucosa, sacarosa y maltosa fueron similares en los cuatro sitios, tendencia similar a la expresada por la fructosa en epidermis. La pulpa de los siconos colectados en Xalostoc y La Magdalena Panoaya presentó el contenido total más alto entre los sitios (152.8 y 173.1 mg g⁻¹ PF, respectivamente). El total se ubicó entre 100.0 y 173 mg g⁻¹, el cual se asemeja con el de la epidermis. La glucosa y fructuosa fueron los azúcares más representativos, con concentraciones máximas de 66.3 y 56.9 mg g⁻¹. Las cuales son superiores a los hallados por Owino *et al.* (2004).

En este estudio se hallaron concentraciones similares entre glucosa, fructosa y sacarosa tanto en epidermis y pulpa, seguido de bajas concentraciones de maltosa. Estos resultados son diferentes a los citados por Owino *et al.* (2004), Ersoy *et al.* (2007), Slantar *et al.* (2011), Caliskan & Polat (2011) y Caliskan & Polat (2012a), quienes mencionaron a la fructosa o glucosa como los azúcares mayoritarios, seguidos de sacarosa.

En ambos tejidos, en epidermis y pulpa se observaron totales mayores a 100 mg g⁻¹, los cuales son superiores a los mencionados por Slantar *et al.* (2011), con valores de 2.5 mg de glucosa, 2.3 mg de fructosa y 0.01 mg de sacarosa. Pero comparados

con los de Caliskan & Polat (2012a) son bajos, quienes reportan hasta 8190 mg de glucosa, 6300 mg de fructosa y 140 mg de sacarosa.

Ersoy *et al.* (2007) reportaron a la maltosa como constituyente en menor proporción, precedida por lactosa. Owino *et al.* (2004), identificaron otros azúcares en la composición de los siconos, xilosa, arabinosa, ramnosa y manosa.

Cuadro 4. Azúcares (mg g⁻¹ PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.

Sitio de colecta	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Maltosa	Total
Epidermis					
Xaltampa	56.09 ab	24.76 a	36.98 b	1.99 b	114.84 a
Xalostoc	69.20 a ^z	32.10 a	54.89 a	2.35 a	152.13 a
Tezontepec de Aldama	50.38 b	24.46 a	45.01 ab	3.25 a	118.20 a
La Magdalena Panoaya	43.78 b	25.58 a	32.25 b	0.99 c	97.48 a
ES	6.06	9.11	4.42	0.23	14.60
Pulpa					
Xaltampa	52.78 ab	6.46 b	39.73 a	1.76 a	100.71 b
Xalostoc	66.37 a	27.96 b	54.68 a	3.27 a	152.82 a
Tezontepec de Aldama	49.58 b	18.63 b	42.57 a	2.04 a	112.82 b
La Magdalena Panoaya	63.64 ab	56.96 a	50.87 a	1.67 a	173.14 a
ES	3.72	6.16	3.96	0.45	9.47

^z medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6.5.2 Ácidos fenólicos

Se identificaron ácidos fenólicos pertenecientes a los dos subgrupos; hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos, cuyas concentraciones fueron diferentes estadísticamente entre los sitios de colecta para epidermis y pulpa (Cuadro 5). Se observó por cada 100 g de PF de epidermis, un total de 515 a 1207 mg. El contenido máximo fue para el sitio de Xalostoc y, el mínimo fue para Tezontepec de Aldama.

Entre los ácidos hidroxicinámicos, se encontraron el cafeico, clorogénico, coumárico y ferúlico. El ácido cafeico obtuvo la mayor concentración en Xaltampa

(145.6 mg 100 g⁻¹ PF) y Xalostoc (143.1 mg 100 g⁻¹ PF) comparado con La Magdalena Panoaya. El ácido clorogénico (756.7 mg 100 g⁻¹ PF) fue mayor para Xalostoc y a los publicados por Del Caro & Piga (2008), con 0.7 mg en epidermis del cultivar Mattalona. Por otra parte, el ácido ferúlico cuantificado en La Magdalena Panoaya fue mayor que el registrado en Pingo de Mel (2.05 mg) y Branca tradicional (0.92 mg) (Oliveira *et al.*, 2009). Tezontepec de Aldama destacó por la más alta concentración (2.99 mg) de ácido coumárico.

Los ácidos hidroxibenzoicos presentes en epidermis fueron, siríngico, p-hidroxibenzoico, y vainillínico. Los dos últimos presentaron la misma concentración en los cuatro sitios. Con excepción de Tezontepec de Aldama, donde no se detectó el ácido p-hidroxibenzoico. Xalostoc fue el sitio con la concentración más alta de ácido siríngico (11.0 mg 100 g⁻¹ PF). El ácido en epidermis con mayor contribución en el contenido total, fue el ácido clorogénico con 312.0 a 756.7 mg 100 g⁻¹ PF.

En pulpa, no se observaron diferencias en la concentración total entre los sitios, cuya media aproximada fue de 633 mg. Para los ácidos hidroxicinámicos, los sitios, Xaltampa y Xalostoc exhibieron los valores más altos de ácido clorogénico. En La Magdalena Panoaya los ácidos, coumárico y ferúlico fueron los más altos. En pulpa analizada por Oliveira *et al.* (2009) no encontraron ácido fenólico en su constitución.

Entre los ácidos hidroxibenzoicos encontrados en pulpa fueron, p-hidroxibenzoico, siríngico y vainillínico. Cuyas concentraciones no fueron diferentes estadísticamente por sitio. En Xalostoc, únicamente se cuantificó al ácido p-hidroxibenzoico (4.13 mg 100 g⁻¹ PF). De igual forma que en la epidermis, el ácido con mayor concentración entre los otros ácidos en pulpa fue, el clorogénico en un rango de 275.0 a 168.0 mg 100 g⁻¹ PF.

