



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**COMPONENTES ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE
Capsicum spp. EN DIFERENTES CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

Martha Beatriz Román Arce

DIRECTORA DEL PROYECTO:

Dra. Ma. del Rosario García Mateos

Chapingo, Texcoco, México, Junio de 2015.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**COMPONENTES ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE
Capsicum spp. EN DIFERENTES CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

Martha Beatriz Román Arce

DIRECTORA DEL PROYECTO:

Dra. Ma. del Rosario García Mateos

Chapingo, Texcoco, México, Junio de 2015.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

Tesis realizada por **Martha Beatriz Román Arce** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

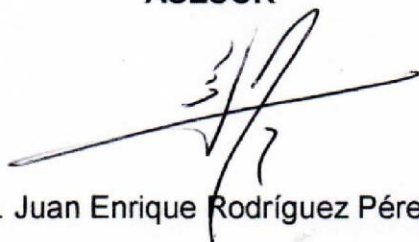
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

COMITÉ ASESOR



Dra. Ma. del Rosario García Mateos

ASESOR



Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR



Dr. Joel Corrales García

Chapingo, México Junio de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero brindado para llevar a cabo los estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por las oportunidades otorgadas en mi formación profesional.

Al Instituto de Horticultura y a cada uno de los profesores que lo integran por su participación y apoyo en el logro de este objetivo.

A la Dra. Ma. del Rosario García Mateos por su experiencia, apoyo en el cumplimiento de los objetivos, por sus valiosos consejos, interés y sobre todo paciencia, además de la confianza brindada para culminar este trabajo.

Al Dr. Joel Corrales García por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación, por sus consejos y sugerencias para mejorar el presente trabajo.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su valioso tiempo, acertadas recomendaciones y sugerencias en la estructura de los análisis realizados.

A la Dr. Ma. Carmen Ybarra Moncada coordinadora del Instituto de Alimentos por las facilidades de acceso al cromatógrafo de líquidos de alta resolución.

Al personal administrativo del instituto de alimentos por la amabilidad, respeto y facilidades para el acceso a las instalaciones al laboratorio de HPLC.

Al Departamento de Ingeniería Agroindustrial por facilidades y confianza de uso de las cámaras de refrigeración.

A todo el personal que labora en la UACH, por las facilidades otorgadas para poder culminar mis estudios y la investigación propuesta.

¡Muchas Gracias!

DEDICATORIA

A mis padres

Martha Arce e Ismael Román

Con todo el amor de mi corazón y porque son el motor para alcanzar nuevas metas.

A mi esposo

Adán Ruíz Ríos

Por el apoyo y comprensión para culminar otra etapa de mi vida.

A mis hermanos

Cecilia, Ricardo, Miguel y Ana

Por el apoyo y ánimo para seguir adelante.

A mis sobrinos

Abril, Junior y Alan

Con todo el cariño y la alegría que me da cuando me llaman tía.

DATOS BIOGRÁFICOS

Martha Beatriz Román Arce es originaria de Sombrerete, Zacatecas. Nació en Vicente Guerrero, Durango el 4 de marzo de 1988. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Su tesis de licenciatura se denominó “Poscosecha y efecto del deshidratado en compuestos fenólicos y actividad antioxidante del chile ancho (*Capsicum annum* L.) de Zacatecas”, aprobada con mención honorífica y con la cual obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial en 2012. En enero de 2013 ingresó al Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo para realizar estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Como requisito para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Horticultura defendió la presente investigación.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	2
2.1. HIPÓTESIS	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Importancia económica del cultivo de chile	3
3.2 Importancia del almacenamiento poscosecha de chiles frescos	4
3.3 Nutraceuticos y Fitoquímicos en el chile.....	5
3.4 Compuestos fenólicos	7
3.5 Flavonoides.....	8
3.6 Vitamina C	9
3.7 Carotenoides.....	10
3.8 Tocoferoles	11
3.9 Capsaicinoides	13
3.10 Actividad antioxidante	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1 Localización del experimento	19
4.2 Factores de estudio	19
4.2.1 Genotipos evaluados	19
4.2.2 Temperatura de almacenamiento	20
4.2.3 Periodos de almacenamiento.....	20
4.3 Diseño de tratamientos	21
4.4 Unidad y diseño experimental	21
4.5 Cosecha y acondicionamiento de frutos	21
4.6 Caracteres evaluados	22
4.6.1 Cuantificación de Fenoles Totales	22

5. 6. 2 Cuantificación de Flavonoides	23
4.6.3 Cuantificación de Vitamina C	24
4.6.4 Cuantificación de β -Caroteno.....	26
4.6.5 Cuantificación de Tocoferoles	28
4.6.6 Cuantificación de Capsaicina y Dihidrocapsaicina	30
4.6.7 Actividad Antioxidante.....	31
4.7 Análisis estadístico	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile jalapeño	34
5.2. Pérdida de peso y componentes antioxidantes de chile Serrano.....	47
5.3. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile habanero (criollo)	57
5.4. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile habanero (mejorado).....	67
6. CONCLUSIONES	71
7. LITERATURA CITADA	73
8. ANEXOS	94
9. ANEXO 2.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Porcentaje de pérdida peso en chile jalapeño.-----	34
Figura 2. Porcentaje de pérdida peso en chile serrano.-----	47
Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso de chile habanero criollo (Chic).-----	57
Figura 4. Porcentaje de pérdida de peso de chile habanero mejorado (Balam). -----	67
Figura 5. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile jalapeño. -----	94
Figura 6. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile serrano. -----	95
Figura 7. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile habanero criollo -----	95
Figura 8. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile habanero mejorado. -----	96
Figura 9. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile jalapeño. -----	97
Figura 10. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile serrano. -----	98
Figura 11. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile habanero criollo. -----	99
Figura 12. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile habanero mejorado. -----	100
Figura 13. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de jalapeño. -----	101
Figura 14. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de serrano. -----	102
Figura 15. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de chile habanero criollo. -----	103
Figura 16. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de chile habanero mejorado. -----	104