Estos resultados no coinciden con Del Caro & Piga (2008), porque este ácido estuvo ausente en pulpa. La concentración de los ácidos, clorogénico, siríngico y ferúlico en ambos tejidos es superior a los enunciados por Slantar *et al.* (2011), Veberic *et al.* (2008a) y Faleh *et al.*, (2012), quienes hicieron la valoración del sicono entero de otros genotipos. Los valores encontrados en estas investigaciones fueron; 0.5 mg y 1.0

mg de ácido clorogénico, 0.08 mg de siríngico y, de 0.16 mg de ácido ferúlico. Veberic *et al.* (2008) y Tawfik & Alhey (2014) cuantificaron 0.3 mg y 30.99 mg de ácido gálico respectivamente, sin embargo en los siconos en estudio, no fue cuantificado.

En estudios previos se ha evaluado cada uno de los ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos en sistemas biológicos *in vitro* e *in vivo*. En estos, se han revelado propiedades y efectos terapéuticos para cada ácido. Como antioxidante (Maizen *et al.*, 2011), anticancerígeno (Govea *et al.*, 2013; Nasr *et al.*, 2015), anti hiperglucémico (Muthukumaran *et al.*, 2013), neuroprotector (Mikami & Yamazawa, 2015) y antifibrótico pulmonar (Nikbakht *et al.*, 2015).

Cuadro 5. Ácidos fenólicos (mg 100 g⁻¹ PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.

Sitio de colecta	Ácidos hidroxicinámicos				Ácidos hidroxibenzoicos				Total
	Caf	Clorog	Coum	Ferul	Gal	p- hidroxib	Siring	Vainill	
Epidermis									
Xaltampa	145.66 a ^z	686.91 b	1.21 b	nd	nd	1.29 a	1.02 b	1.71 a	837.79 b
Xalostoc	143.14 a	756.70 a	0.34 b	295.26 a	nd	1.10 a	11.00 a	0.11 a	1207.66 a
Tezontepec de Aldama	79.65 b	421.12 c	2.99 a	167.26 b	nd	nd	4.24 b	2.32 a	677.56 c
La Magdalena Panoaya	64.87 c	312.01 d	0.77 b	135.79 c	nd	0.46 a	1.15 b	0.16 a	515.23 d
ES	0.88	0.05	0.23	2.21		0.48	0.84	0.54	7.09
Pulpa									
Xaltampa	122.95 ab	539.54 a	0.63 b	nd	nd	0.13 a	0.10 b	1.14 a	664.47 ab
Xalostoc	168.03 a	747.75 a	0.20 b	nd	nd	nd	4.13 a	nd	920.01 a
Tezontepec de Aldama	57.39 b	275.05 b	0.33 b	120.55 a	nd	nd	2.28 ab	0.47 a	456.06 b
La Magdalena Panoaya	63.61 b	291.83 b	2.44 a	133.75 a	nd	0.18 a	1.01 b	0.36 a	493.17 ab
ES	13.51	58.95	0.20	7.50		0.07	0.40	0.43	74.49

^z medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey (p ≤ 0.05). Caf: cafeico, Clorog: clorogénico, Coum: coumárico, Ferul: ferúlico, Gal: gálico, p- hidroxib: p- hidroxibenzoico, Siring: siringico, Vainill: vainillínico, ES: error estándar, nd: no detectado. Los valores representan la media de cinco réplicas por sitio de colecta.

6.5.3 Antocianinas

En el cuadro 6 se muestra la composición de dos antocianinas para epidermis y pulpa. Las diferencias fueron significativas en epidermis, pero no en pulpa. En epidermis se observaron concentraciones de ambas antocianinas en dos sitios, Xalostoc y Tezontepec de Aldama, y solo una antocianina (peonidina- 3-O- β -glucopiranosido) en La Magdalena Panoaya. La concentración de peonidina- 3-O- β -glucopiranosido presente en Tezontepec de Aldama fue de 997.49 mg 100 g⁻¹, la cual fue superior con respecto a la de Xalostoc y a la de La Magdalena Panoaya.

El valor máximo (244.48 mng) de cianidina 3- glucósido en epidermis, se encontró en Xalostoc y fue superior al hallado en epidermis oscura de siconos españoles (Dueñas *et al.* 2008; Vallejo *et al.*, 2012). En cuanto al total más alto fue para Tezontepec de Aldama. La antocianina predominante, fue la peonidina- 3-O- β -glucopiranosido. En siconos italianos, la cianidina 3- glucósido es la antocianina predominante (Del Daro & Piga, 2008).

En pulpa, se dilucidaron ambas antocianinas, particularmente en Tezontepec de Aldama y La Magdalena Panoaya. Las concentraciones tanto individual como total, no mostraron diferencias significativas entre los dos sitios. El contenido de cianidina 3- glucósido fue mayor que el registrado por Dueñas *et al.* (2008) y Vallejo *et al.* (2012). Los siconos de Xaltampa y la pulpa del sitio Xalostoc, no presentaron ninguna antocianina.