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características de los tipos de chile evaluados.-----	19
Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile jalapeño (<i>C. annum</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.-----	35
Cuadro 3. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por hplc en el pericarpio de chile jalapeño (<i>C. annum</i>) almacenados durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C. -----	36
Cuadro 4. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile jalapeño después de 6 y 18 d. -----	38
Cuadro 5. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile jalapeño almacenado a 8 y 20 °C. -----	38
Cuadro 6. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile jalapeño (<i>C. annum</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.-	40
Cuadro 7. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile jalapeño (<i>C. annum</i>).-----	46
Cuadro 8. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile serrano (<i>C. annum</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C. -----	48
Cuadro 9. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por hplc en el pericarpio de chile serrano (<i>C. annum</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.-----	49
Cuadro 10. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile serrano después de 6 y 18 d. -----	50
Cuadro 11. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile serrano almacenado a 8 y 20 °C.-----	50
Cuadro 12. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile serrano (<i>C. annum</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.--	52

Cuadro 13. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile serrano (<i>C. annum</i>).-----	56
Cuadro 14. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile habanero criollo (Chic) (<i>C. chinense</i>) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.	58
Cuadro 15. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por hplc en el pericarpio de chile habanero criollo (Chic) (<i>C. chinense</i>) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C. -----	59
Cuadro 16. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile habanero criollo (Chic) después de 6 y 18 d. -----	60
Cuadro 17. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero criollo (Chic) almacenado a 8 y 20 °C.-----	60
Cuadro 18. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero criollo (<i>C. chinense</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C. -----	62
Cuadro 19. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile habanero criollo (Chic) (<i>C. chinense</i>).-----	66
Cuadro 20. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) (<i>C. chinense</i>) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C. -----	68
Cuadro 21. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por hplc en el pericarpio de chile habanero criollo (Balam) (<i>C. chinense</i>) almacenados durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.-----	69
Cuadro 22. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) después de 6 y 18 d. -----	70
Cuadro 23. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) almacenado a 8 y 20 °C. -----	70

Cuadro 24. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero mejorado (<i>C.chinense</i>) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.-----	72
Cuadro 25. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) (<i>C.chinense</i>). -----	76

COMPONENTES ANTIOXIDANTES EN FRUTOS DE *Capsicum* spp. EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

ANTIOXIDANT COMPONENTS IN FRUIT *Capsicum* spp. STORAGE IN DIFFERENT CONDITIONS

Martha Beatriz Román Arce¹, Ma. del Rosario García Mateos²

RESUMEN

El valor nutraceutico en los frutos de *Capsicum* spp. no está considerado como parte de las características de calidad que deben cumplir los frutos de chile para su comercialización en estado fresco. Así mismo, el comportamiento fitoquímico durante almacenamiento poscosecha no es completamente investigado en esta hortaliza. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dos temperaturas (8 y 20 °C) y dos periodos de almacenamiento (6 y 18 días) en el contenido de nutraceuticos (fenoles, flavonoides, β-caroteno, vitamina C, vitamina E, capsaicina y dihidrocapsaicina), así como la actividad antioxidante en las especies *C. annum* (Jalapeño y Serrano) y *C. chinense* (habanero criollo y mejorado). La cuantificación de los contenidos de fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante se realizó mediante técnicas espectrofotométricas. La determinación de los contenidos de β-caroteno, α-, γ-, δ-tocoferol y capsaicinoides se realizó mediante HPLC. El chile jalapeño mostró mayor contenido de vitamina C (518.26 mg·EAA 100 g⁻¹ peso fresco) a los seis días de almacenamiento en refrigeración. El chile serrano presentó mayor contenido de vitamina E (27.88 mg·100 g⁻¹ peso fresco) a los 18 d de almacenamiento a 20 °C. El chile habanero criollo destacó por mayor picor (169.96 mg·100 g⁻¹ peso fresco) en los frutos con cero días de almacenamiento. El chile habanero mejorado perdió 44 % de su picor durante almacenamiento en refrigeración (8 °C). Estos resultados permitieron concluir que los cuatro tipos de frutos de chile conservaron mayor composición nutraceutica en refrigeración (8 °C) y seis días de almacenamiento.

Palabras clave: Calidad nutraceutica, *Capsicum annum* L., *Capsicum chinense*, Fitonutrientes.

ABSTRACT

The nutraceutical value in the *Capsicum* spp. fruits is not considered as a part of the quality characteristics to be met by chili fruit for fresh marketing. In addition, the phytochemical behavior during postharvest storage is not completely investigated in this vegetable. The aim of this study was to evaluate the effect of two temperatures (8 and 20 °C) and two storage periods (6 to 18 days) in the content of nutraceuticals (phenols, flavonoids, β-carotene, C vitamin, E vitamin, capsaicin and dihydrocapsaicin), and antioxidant activity in the species *C. annum* (Jalapeno and Serrano) and *C. chinense* (Landrace and improved varieties habanero). The quantification of phenols, flavonoids, C vitamin, and antioxidant activity was performed by spectrophotometric techniques. The determination of the content of β-carotene, α-, γ-, δ-tocopherol and capsaicinoids was performed by HPLC. Jalapeno chili showed higher content of C vitamin (518.26 mg·AAE·100 g⁻¹ fresh weight) for six days of refrigerated storage. The serrano chili had a higher content of E vitamin (27.88 mg·100 g⁻¹ fresh weight) at the 18 d of storage at 20 °C. The creole habanero chili highlighted as the spiciest fruit (169.96 mg·100 g⁻¹ fresh weight) with zero days of storage. The improved habanero lost 44 % of its spicy during refrigerated storage (8 °C). These results concluded that the four types of chili preserved the largest nutraceutical composition during cooling (8 °C) and six days of storage.

Keywords: Quality nutraceutical, *Capsicum annum* L., *Capsicum chinense*, phytonutrient

¹Tesista de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

²Directora de Tesis. Profesor – Investigador. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. México.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile destaca por la elevada participación en el valor de la producción agrícola de México (9 mil 900 millones de pesos); la generación de ingresos para los productores (6 372 \$·ton⁻¹) y por ser una fuente de empleo importante en las áreas de riego (150 jornales·ha⁻¹·año⁻¹). Además, México se ubica como el principal exportador de chile verde con más 668 mil toneladas y el segundo productor mundial con más de 2 millones de toneladas (SIAP, 2013).

Los frutos de chile como producto de exportación requieren de características que garanticen su comercialización y a pesar de que concentran mayor contenido de fitoquímicos con actividad antioxidante, estas propiedades forman parte de la calidad de los frutos, no son consideradas dentro de los estándares de calidad para su comercialización, nacional e internacional. Actualmente en las normas para consumo en fresco se contemplan sólo propiedades fisicoquímicas.

Las propiedades antioxidantes pueden ser deterioradas por posibles modificaciones ante factores como la temperatura y periodos de almacenamiento. Los contenidos de los componentes antioxidantes y el comportamiento ante los factores mencionados son poco investigados en chile y limita el aprovechamiento de éste como alimento funcional. Por lo anterior, es importante conocer el comportamiento de la calidad nutracéutica durante el almacenamiento poscosecha para contribuir al aprovechamiento de este producto para un mayor beneficio de la salud de los consumidores.

2. OBJETIVO

Evaluar el efecto de dos temperaturas (8 y 20 °C) y dos periodos de almacenamiento (6 y 18 días) en el contenido de fitoquímicos (fenoles, flavonoides, vitamina C, β -caroteno, tocoferoles, capsaicina y dihidrocapsaicina) y actividad antioxidante en las especies *C. annum* (Jalapeño y Serrano) y *C. chinense* (habanero criollo y mejorado).

2.1. HIPÓTESIS

Los contenidos de fenoles, flavonoides, vitamina C, β -caroteno, tocoferoles, capsaicinoides (capsaicina y dihidrocapsaicina) y la actividad antioxidante pueden alterarse debido a las condiciones de temperatura y periodos de almacenamiento a los que son expuestos los frutos del chiles.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Importancia económica del cultivo de chile

En 2013 la superficie sembrada de chile verde en México fue de 136 mil ha, con una producción cercana a 2 millones 294 mil toneladas y un valor de la producción de 14 mil millones de pesos. Durante el mismo año, se exportó 370 mil t de este producto a mercados internacionales (SAGARPA, 2015).

Los principales estados productores de esta hortaliza son: Sinaloa, Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí con 550 mil, 529 mil, 279 mil y 175 mil toneladas de producto, respectivamente. Así mismo, estos estados generaron para el año 2013, un valor de producción de 3 mil 200 millones de pesos, 2 mil 140 millones de pesos, 2 mil 168 millones de pesos y 1 mil 380 millones de pesos, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2015).

De la diversidad de chiles que se siembra en México en 2013, el chile jalapeño fue el tipo con mayor superficie sembrada (28 mil ha), con una producción aproximada de 662 mil t y un valor de producción de 2 mil 723 millones de pesos SAGARPA (2015). En cuanto al valor de producción le siguen tipos de chile poblano y serrano con 1 mil 358 millones de pesos y 1 mil 199 millones de pesos respectivamente.

3.2 Importancia del almacenamiento poscosecha de chiles frescos

El chile fresco, independientemente de su destino de comercialización necesita condiciones de almacenamiento favorables que permitan alargar su vida en poscosecha y mantener su calidad de consumo. El manejo de la temperatura es uno de los factores que reduce procesos metabólicos como la respiración, transpiración, producción de etileno y cambios en la composición de los productos hortofrutícolas manteniendo así la vida de anaquel (Kader, 2002).

El almacenamiento óptimo de los chiles frescos comprende una temperatura entre 7 y 10 °C, a dicho intervalo los frutos pueden ser conservados entre 1 y 3 semanas, de acuerdo a los cultivares, el estado de madurez y tratamiento poscosecha utilizado (Kader *et al.*, 1985; Nuez *et al.*, 1996).

La humedad relativa también juega un papel muy importante para la conservación de chiles frescos, por lo que el intervalo óptimo está comprendido entre 60 y 90 %, ya que niveles de humedad inferiores, pueden producir pérdidas por deshidratación de los frutos; niveles de humedad cercanos a 100 % pueden causar agrietamientos superficiales y sobre todo una proliferación excesiva de microorganismos (Kader, 2002).

Las tecnologías en poscosecha se han enfocado únicamente a mantener la calidad de los productos frescos para alcanzar mercados lejanos con una mejor presentación y conservación de las características fisicoquímicas del producto.

Sin embargo, es importante señalar que el comportamiento fitoquímico en poscosecha no es completamente investigado, en particular en los frutos del chile y su afectación por las tecnologías poscosecha (Fallik *et al.*, 2009; Ebrahiema *et al.*, 2014).

3.3 Nutracéuticos y Fitoquímicos en el chile

Un nutracéutico se define como un alimento o parte de él que proporciona beneficios a la salud principalmente en la prevención de enfermedades (Pathak, 2010). El creciente interés en este tipo de compuestos refleja el hecho de que en los últimos años, las investigaciones se han centrado en los alimentos ricos en nutracéuticos y propiedades funcionales, desde este punto de vista, la tendencia del consumidor ha sido la elección de alimentos con antioxidantes naturales, fibras dietéticas, colorantes naturales, minerales, vitaminas y con bajo contenido de calorías, grasas y libres de aditivos sintéticos (El-Samahy *et al.*, 2007).

Los fitoquímicos son sustancias biológicamente activas, que se encuentran en los alimentos de origen vegetal, confiriéndoles color, aroma y sabor. No son nutrientes esenciales para la vida como los nutrimentos, pero tienen efectos positivos en la salud como la prevención de ciertos tipos de cáncer (Lampe, 2003).