La cianidina- 3- glucósido se ha reportado como la antocianina principal en los higos (Márquez, 2011; García, 2014), sin embargo en los siconos colectados en Xaltampa, no fue detectada. Con estos resultados se infiere que la coloración observada en los tejidos es atribuida a otras antocianinas registradas por Dueñas *et al.* (2008). Además, en esta caracterización la peonidina- 3-O- β - glucopiranosido, no fue dilucidada en epidermis y pulpa. Las diferencias en los tejidos puede deberse a la función realizada por las antocianinas en la protección UV en los frutos. Resultando en una mayor concentración de estos compuestos en el tejido externo

Se puede destacar que los siconos de tres sitios son una fuente idónea de antocianinas y probablemente de sus agliconas (antocianidinas), participantes en la reducción de radicales libres. Guzmán *et al.* (2009) demostraron que tanto la cianidina

como la peonidina, tienen propiedades antioxidantes. Siendo la cianidina la que presenta mayor poder reductor en relación a la peonidina y a otras antocianidinas. Wang & Stoner (2008) reportaron a la cianidina 3- glucósido como un compuesto involucrado en la anti proliferación celular

Cuadro 6. Antocianinas (mg 100 g⁻¹ PF) identificadas en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.

Sitio de colecta	Peonidina- 3-O-β-glucopiranosido	Cianidina- 3 glucósido	Total
Epidermis			
Xaltampa	nd	nd	-
Xalostoc	74.70 b^z	244.48 a	319.18 b
Tezontepec de Aldama	997.49 a	0.12 b	997.61 a
La Magdalena Panoaya	26.09 b	nd	26.09 b
ES	135.12	18.26	135.98
Pulpa			
Xaltampa	nd	nd	-
Xalostoc	nd	nd	-
Tezontepec de Aldama	10.87 a	54.64 a	65.51 a
La Magdalena Panoaya	16.67 a	69.86 a	86.53 a
ES	1.73	11.76	11.58

^z medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey (p ≤ 0.05). ES: error estándar, nd: no detectado. Los valores representan la media de cinco réplicas por sitio de colecta.

6.5.4 Flavonoides

La composición de flavonoides fue significativamente diferente entre los sitios de colecta (Cuadro 7). Se identificaron al menos un flavonoide de tipo flavonol, flavan 3- ol y dihidrochalcona en epidermis y pulpa. En epidermis se encontraron tres flavonoles y floretilina, mientras que en pulpa cuatro flavonoles y florizidina y, en ambos se identificó la naringenina.

En epidermis, la galangina y quercetina no mostraron diferencias significativas entre los sitios. La quercetina fue el único flavonol presente en La Magdalena Panoaya. En epidermis de siconos colectados en España, se encontró un contenido (0.4 a 3.2 mg) (Vallejo *et al.*, 2012) superior a los siconos de los cuatro sitios evaluados. La miricetina en epidermis alcanzó una concentración alta (0.23 mg 100 g⁻¹) en Tezontepec de Aldama, comparada con la de Xaltampa y Xalostoc. En otros estudios, citan a la rutina como el componente único en este tejido (Del Caro y Piga, 2008; Oliveira *et al.*, 2009) y predominante en todo el sicono (Veberic *et al.*, 2008a). En epidermis con 10.71 mg y 28.7 mg en el sicono entero. Sin embargo, este flavonol no fue cuantificado en alguno de los sitios.

La naringenina presente en epidermis de los sitios Xaltampa y La Magdalena Panoaya fue mayor (108.19 mg 100 g⁻¹) que en los otros dos sitios. La floretina (dihidrochalcona) fue exclusiva para Tezontepec de Aldama. En contraste, florizidina mostró una concentración común en tres sitios, con excepción a Tezontepec de Aldama. En cuanto al total, no se exhibieron valores diferentes estadísticamente.

La pulpa se conformó por naringenina, florizidina y cuatro flavonoles incluida la rutina, misma que fue localizada en concentraciones altas en pulpa de Branca Tradicional (6.46 mg) (Oliveira *et al.*, 2009) y en siconos completos (0.89 mg) (Slantar *et al.*, 2011). En todos los sitios, la pulpa estuvo compuesta de quercetina, lo cual fue opuesto a lo presentado en pulpa de siconos de origen español. La mayoría de los siconos analizados carecieron de este compuesto (Vallejo *et al.*, 2012).

La miricetina fue el único flavonol, que mostró una concentración particular de 64.41 mg 100 g⁻¹, así como la naringenina con 90.12 mg 100 g⁻¹ entre los sitios. La florizidina estuvo presente en mayor proporción en Xalostoc con 0.75 mg. En cuanto al total, en La Magdalena Panoaya se visualizó la mayor composición de flavonoides.

Se ha identificado en los frutos, la quercetina en una concentración de 5.57 mg (USDA, 2014). Además, de otros tipos de quercetina (unida a otros azúcares, glucosa y rutinosa) en epidermis (Oliveira *et al.*, 2009). Por otra parte, en peso seco, se han detectado 3.26 mg de rutina y 10.36 mg de quercetina (Tawfik & Alhey, 2014).

La naringenina y las dihidrochalconas detectadas en los siconos son compuestos particulares de pomelos y hojas o frutos de manzano, respectivamente.

Sin embargo, fueron encontradas en concentraciones notorias en ambos tejidos de los siconos. Con estos resultados, se observó que los siconos son una fuente natural de flavonoides. Las propiedades de cada tipo de flavonoide, han sido demostradas en estudios previos como, vasodilatadora (Pérez *et al.*, 2014), antibacterial (Barreca *et al.*, 2014), anticancerígena (Devi *et al.*, 2015), anti- angiogénicas de células tumorales (Huang *et al.*, 2015) y anti- hiperglucémica (Priscilla *et al.*, 2015).

Cuadro 7. Flavonoides (mg 100 g⁻¹ PF) identificados en epidermis y pulpa de siconos provenientes de cuatro sitios de colecta.