En los últimos años, los fitoquímicos se han considerado elementos importantes en la dieta humana, debido a que se ha comprobado su acción principalmente como anticancerígenos y antioxidantes, además de otros beneficios en la prevención de enfermedades cardiovasculares, debido a que evitan la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL); reducen la síntesis y utilización de colesterol; retardan el envejecimiento y enfermedades asociadas (Dávalos *et al.*, 2006).

Los fitoquímicos antioxidantes más conocidos son los compuestos polifenólicos, flavonoides, tocoferoles, β -caroteno, entre otros (Burns *et al.*, 2003; Cooper 2004; Sun y Tanumihardjo, 2007). Al respecto, algunas especies de chile (*C. annum* y *C. chinense*) son una excelente fuente de fitoquímicos como, compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides, capsaicinoides e incluyendo vitaminas A, C y E (Antonious *et al.*, 2009; Segura *et al.*, 2013).

Los frutos de chile están ganando rápidamente popularidad, no sólo por sus atractivos colores, sabores, aromas característicos y composición química, sino también por sus propiedades antioxidantes, vitaminas A, C, E y otros fitoquímicos con beneficio a la salud (Chuah *et al.*, 2008). Por lo anterior, es importante continuar las investigaciones sobre la variación del contenido de los fitoquímicos en diferentes cultivares de chile frescos.

3.4 Compuestos fenólicos

Las plantas producen una gran variedad de metabolitos secundarios que algunos contienen la estructura del fenol, por lo tanto, estos metabolitos son denominados y clasificados como compuestos fenólicos (Ross y Kasum, 2002). El grupo de los fenoles se componen aproximadamente de más de ocho mil compuestos identificados y estos se pueden clasificar en diversos grupos, basándose en su estructura química: fenoles simples, ácidos benzoicos, fenilpropanoides, cumarinas, ligninas y flavonoides (Dae-Ok *et al.*, 2003; García y Nieto, 2011). Los fenoles son sustancias cristalinas e incoloras de olor característico, solubles en agua y en disolventes orgánicos (Michalowicz y Duda, 2007).

Por su naturaleza química heterogénea, algunos fenólicos están constituidos por seis carbonos (C6), los del ácido benzoico por siete (C6-C1), los fenilpropanoides por nueve carbonos (C6-C3) y finalmente, los flavonoides (C6-C3-C6) por quince átomos de carbono. Los compuestos fenólicos son biosintetizados a partir de dos rutas metabólicas, la ruta del ácido shiquímico y la ruta acetato-malonato. La ruta del ácido shiquímico produce la mayoría de los compuestos fenólicos vegetales, mientras que la vía malónico, que es una fuente importante de compuestos fenólicos en hongos y bacterias, es menos significativo en las plantas superiores (Saltveit, 2010).

Estudios epidemiológicos indican que los compuestos fenólicos pueden ser importantes en la prevención y desarrollo de numerosas enfermedades crónico degenerativas, incluyendo varios tipos de cáncer.

Además, se ha encontrado que estos compuestos son capaces de detener o prevenir la promoción de tumores y otros efectos bioquímicos asociados con la progresión de los mismos (Kanno *et al.*, 2005).

3.5 Flavonoides

El grupo más amplio de los compuestos fenólicos es el de los flavonoides, son metabolitos con una estructura química construida por un esqueleto de 15 carbonos (C6-C3-C6), formados por dos anillos fenilo A y B unidos por una cadena de tres átomos de carbono formando el tercer anillo C. Son biosintetizados a partir de una ruta mixta: La ruta del ácido shiquímico y la ruta acetato malonato (Tapas *et al.*, 2008; Macready *et al.*, 2009).

Los diferentes niveles de oxidación del anillo pirano central (anillo A, C y B) caracteriza la actividad química de los flavonoides. Éstos metabolitos están generalmente presentes como glucósidos, con una fracción de azúcar ligada a los grupos oxidrilo, presentes en su estructura a través de los enlaces carbono-carbono (Howard y Wildman, 2007).

El pericarpio de chile, es particularmente rico en flavonoides, los compuestos de mayor importancia en éste, son la luteolina y la quercetina (Howard 2001). Howard y Wildman (2007) atribuyen a los flavonoides propiedades benéficas que ayudan a combatir enfermedades crónicas degenerativas tales como el cáncer de pulmón y las enfermedades coronarias.

Se ha demostrado que los flavonoides sirven para reducir el estrés oxidativo a través de su capacidad para atrapar o neutralizar especies reactivas de oxígeno (Macreadry *et al.*, 2009). La ingesta de altas cantidades de flavonoides, puede tener un impacto positivo en la salud humana, debido a diversos efectos y propiedades, entre los que se encuentran: antiescleróticos, antiinflamatorios, antitumorales, antitrombogénicos, antiosteoporóticos, antivirales, antimicrobianos, antibacteriales, antifúngicos, entre otros, especialmente en la prevención de enfermedades como el cáncer (Nijveldt *et al.*, 2001; Pisoschi y Negulescu, 2011).

3.6 Vitamina C

La vitamina C (ácido ascórbico, ascorbato) pertenece al grupo de vitaminas hidrosolubles, es uno de los micronutrientes más importantes para el ser humano, debido a que ejerce funciones específicas en el metabolismo y es ingerida en un 90 % mediante el consumo de frutas y hortalizas.

La vitamina C posee una estructura de enodiol que se encuentra conjugada con el grupo carbonilo en el anillo de lactona. El ácido ascórbico en presencia de oxígeno, se oxida a ácido dehidroascórbico, el cual tiene la misma actividad vitamínica, pero su actividad se pierde fácilmente por hidrólisis del anillo lactónico transformándose en ácido 2,3-dicetogulónico y por consiguiente la pérdida de la actividad de la vitamina C (De Ancos *et al.*, 2009).

Los frutos de *Capsicum* se han reconocido desde hace tiempo como una excelente fuente de ácido ascórbico, un nutriente indispensable en la dieta humana (Howard y Wildman, 2007).

3.7 Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos orgánicos de origen natural presentes en cromoplastos de plantas y algunos otros organismos fotosintéticos como las algas y en algunos tipos de hongos y bacterias, en las que tienen varias e importantes funciones y acciones (Sun *et al.*, 2007). Los carotenoides se pueden encontrar en diferentes partes de la planta como en raíces (zanahorias), en hojas, en frutos verdes, en flores rojas y en semillas (como el maíz). Los carotenoides, tal como el β -caroteno, son precursores de la vitamina A y varios son potentes antioxidantes (Velíšek *et al.*, 2008).

La estructura básica de los carotenoides es un tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico y lineal formado a partir de ocho unidades isoprenoides (Matsufuji *et al.*, 2007). La biosíntesis de carotenoides se produce dentro de los cromoplastos a través de la ruta del isopentenil difosfato e inicia con una condensación de piruvato y gliceraldehído 3-fosfato catalizada por 1-desoxi-D-xilulosa 5-fosfato, que a su vez se convierte en 2-C-metil-d-erithritol 4-fosfato por la reducto isómera 1-desoxi-D-xilulosa-5-fosfato, este compuesto es metabolizado a través de reacciones desconocidas, que pueden implicar reacciones de reducción, deshidratación y fosforilación para llegar a isopentenil difosfato (Van den Berg *et al.*, 2000).

Los carotenoides están considerados como parte de los compuestos bioactivos dietéticos, proporcionan protección contra una serie de enfermedades degenerativas, como las enfermedades cardiovasculares y cáncer (Ross y Harrison, 2007).

Estudios señalan que el color del chile se debe a la presencia de pigmentos de carotenoides, principalmente capsantina y a la capsorubina (Howard, 2001). Howard (2001) señala que los colores amarillo y anaranjado en los frutos del chile son formados por el alfa y beta caroteno, la luteína y el beta cryptoxantina. El color rojo en frutos del chile se debe a la presencia de pigmentos de carotenoides como la capsantina, capsorubina y la capsantina 5,6-epóxido (Matsufuji *et al.*, 2007).

3.8 Tocoferoles

El interés por la vitamina E ha aumentado en los últimos años debido a su potente poder antioxidante, por la captación de radicales libres y a su función frente a enfermedades relacionadas con la edad, trastornos cardiovasculares o Alzheimer (Sayago *et al.*, 2007).

La vitamina E está formada por un grupo de ocho vitámeros, que a la vez se dividen en dos grupos fundamentales: cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles que se diferencian en la saturación de la cadena lateral; los tocoferoles tienen una cadena saturada y los tocotrienoles una insaturada con tres dobles enlaces en los carbonos 3, 7 y 11.

Dentro de cada grupo, los vitámeros difieren en el número y posición de los grupos metilo en el anillo cromano, designándose como α -, β -, δ - y γ -. La forma predominante de vitamina E en los alimentos es el α -tocoferol (Brody, 1998).

Los tocotrienoles surgen de la condensación del ácido homogentísico (HGA) y el geranil-geranil difosfato (GGDP), reacción catalizada por la enzima homegentísico geranil-geranil transferasa (HGGT) dando origen al 2-metil-6-geranil geranil benzoquinol (Cahoom *et al.*, 2003). La síntesis de los tocoferoles se basa en la condensación del ácido homogentísico (HGA) con el fitoldifosfato (PDP), reacción catalizada por la enzima homogentísico fitol transferasa (HPT) dando lugar a la formación del 2-metil-6-fitolbenzoquinol (Cahoom *et al.*, 2003). El 2-metil-6-geranil geranil benzoquinol y el 2-metil-6-fitolbenzoquinol sufren una serie de reacciones de metilación y ciclación formando las moléculas de α -tocotrienol y α -tocoferol, respectivamente (Cahoom *et al.*, 2003).

La actividad biológica del α -tocoferol está basada en su propiedad antioxidante, juega un papel esencial en el mantenimiento de la integridad de membranas biológicas, además, protegen de la oxidación a algunos compuestos biológicos activos y contribuyen a la estabilidad de los aceites vegetales altamente insaturados mediante su efecto antioxidante (Player *et al.*, 2006). La actividad antioxidante de los tocoferoles y tocotrienoles, se debe principalmente a su facilidad para neutralizar a radicales lipídicos libres (Traver, 2007).

Howard y Wildman (2007) señalan que el contenido de α -tocoferol y γ -tocoferol en el pericarpio de chile se incrementan desde la etapa verde hasta la de maduración máxima (rojo) y este contenido varía de acuerdo con el contenido de lípidos, etapa de maduración y morfotipo.

3.9 Capsaicinoides

El consumo de chile se debe principalmente a su sabor picante, causado por la presencia de capsaicinoides, estos metabolitos son un grupo derivado del metabolismo secundario del grupo de los alcaloides formados por amidas ácidas derivadas de la vainillilamina con ácidos grasos de cadena ramificada (9 a 11 carbonos) que se sintetizan y acumulan en el tejido de la placenta (Zewdie y Bosland, 2000).

EL grado de picor varía en las diferentes especies de *Capsicum* dependiendo de la capacidad para acumular los contenidos de capsaicinoides. El chile habanero (*C. chinense*) es considerado el de mayor picor. Sin embargo, algunas variedades de *C. annuum* pueden alcanzar niveles similares, en función de las condiciones de cultivo (Cázares *et al.*, 2005).

Se conocen 22 compuestos análogos diferentes del grupo de los capsaicinoides, los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen más del 90 % del total presente en los frutos (Bosland y Votava, 2000). Estos compuestos se han cuantificado a través de la prueba organoléptica Scoville, en Unidades Scoville de Picor (USP) (Krajewska y Powers, 1988).