Sitio de colecta	Flavona	Flavonoles				Flavan 3- ol	Dihidrochalconas		Total
	Apig	Galang	Querc	Miric	Rut	Naring	Floret	Florid	
Epidermis									
Xaltampa	nd	5.55 a ^z	0.01 a	0.04 b	nd	108.19 a	nd	0.02 a	238.77 a
Xalostoc	nd	19.31 a	0.04 a	0.02 b	nd	0.57 b	nd	0.11 a	44.97 c
Tezontepec de Aldama	nd	12.42 a	0.75 a	0.23 a	nd	18.71 b	1.98 a	nd	74.21 bc
La Magdalena Panoaya	nd	nd	0.02 a	nd	nd	82.45 a	nd	0.03 a	171.98 ab
ES	-	6.27	0.23	0.01	-	11.74	0.94	0.03	27.11
Pulpa									
Xaltampa	nd	19.82 a	2.21 a	0.33 b	0.07 a	10.54 b	nd	0.14 b	33.12 b
Xalostoc	nd	13.46 b	2.12 a	0.04 b	0.20 a	nd	nd	0.75 a	16.57 b
Tezontepec de Aldama	nd	13.00 b	1.64 a	5.48 b	0.20 a	nd	nd	0.15 b	20.46 b
La Magdalena Panoaya	nd	13.56 b	2.45 a	64.41 a	0.07 a	90.12 a	nd	0.16 b	170.78 a
ES	-	0.76	0.53	3.48	0.06	9.10	-	0.13	12.08

^z medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$). Apig: apigenina, Galang: galangina, Querc: quercetina, Miric: miricetina Rut: rutina, Naring: naringenina, Floret: floretina, Florid: florizidina, ES: error estándar, nd: no detectado. Los valores representan la media de cinco réplicas por sitio de colecta.

7 CONCLUSIONES

- El peso, tamaño, color y el contenido de azúcares totales son algunos de los principales parámetros de calidad que definieron las diferencias en los siconos entre los sitios de colecta de este estudio; Xaltampa (Puebla), Xalostoc (Morelos), Tezontepec de Aldama (Hidalgo), La Magdalena Panoaya (México).
- La pulpa de los siconos de los cuatro sitios de colecta mostraron un alto contenido de azúcares totales, así como también en la epidermis de los siconos colectados en Xaltampa (Puebla).
- Los siconos colectados en los cuatro sitios presentaron compuestos fenólicos, y con mayor proporción en la epidermis, comparado con la pulpa. El grupo fenólico más abundante en la epidermis fueron las antocianinas totales, principalmente en los siconos colectados en Tezontepec de Aldama (Hidalgo). Los taninos condensados se observaron en concentraciones muy bajas. En pulpa, los flavonoides totales fueron los más abundantes.
- Los grupos fenólicos de epidermis contribuyeron con un mayor porcentaje en la actividad antioxidante. Los fenoles en epidermis de los siconos de Xalostoc (Morelos) y los flavonoides y fenoles en los siconos de Tezontepec de Aldama (Hidalgo) contribuyeron un. La actividad antioxidante de estos grupos fenólicos es dependiente de su concentración total.
- Los azúcares identificados en siconos por CLAR fueron la glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa. El contenido total en epidermis y pulpa fue similar entre los sitios.
- Los antioxidantes predominantes e identificados en epidermis mediante HPLC fueron los ácidos fenólicos, seguido de los flavonoides y finalmente las antocianinas. Se identificaron los ácidos clorogénico y cafeico en mayor

proporción, mientras que el ácido gálico no fue identificado. Los siconos colectados en Xalostoc (Morelos) presentaron el mayor contenido total de ácidos fenólicos. Los flavonoides de mayor concentración son la naringenina y galangina. Las antocianinas predominantes en epidermis son la peonidina 3-O- β -glucopiranosido y cianidina 3-O-glucósido. Los siconos de Xaltampa (Puebla) carecieron de estas antocianinas.

8 LITERATURA CITADA

- Aguilera, O. M., 2009. Caracterización y estabilidad de las antocianinas de Higo (*Ficus carica*) variedad Misión cultivado en la ciudad de Lerdo Durango, México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 151 p.
- Ahmad, J., Khan, I., Khan, S. & Iqbal, D. 2013. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of *Ficus carica* leaves: an in vitro approach. *Journal Plant Pathology Microbiology*. 4(1): 1-4.
- Ali, M. & Chaudhary, N. 2011. *Ficus hispida* Linn: A review of its pharmacognostic and ethnomedicinal properties. *Pharmacognosy Review*. 5(9): 96-102. 2: 1-15.
- Álvarez, J. M. 2007. Tanino: La revolución enológica, mito o realidad. *Enología*.
- Amarowicz, R. 2007. Tannins: the new natural antioxidants?. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109: 549-551.
- Angón- Galván, P., Santos- Sánchez, N. F. & Hernández- Carlos, G. 2006. Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 10(30): 3-8.
- Antolovich, M., Prenzler, D. P., Patsalides, E., McDonald, S. & Robards, K. 2001. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*. 127: 183- 198.
- Ao, C., Li, A., Elzaawely, A. A., Xuan, D. T. & Tawata S. 2008. Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of *Ficus microcarpa* L. fil extract. *Food Control*. 19: 940-948.