La estructura química de los capsaicinoides consiste en un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso. La porción fenólica es la vainillilamina, que se forma a partir de la fenilalanina por medio de la ruta de los fenilpropanoides. Las diferencias estructurales de los diversos capsaicinoides residen precisamente en la naturaleza de la cadena lateral, que puede ser de 9 u 11 carbonos, con un número variable de dobles enlaces colocados en diferentes posiciones (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La vainillilamina se forma mediante conversiones sucesivas de la fenilalanina en los ácidos trans-cinámico, cumárico, cafeico y ferúlico por acción de las enzimas fenilalanina amonio liasa (PAL), cinamato 4-hidroxilasa (Ca4H), cumarato 3-hidroxilasa (Ca3H) y ácido cafeico metiltransferasa (COMT). En la formación de la vainillilamina la primera enzima que dirige carbono del metabolismo primario a la síntesis de capsaicinoides es la PAL y debido a la posición que ocupa en esta ruta de síntesis, la PAL representa un blanco biotecnológico potencial para promover la biosíntesis de los capsaicinoides (Ochoa y Ramírez, 2001).

La síntesis de la cadena lateral de ácido graso acilo se forma a partir de la valina o leucina (García-Galindo *et al.*, 1995). El primer paso involucra la desaminación de estos aminoácidos por acción de una aminotransferasa específica (BCAT, acrónimo del inglés para Branched aminoacid Amino Transferase) para producir β -cetoisovalerato que posteriormente se transforma en isobutiril-CoA con la participación de la isovalerato deshidrogenasa (IvDH).

La isobutiril-CoA formada se convierte en 8-metil-6-nonenoil-CoA mediante la participación del complejo multienzimático de la ácido graso sintasa (FAS, por su acrónimo en inglés; Fatty Acid Synthase), que consiste de tres componentes: una β -ceto acil sintasa (KAS), una proteína acarreadora de grupos acilo (ACL) y una tioesterasa (FAT). El componente ACL es el encargado de transportar los grupos malonilo a la isobutiril-CoA, perdiendo una molécula de CO₂ en cada ciclo de elongación. Después de tres ciclos sucesivos de elongación, el ácido graso final es liberado por acción de la tioesterasa (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La reacción final en la síntesis de capsaicinoides es la condensación de la vainillilamina con la cadena lateral acilo catalizada por una aciltransferasa denominada capsaicinoide sintasa (CS). La actividad de esta enzima está relacionada directamente con el grado de picor de diferentes chiles, aunque puede llegar a detectarse aún en extractos proteicos obtenidos de chiles no picantes (Sutoh *et al.*, 2006).

La importancia de los capsaicinoides se debe a que además de proporcionar el sabor picante, estos metabolitos son utilizados por la industria farmacéutica, tabacalera, cosmética, de pinturas, entre otras, como ingrediente activo en diversos productos. Por otra parte, la capsaicina ha sido extensamente estudiada por sus efectos analgésicos (Salazar-Olivo y Silva-Ortega, 2004).

La capsaicina, presenta una actividad antioxidante importante, debido a que ésta como su dihidroderivado, la dihidrocapsaicina, son capaces de inhibir la peroxidación lipídica catalizada por cationes Fe^{3+} y la oxidación de lipoproteínas de baja densidad producida por cationes cobre. Este efecto es atribuido a la capacidad de estos compuestos para formar complejos con metales reducidos, actuando además como donadores de hidrógenos (Rosa, 2002).

3.10 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante que presenta un metabolito es aquella que permite neutralizar cualquier radical libre con uno o más electrones sin aparear (Kaur y Kapoor, 2001). Los antioxidantes son compuestos que retrasan el índice de oxidación, además pueden realizar la desactivación de metales, inhibir los hidroperóxidos lipídicos interrumpiendo la producción de volátiles indeseables y la eliminación del oxígeno. Es decir, un antioxidante es una sustancia química que impide la oxidación de otras sustancias y protegen los componentes clave de las células al neutralizar los efectos de los radicales libres, subproductos naturales que se forman del metabolismo celular (Badarinath *et al.*, 2010).

Principalmente, en el cuerpo humano, los factores endógenos no pueden asegurar un control riguroso y una protección completa del organismo contra los radicales libres y surge la necesidad de ingerir sustancias antioxidantes exógenas que pueden derivar de fuentes naturales o sintéticas, como suplementos nutricionales o productos farmacéuticos.

Entre los antioxidantes exógenos más importantes se encuentran las vitaminas C, D, E, K3 y los metabolitos β -caroteno y flavonoides, lo cual justifica el creciente interés del estudio de los antioxidantes (Yanishlieva-Maslarova, 2001; Pisoschi y Negulescu, 2011).

Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante (Cintra y Mancini-Filho, 2001; Antolovich *et al.*, 2002; Moreira y Mancini-Filho, 2003). Uno de los métodos analíticos para evaluar *in vitro* la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar su capacidad de neutralizar un indicador cromóforo como radical; el cambio de color ocurre de forma proporcional con la concentración. No obstante, las determinaciones realizadas *in vitro* nos proporcionan un valor aproximado de lo que podría ocurrir en situaciones complejas *in vivo* (Arena *et al.*, 2001; Moyer *et al.*, 2002).

Diversos compuestos cromógenos (ABTS, DPPH, DMPD, DMPO y FRAP) son utilizados para determinar la capacidad que contienen los frutos y algunos alimentos para captar los radicales libres generados. Los métodos más usados son ABTS y DPPH (Montoya *et al.*, 2003).

El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS tiene que ser generado por una reacción, que puede ser química (dióxido de manganeso, persulfato potasio), enzimática (peroxidasa, mioglobulina), o electroquímica (Arnao, 2000; Imeh y Khokhar, 2002; Kuskoski *et al.*, 2004).

Con el ABTS se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico (Re *et al.*, 1999). El radical ABTS•+ tiene, además, la ventaja de que su espectro presenta máximos de absorbancia a 414, 654, 754 y 815 nm en medio alcohólico, mientras que el radical DPPH presenta un pico de máxima absorbancia a 515 nm (Kim *et al.*, 2002).