- Bachir, B. M., Louaileche, H. & Zemouri, S. 2013. Optimization of phenolic compound recovery and antioxidant activity of light and dark dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *Food Science Biotechnology*. 22(6): 1613-1619.
- Bakowska- Barczak, A. 2010. Acylated anthocyanins as stable, natural food colorants. A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 14(2): 107-116.
- Barolo, M. I., Ruiz, M. N. & López, S. N. 2014. *Ficus carica* L. (Moraceae): An ancient source of food and health. *Food chemistry*. 164: 119-127.
- Barreca, D., Bellico, E., Lagana, G., Ginestra, G. & Bisignano, C. 2014. Biochemical and antimicrobial activity of phloretin and its glycosylated derivatives present in apple and kumquat. *Food Chemistry*. 160: 292- 297.
- Barreiro, P. & Ruiz- Altisent, M. 1996. Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. *Fruticultura profesional*. 77: 48-51.
- Berg, C. C. 1989. Classification and distribution of *Ficus*. *Experientia*. 45: 605-611.
- Brand, W. W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 28(5), 25-30.
- Cakmak, B., Alayunt, N. F., Akdeniz, C. R., Aksoy, U. & Can, Z. H. 2010. Assessment of the quality losses of fresh fig fruits during transportation. *Journal of Agricultural Sciences*. 16: 180- 193.
- Caliskan, O. & Polat, A. A. 2008. Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grow in Tukey. *Scientia Horticulturae*. 115: 360- 367.
- Caliskan, O. & Polat, A. A. 2011. Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Tukey. *Scientia Horticulturae*. 128: 473- 478.
- Caliskan, O. & Polat, A. A. 2012a. Effects of genotype and harvest year on phytochemical and fruit quality properties of Turkish genotypes. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 20(4): 1048- 1058.
- Caliskan, O. & Polat, A. A. 2012b. Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Tukey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 36: 179- 193.

- Castañeda- Ovando, A., Pacheco- Hernández, M. L., Paéz- Hernández, M. E., Rodríguez, J., A. & Galán- Vidal, C. A. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*. 113: 859-871.
- Chawla, A., Kaur R. & Kumar, S., A. 2012. *Ficus carica* Linn.: A review on its pharmacognostic, phytochemical and pharmacological aspects. *Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological*. 1(4): 215-232.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2003. *Ficus carica* L. Consultado 31 de octubre de 2013 en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/50-morac5m.pdf
- Crisosto, H. C., Bremer, V., Ferguson, L. & Crisosto, M. G., 2010. Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *Horticulture Science*. 45(4): 707-710.
- Crisosto, H. C., Mitcham, J. E. & Kader, A. A. 2013. Fig: recommendations for maintaining postharvest quality. Consultado el 23 de Julio de 2014 en <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Fig/>
- Crozier, A., Jaganath, B., I. & Clifford, N. M. 2009. Review. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural Product Reports*. 26(8): 1001-1043.
- De Ancos, B., González, M. E. & Cano, P. 2000. Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 4565-4570.
- Del Caro, A. & Piga, A. 2008. Polyphenol composition of peel and pulp of two italian fresh fig fruits cultivar (*Ficus carica* L.). *European Food Research and Technology*. 226: 715- 719.
- Devi, K. P., Rajavel, T., Habtemariam, S., Nabavi, S. F. & Nabavi, S. M. 2015. Molecular mechanism underlying anticancer effects of myricetin. *Life Sciences*. 142: 19- 25.

- Dueñas, M., Pérez, A. J. J., Santos, B. C. B. & Escribano, B. T. 2008, Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 21: 107-115.
- Ersoy, N., Gözlekci, S. & Kaynak, L. 2007. Changes in sugar contents of fig fruit (*Ficus carica* L. Cv. Bursa Siyahı) during development. *Süleyman Demirel University Faculty of Agriculture Journal*. 2(2): 22- 26.
- Escamilla, J. C. I., Cuevas, M. E. Y. & Guevara, F. J. 2009. Monografía. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*. 52(2): 73-75.
- Eskin, M. N. A. & Hoehn, E. 2013. Fruits and vegetables. In: Eskin, M. N. A. & Shahidi, F. (Eds). *Biochemistry of foods*. Academic Press. USA., pp. 84- 86.
- Faleh, E., Oliveira, P. A., Valentao, P., Ferchichi, A., Silva, M. B. & Andrade, B. P. 2012. Influence of tunisian *Ficus carica* fruit variability in phenolic profiles and in vitro radical scavenging potential. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 22(6): 1282-1289.
- Flaishman, M. A. Rodov, V. & Stover, E. 2008. The fig: Botany, horticulture and breeding. *Horticulture Reviews*. 34: 113- 196.
- Flores, M. D. & Jiménez, B. V. 2007. Desarrollo del cultivo de higo (*Ficus carica*) para consumo fresco y procesado, como alternativa de diversificación para el sector agrícola, Informe final, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 93 p.
- Flores, R. K. U. 2009. Determinación no destructiva de parámetros de calidad de frutas y hortalizas mediante espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 182 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division (FAO), 2015. Producción de cultivos por países, regiones y grupos especiales. Consultado el 20 de mayo de 2015 en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>
- Fukumato, R. L. & Mazza, G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 3597-3604.
- García, P. A. 1941. La higuera común (*Ficus carica* de L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 4(14): 1639-1644.
- García, R. M. T. 2014. Caracterización morfológica y genética de variedades mexicanas (*Ficus carica* L.). Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. 141 p.

- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y. & Valle-Guadarrama, S. 2012. Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en Pitaya de Mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5): 1-5.
- González- Rodríguez, A. M. & Grajal- Martín, M. J. 2011. Higueras de Canarias. Caracterización morfológica de variedades. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Santa Cruz de Tenerife, España. 127 p.
- Govea, S. M., Zugasti, C. A., Silva, B. S.Y., Valdivia, U. B., Rodríguez, H. R., Aguilar, G. C. N., & Chávez, M. J. 2013. Actividad anticancerígena del ácido gálico en modelos biológicos *in vitro*. *Acta Química Mexicana*. 5(9): 5- 11.
- Gozlekci, S. 2011. Pomological traits of fig (*Ficus carica* L.) genotypes collected in the west Mediterranean region of Turkey. *Journal of Animal and Plant Science*. 21(4): 646-652.
- Gruenwald, J., Brendler, T. & Jaenicke, C. (Eds). 2000. *PDR for Herbal Medicines*. 4a edición. Medical Economics Company Inc. Montvale, USA. 858 p.
- Guzmán, R., Santiago, C. & Sánchez, M. 2009. A density functional study of antioxidant properties on anthocyanidins. *Journal of Molecular Structure*. 935: 110-114.
- Heim, E. K., Tagliaferro, R., A. & Bobilya, J. D. 2002. Flavonoid antioxidant: Chemistry, metabolism and structure- activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 13: 572- 584.
- Huang, H., Chen, Y. A., Rojanasakul, Y., Ye, X., Rankin, O. G. & Chen, Y. C. 2015. Dietary compounds galangina and myricetin suppress ovarian cancer cell angiogenesis. *Journal of Functional Foods*. 15: 464-475.
- Ibarra, M. G., Cornejo, T. G., González, C. N., Piedra, M. E. V. & Albina, L. *Botanical Sciences*. 90 (4): 389-452.
- INEGI. 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Xochiapulco, Puebla. Clave geoestadística 21200. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 9 p.
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ayala, Morelos. Clave geoestadística 17004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 9 p.

- INEGI. 2009c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tezontepec de Aldama, Hidalgo. Clave geoestadística 13067. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 9 p.
- INEGI. 2009d. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Texcoco, México. Clave geoestadística 15009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 9 p.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). 2012. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2a ed. Serviprensa, S. A. Guatemala. 126 p.
- Jin-Ming, K., Lian- Sai, C., Ngoh-Khang, G., Tet-Fatt, C. & Brouillard, R. 2003. Review: Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*. 64:923-933.
- Jin-Yuarn, I. & Chin-Yin, T. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. 101: 140- 147.
- Joseph, B. & Raj, J. S. 2011. Pharmacognostic and phytochemical properties of *Ficus carica* Linn- An overview. *International Journal of PharmTech Research*. 3(1): 08-12.
- Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta hortícola*. 485: 203- 208.
- Khoddami, A., Wilkes, A. M. & Roberts, H. T. 2013. Review: Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*. 18: 2328- 2375.
- King, S. E., Hopfer, H., Haug, T. M., Orsi, D. J., Heymann, H., Crisosto, M. G. & Crisosto, H. C. 2012. Describing the appearance and flavor profiles of fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Journal of Food Science*. 77(12): 419- 429.
- Kislev, M. E., Hartmann, A. & Bar-Yosef, O. 2006. Early domesticated fig in the Jordan Valley. *Science*. 312: 1372-1374.
- Kuskoski, M. E., Asuero, G. A., García-Padilla, M. C., Troncoso, M. A. & Fett, R. 2004, Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Ciencia Tecnológica Alimentaria*, 24 (4): 691-693.

- Kuskoski, M. E., Asuero, G. A., Troncoso, M. A., Mancini-Filho, J. & Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciencia Tecnológica Alimentaria*, 25 (4): 726-732.
- Lleó, G. L., Valero, U. C. & Ruiz-Altisent, M. 1999. Parámetros de calidad organoléptica en el melocotón. Consultado el 15 de septiembre de 2015 en: http://oa.upm.es/6272/1/Valero_24.pdf
- Lochab, B., Shukla A. & Varma K., I. 2014. Review. Naturally occurring phenolic sources: Monomers and polymers. *Royal Society of Chemistry Advances*. 4: 21712-21752.
- Lodhi, F., Bradley, M. V., & Crane, J. C. (1969). Auxins and gibberellins like substances in parthenocarpic and non-parthenocarpic syconia of *Ficus carica* L., cv. King. *Plant Physiology*, 44, 555-561.
- López, C. M., Gil, T. M., Pérez, G. F., Cortés, P. J., Serradilla, S. M. & Chome, F. P. M. 2011. Variedades de Higuera. Descripción y registro de variedades. Akasa. Madrid, España. 205 p.
- Maizen, P. S., Rajakumar, S. & Dhanasekar, K. 2011. Protective effects of vanillic acid on electrocardiogram, lipid peroxidation, antioxidant, proinflammatory markers and histopathology in isoproterenol induced cardiotoxic rats. *European Journal of Pharmacology*. 6686 (1-2): 333- 340.
- Márquez, 2011. Capacidad antioxidante y caracterización estructural de las antocianinas de los frutos rojos de *Prunus domestica* L., *Ficus carica* L. y *Vitis vinifera* L. c. v. "Red globe" cultivados en Perú. Tesis maestría. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 73 p.
- Marreli, M., Menichini, F., Statti, G. A., Bonesi, M., Duez, P., Menichini, F. & Conforti, F. 2012. Changes in the phenolic and lipophilic composition, in the enzyme inhibition and antiproliferative activity of *Ficus carica* L. cultivar Dottato fruits during maturation. *Food and Chemical Toxicology*. 50: 726-733.
- Martínez, J. G. 2008. Farmacopea natural y tratamiento de afecciones de la piel en la medicina tradicional de los campesinos de las sierras de Córdoba (República Argentina). *Dominguezia*. 24(1): 27-45.