Existen estudios reportados, de la actividad antioxidante en chiles de la especie *C. annum* evaluados por el método del radical DPPH. Los extractos de chile rojo han presentado mayor actividad antioxidante que los extractos de chile verde por la presencia de flavonoides, compuestos fenólicos y capsaicinoides (Matsufuji *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2007). Barbero *et al.* (2006) encontraron que la capsaicina y la dihidrocapsaicina, principales componentes en el pericarpio de la especie *C. annum*, presentaron una correlación positiva con su actividad antioxidante.

La protección contra los radicales libres puede mejorar por el consumo de antioxidantes en la dieta, hay pruebas fidedignas de que los alimentos que contienen antioxidantes pueden ser de gran importancia en la prevención de enfermedades (Pisoschi y Negulescu, 2011). Por lo anterior, surge el interés de investigar y documentar a la actividad antioxidantes de chile fresco y sus modificaciones en almacenamiento poscosecha.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del experimento

La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo. En el Departamento de Ingeniería Agroindustrial y en el laboratorio de Bioquímica Vegetal del departamento de Preparatoria Agrícola.

4.2 Factores de estudio

4.2.1 Genotipos evaluados

Frutos frescos de *C. annuum* (Jalapeño y Serrano) y de *C. chinense* (habanero criollo y habanero mejorado) fueron cosechados en madurez comercial, sin daño fisiológico, ni mecánico, libres de plagas y enfermedades (Cuadro 1). Estos se seleccionaron de acuerdo con los criterios de calidad de la norma NMX-FF-025-SCF1-2007 (Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-chile fresco).

Cuadro 1. Características de los tipos de chile evaluados.

Especie	Tipo	Variedad	Localidad	Coordenadas Geográficas
<i>C. annuum</i>	Jalapeño	Criolla	Tétela de Ocampo, Puebla	19° 49' LN y 97° 48' LO
	Serrano	Criolla		
<i>C. chinense</i>	Habanero	Criolla Chic	Campo experimental Chapingo	19° 43' LN y 99° 14' LO
	Habanero	Mejorada Balam		

Los frutos de chile Jalapeño y Serrano provinieron de plantas que fueron cultivadas a campo abierto con acolchado plástico, bajo condiciones de riego, control fitopatológico y manejo agronómico convencional.

Los frutos de chile habanero provinieron de plantas de chile cultivadas en un invernadero diseñado con doble apertura cenital. Las plantas de chile fueron cultivadas bajo la dosis de fertilización 200-50-100 aplicada en el sustrato, el fósforo y potasio se aplicaron a las dos semanas después del trasplante, mientras que el nitrógeno se aplicó en dos partes, la primera junto con los fertilizantes antes mencionados y la segunda dos semanas después y aplicaciones semanales de la solución nutritiva universal Steineir.

4.2.2 Temperatura de almacenamiento

Los frutos de los cuatro tipos de chile se almacenaron bajo dos condiciones de temperatura, las cuales fueron: temperatura de refrigeración 8 ± 2 °C y HR 85 % y temperatura ambiente 20 ± 2 °C y HR 70 % (La humedad relativa se registró con un anemómetro).

4.2.3 Periodos de almacenamiento

Los frutos de cada tipo de chile se almacenaron durante dos periodos de almacenamiento (6 y 18 días).

4.3 Diseño de tratamientos

Fue un factorial 2 x 2 al considerar dos temperaturas y dos periodos de almacenamiento. Se consideró un testigo por variedad, el cual corresponde a la caracterización fitoquímica inicial de los chiles; es decir, con cero días de almacenamiento.

4.4 Unidad y diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar. La unidad experimental consistió de 25 frutos. De cada una de las condiciones de almacenamiento se analizó 6 repeticiones.

4.5 Cosecha y acondicionamiento de frutos

La cosecha de los frutos de *C. chinense* se colectaron en septiembre de 2013, después de 120 días de haberse realizado el trasplante. El muestreo de la especie *C. annum* se llevó a cabo a finales de junio de 2014. Se cosecharon frutos del primer corte de chile, el cual fue a los 90 días después de haberse realizado el trasplante.

Los frutos cosechados se trasladaron al laboratorio donde se lavaron con detergente y agua estilada, posteriormente, se formaron 30 grupos de 25 chiles, para completar el número de repeticiones por tratamiento de cada tipo de chile y fueron almacenados separadamente en bolsas de papel y colocados en almacenamiento.

Una vez finalizado el periodo de almacenamiento, con el fin de realizar la caracterización fitoquímica de los frutos, el pericarpio del chile se fraccionó uniformemente ($0.5\text{ cm} \pm 0.2\text{ cm}$), se colocó en bolsas de tul ($20 \times 20\text{ cm}$) y se congelaron por inmersión en nitrógeno líquido, después las muestras previamente congeladas ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), se deshidrataron en un liofilizador (LABCONCO, USA) a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 12 Pa , hasta peso constante (aproximadamente durante 24 h).

Una vez liofilizadas las muestras se almacenaron en bolsas herméticas a temperatura ambiente, sin exposición de luz para su análisis. Para el cálculo de los contenidos de los compuestos antioxidantes en peso fresco, se consideró la pérdida de agua durante el proceso de liofilización.

4.6 Caracteres evaluados

4.6.1 Cuantificación de Fenoles Totales

El contenido total de fenoles fue expresado en mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg EAG} \cdot 100\text{ g}^{-1}$).

Para la determinación de este contenido se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Jayaprakasha y Patil (2007). A 0.2 g de fruto liofilizado se agregaron 5 ml de metanol acuoso 80% (v/v) (Baker Reagent). La mezcla se dejó durante 20 min en baño ultrasónico (Cole-Parmer, Pasadena, USA), posteriormente, se filtró para separar el residuo vegetal.