- Martínez-Cruz, N. S., Arévalo-Niño, K., Verde-Star, M. J., Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, A., Núñez-González, M. A. & Morales-Rubio, M. E. 2011. Antocianinas y actividad anti radicales libres de *Rubus adenotrichus* Schltidl (Zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 42(4): 66-71.
- Mendoza, P. J. A. & Fregoso, A. T. A., 2013. Capítulo 3. Chemistry of natural antioxidants and studies performed with different plants collected in Mexico. In: Morales-Gonzales, J. A. (Ed). Oxidative stress and chronic degenerative diseases. Intech. Rijeka, Croacia, pp: 59-85.
- Mikami, Y. & Yamazawa, T. 2015. Chlorogenic acid, a polyphenol in coffee protects neurons against glutamate neurotoxicity. *Life Sciences*. 139(15): 69- 74.
- Moo-Hichin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas y Vargas, M. L., Betancur-Ancona, D. & Sauri-Duch, E. 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*. 152: 508- 515.
- Morton, F. J. 1987. Fruits of warm climates. Florida Flair Books. Miami, Florida. pp 47-50.
- Muthukumar, J., Srinivasan, S., Venkatesan, S. R., Ramachandran, V. & Moruganathan, U. 2013. Syringic acid, a novel phenolic acid normalizes hyperlipidemia with special reference to glycoprotein components in experimental diabetic rats. *Journal of Acute Disease*. 2: 304- 309.
- Nasr, B. N., Kilani, J. S., Kovacic, H., Chekir- Ghedira, L., Ghedira, K. & Luis, J. 2015. The effects of caffeic, coumaric and ferulic acids on proliferation, superoxide production, adhesion and migration of human tumor cells in vitro. *European Journal of Pharmacology*. 766(5): 99- 105.
- Nikbakht, J., Hemmati, A. A., Arzi, A., Mansouri, T. M., Rezaie, A. & Ghaforian, A. 2015. Protective effect of gallic acid against bleomycin- induced pulmonary fibrosis in rats. *Pharmacological Reports*. 67(6): 1061- 1067.
- Oliveira, P. A., Valentao, P., Pereira, A. J.; Silva, M. B., Tavares, F. & Andrade, B. P. 2009. *Ficus carica* L.: Metabolic and biological screening. *Food and Chemical Toxicology*. 47: 2841-2846.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2015. International standards for fruit and vegetables. Fresh figs. OECD Publications. Francia. 87 p.
- Owino, O. W., Nakano, R., Kubo, Y. & Inaba, A. 2004. Alterations in cell wall polysaccharides during ripening in distinct anatomical tissue regions on the fig (*Ficus carica* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 32: 67- 77.
- Parra, L. J. 1996, Estudio fenológico de un huerto de higuera (*Ficus carica* L.) en el ejido Francisco Villa, Municipio de Comundu, Baja California Sur, Tesis. Ingeniero agrónomo, Universidad Autónoma de Nayarit. 116 p.
- Peña-Varela, G., Salinas-Moreno, Y. & Ríos-Sánchez, R. 2006. Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2):159-163.
- Pérez, A., González-Manzano, S., Jiménez, R., Pérez-Abud, R., Haro, J. M., Osuna, A., Santos-Buelga, C., Duarte, J. & Pérez- Vizcaino, F. 2014. The flavonoid quecetin induces acute vasodilator effects in healthy volunteers: Correlation with beta-glucuronidase activity. *Pharmacological Research*. 89: 11- 18.
- Perreira, C., Serradilla, M. J., Martín, A., Villalobos, M. C., Pérez-Gragera, F. & López-Corrales, M. 2015. Agronomic behaviour and quality of six cultivars for fresh consumption. *Scientia Horticulture*. 185:121-128.
- Polat, A. A. & Caliskan, O. 2008. Fruit characteristics of table fig (*Ficus carica*) cultivars in subtropical climate conditions of the Mediterranean region. *New Zeland Journal and Horticultural Science*. 36: 107-115.
- Porter, J. L., Hrstich, N. L. & Chan, G. B. 1986. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidins and delphinidin. *Phytochemistry*. 25 (1): 223- 230.
- Priscilla, D. H., Jayakumar, M. & Thirumurugan, K. 2015. Flavonone naringenin: An effective antihyperglycemic and antihyperlipidemic nutraceutical agent on high fat diet fed streptozotocin induced type 2 diabetic rats. *Journal of Functional Foods*. 14: 363- 373.
- Quiñones, M., Miguel, M. & Aleixandre, A. 2012. Revisión. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*. 27(1): 76-89.

- Ribeiro, J. E. L. S. 2011. Neotropical Moraceae. In: Milliken, W., Klitgard, B. & Baracat, A. (Eds), Neotropikey - Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics. Consultado 26 de mayo de 2015 en: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Moraceae.html>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 20 mayo de 2015 en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351
- Shahbazi, F. & Rahmati S., 2012. Mass modeling of fig (*Ficus carica* L.) fruit with some physical characteristics. *Food Science and Nutrition*. 1(2): 125-129.
- Simirgiotis, J. M., Bórquez, J. & Schmeda- Hirschmann, G. 2013. Antioxidant capacity, polyphenolic content and tandem HPLC- DAD- ESI/MS profiling of phenolic compounds from the South American berries *Luma apiculata* and *L. cheque*. *Food chemistry*. 139: 289- 299.
- Slantar, A., Klancar, U., Stampar, F. & Veberic, R. 2011. Effect of drying of figs (*Ficus carica* L.) on the contents of sugars, organics acids and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 11696- 11702.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M. & Gottlieb, H., E. 2006. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 7717–7723.
- Stanković, S. M. 2011. Total phenolic content, flavonoid concentration and antioxidant activity of *Marrubium peregrinum* L. extracts. *Kragujevac Journal Science*. 33: 63-72.
- Storey, W. B., Enderud, J. E., Saleeb, W. F. & Nauer, E. M. 1977. The fig (*Ficus carica* Linnaeus): Its biology, history, culture and utilization. Jurupa Mountains Culture Center. Riverside, California. 94 p.
- Tawfik, S. M. & Alhejy M. 2014. Antioxidants in fig (*Ficus carica* L.) and their effects in the prevention of atherosclerosis in hamsters. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2(4): 138-145.
- Tomás- Barberán, F. A. 2003. Los polifenoles en los alimentos y la salud. *Alimentación, nutrición y salud*. 10(2): 41- 53.

- United States Department of Agriculture (USDA), 2014. USDA Database for the proanthocyanidins content of selected foods. Consultado el 10 de agosto de 2015 en: <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/80400525/Data/PA/PA.pdf>
- Vallejo, F., Marín, J. G. & Tomás-Barberán F. 2012. A phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica L.*), *Journal Food Chemistry*, 130: 485-492.
- Vázquez-Flores, A. A., Álvarez-Padilla, E., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A. & De la Rosa, L. A. 2012. Taninos hidrolizables y condensados: Naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia*. 6(2): 84- 93.
- Veberic, R., Colaric, M. & Stampar, F. 2008a. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica L.*) in the northern Mediterranean region. *Journal Food Chemistry*, 106: 153-157.
- Veberic, R., Jakopic, J. & Stampar, F. 2008b. Internal fruit quality of figs (*Ficus carica L.*) in the northern Mediterranean region. *Italian Journal of Food Science*, 2(20): 255- 262.
- Venereo, G. J. R., 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana Médica Militar*. 31(2): 126- 133.
- Vinson, J. A., Subik L., Bose, P., Samman, N. & Proch, J. 2005. Dried fruits: Excellent in vitro and in vivo antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*. 24 (1): 44-50.
- Wang, L. S. & Stoner, G. D., 2008. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters*. 269: 281- 290.
- Zapata, K., Cortes, B., F. & Rojano, A. B. 2013. Polifenoles y la actividad antioxidante del fruto de Guayaba agria (*Psidium agria*). *Información Tecnológica*. 24(5): 103- 112.
- Zaragoza, O. M. C. 2014. Capacidad antioxidante de diferentes variedades de fresa (*Fragaria x ananasa Duch.*) en postcosecha con condicones de refrigeracion. Tesis de maestria. Colegio de Postgraduados. 87 p.

9 ANEXOS

9.1 Anexo 1. Morfología de los siconos de *F. carica* colectados en cuatro sitios.



Los sitios de colecta son: **A)** Xaltampa, Xochiapulco (Puebla), **B)** La Magdalena Panoaya, Texcoco (México), **C)** Xalostoc, Ayala (Morelos) y **D)** Tezontepec de Aldama (Hidalgo).

9.2 Anexo 2. Condiciones climáticas mensuales de cuatro lugares próximos a los sitios de colecta reportadas en el año 2014.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Med
Zacapoaxtla¹													
TMP (°C)	0.0	0.0	0.0	27.3	23.0	22.0	21.9	21.6	20.6	18.4	18.6	19.6	21.4
TMM (°C)	0.0	0.0	0.0	20.2	18.2	18.4	17.2	16.8	16.3	14.4	13.0	13.5	16.4
TMIP (°C)	3.6	6.2	9.2	13.1	13.4	14.9	12.5	11.9	11.9	10.3	7.5	7.4	10.2
PTM (mm)	38.5	10.8	62.9	58.1	176.9	228.3	125.7	113.2	227.4	467.7	47.5	49.2	133.9
Ayala²													
TMP (°C)	28.3	32.2	34.2	35.2	32.9	29.4	29.8	30.1	28.6	28.9	29.0	28.6	30.6
TMM (°C)	20.6	23.4	25.7	26.8	25.0	23.0	22.9	22.7	21.8	21.2	20.4	19.5	22.8
TMIP (°C)	13.2	14.9	17.1	18.5	18.3	18.0	16.7	16.9	16.9	15.7	13.4	11.0	15.9
PTM (mm)	0.0	12.8	0.0	23.2	142.2	296.8	97.6	153.6	184.4	46.8	0.0	0.0	79.8
Tezontepec de Aldama³													
TMP (°C)	24.0	27.2	28.5	-	-	-	26.9	27.9	26.3	26.4	-	-	26.7
TMM (°C)	13.7	17.9	19.0	-	-	-	19.0	19.3	18.7	17.6	-	-	17.9
TMIP (°C)	3.4	8.5	9.5	-	-	-	11.0	10.7	11.0	8.8	-	-	9.0
PTM (mm)	3.0	0.0	9.5	-	-	-	79.0	54.5	26.5	52.0	-	-	32.7
Chapingo⁴													
TMP (°C)	22.9	26.5	27.0	27.7	25.4	23.7		24.3	24.0	23.1	24.4	23.3	24.8
TMM (°C)	13.6	16.1	17.5	17.5	18.4	18.1		17.3	17.4	15.9	15.6	14.7	16.6
TMIP (°C)	4.3	5.7	8.1	10.1	11.4	12.5		10.2	10.8	8.7	6.9	6.1	8.6
PTM (mm)	0.13	0.05	0.66	0.84	2.95	5.72	4.92	2.65	3.25	2.75	0.49	.008	2.04

TMP: temperatura máxima promedio, TMM: temperatura media mensual, TMIP: temperatura mínima promedio, PTM: precipitación total mensual. Datos de la estación¹: número 00021103, latitud: 19° 52'18" N, longitud: 97° 35'18" O, altitud: 1 828.0 msnm. Estación³: número: 0013090, latitud: 20° 11'07"N, longitud: 099° 15'10" O, latitud: 2000 msnm. Estación⁴: latitud: 19°30'0.0"N, longitud: 98°54'0.0"O Fuente: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CGSMN), Servicio Meteorológico Nacional, 2015. Estación²: nombre: Ayala, latitud: 18° 45'26.2" N, Longitud: 98° 52'29.1" O. Fuente: Red de estaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2015. NOTA: Los datos expuestos provienen de estaciones próximas al sitio de colecta.