A una alícuota de 100 µl del sobrenadante, se le agregó 10 ml de agua destilada y 500 µl del reactivo de Folin-Ciocalteu:Agua (1:1) (Sigma Aldrich, Alemania), la mezcla se dejó en oscuridad durante 10 min. Transcurridos los 10 min a la mezcla se agregó 1 ml de solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 15 % (p / v) y se dejó en oscuridad a temperatura ambiente durante dos horas. La absorbancia de la mezcla se midió en un espectrofotómetro (Genesys, 10s) a 765 nm.

Se construyó una curva de calibración con base en ácido gálico en las concentraciones de 80, 160, 240, 320, 400, 480 y 560 ppm. El blanco se preparó de manera similar pero sin muestra. Con base en una regresión lineal ($r^2=0.99$) se obtuvo la relación entre las concentraciones conocidas y la absorbancia, a partir de la cual se obtuvo la expresión: $x = (y - 0.0008) / 0.0043$ donde:

x= Concentración de muestra y y= Absorbancia de la muestra a 765 nm.

5. 6. 2 Cuantificación de Flavonoides

Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de quercetina por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg EQ} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Se determinó el contenido de esta variable con el método espectrofotométrico propuesto por Chang *et al.* (2002). A una alícuota de 0.5 ml de los extractos metanólicos preparados para la determinación de fenoles totales, se le agregó 1.5 ml de metanol al 95 % (v / v), 0.1 ml de solución de cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10 % (p / v), 0.1 ml de solución de acetato de potasio ($\text{CH}_3\text{CO}^-2\text{K}^+$) 1.0 M y 2.8 ml de agua destilada.

La mezcla se homogeneizó en un vortex y se dejó incubar a temperatura ambiente por 30 min. Se leyó la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda de 416 nm en un espectrofotómetro (Genesys, 10s).

Para la cuantificación de flavonoides se construyó una curva de calibración con base de la flavona quercetina y después se ajustó mediante regresión lineal ($y=0.0067x - 0.0006$; $r^2 = 0.9994$). De la cual se obtuvo la relación entre la concentración conocida y la absorbancia, a partir de esta ecuación se obtuvo la siguiente expresión: $x= (y-0.0006) / 0.0067$, dónde: x =Concentración de la muestra en ppm y y =Absorbancia de la muestra a 415 nm.

4.6.3 Cuantificación de Vitamina C

Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido ascórbico en 100 g de peso fresco ($\text{mg EAA} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

En la presente determinación, se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Dürüst (1997). Se elaboraron las siguientes soluciones de trabajo; 1) Solución buffer de acetato; en un matraz aforado de 200 ml se colocó 30 g de acetato de sodio anhidro, 70 ml de agua desionizada y 100 ml de ácido acético glacial, 2) Solución 2,6-dicloroindofenol; se preparó a una concentración de 12 ppm en agua desionizada y 3) soluciones estándares de ácido ascórbico en las siguientes concentraciones 0, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm disueltas en la solución de ácido oxálico al 0.4 %.

A 0.2 g de chile liofilizado se le agregaron 5 ml de la solución de ácido oxálico al 0.4 % (p / v), la mezcla se dejó en baño ultrasónico (Cole-Parmer, Pasadena, USA) durante 20 min. Pasado el tiempo se homogeneizó en un vortex durante 5 min y el sobrenadante fue filtrado.

Las lecturas de absorbancia de las muestras y soluciones de la curva patrón se realizaron en un espectrofotómetro (Genesys, 10s), el cual se ajustó a cero con agua desionizada para tomar la primera lectura (L1). Este valor representó la absorbancia máxima del 2,6-dicloroindofenol en reacción con el ácido oxálico. Para obtener este valor en un tubo de ensayo se agregó una alícuota de 1 ml de ácido oxálico 0.4 % (p / v), 1 ml de la solución buffer de acetato y 8 ml de la solución 2,6-dicloroindofenol. La lectura fue registrada inmediatamente después de la adición del 2,6-dicloroindofenol.

Para registrar la segunda lectura de absorbancia (L2) el equipo se ajustó nuevamente a cero con una mezcla de 1 ml de la solución de ácido ascórbico estándar de 10 ppm, 1 ml de la solución buffer de acetato y 8 ml de agua desionizada. El valor L2 es la absorbancia del remanente de 2,6-dicloroindofenol después de su reacción con el ácido ascórbico. Posteriormente se obtuvieron los valores de absorbancia L2 de cada una de las concentraciones de las soluciones estándar de ácido ascórbico de la curva de calibración. Se agregó en tubos de ensayo una alícuota de 1 ml de cada una de las concentraciones estándar, 1 ml de la solución buffer de acetato y 8 ml de 2,6-dicloroindofenol y finalmente se registran los valores de absorbancia.

Las mediciones de absorbancia de las muestras de chile se registraron, después de ajustar a cero el espectrofotómetro por medio de una mezcla de 1 ml del extracto de muestra, 1ml de la solución buffer de acetato y 8 ml de agua desionizada. La lectura de absorbancia (L2) de cada una de las muestras se obtuvo colocando en tubos de ensayo una alícuota de 1 ml de extracto de muestra, 1 ml de la solución buffer de acetato y 8 ml de 2,6-docloroindofenol. La lectura se registró exactamente después de la adición de 2,6-docloroindofenol. Todas las mediciones se registraron a 520 nm.

A los valores de absorbancia L1 se le restó los valores L2 para obtener el valor de trabajo de cada una de las soluciones estándar y de las muestras. Con las absorbancias obtenidas de las soluciones estándar se construyó la curva patrón de calibración y la ecuación ajustada por regresión ($y = 0.0043x + 0.0008$, $r^2=0.99$). Para determinar la concentración de ácido ascórbico de las muestras se obtuvo la relación entre la concentración conocida de los estándares y la absorbancia de la cual se generó la siguiente expresión: $x = (y - 0.0008) / 0.0043$, donde: x= Concentración de la muestra en ppm y y= Absorbancia de la muestra a 520 nm.

4.6.4 Cuantificación de β -Caroteno

Los resultados fueron registrados como mg equivalentes de β -caroteno por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg E}\beta\text{-C} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Para la extracción de β -caroteno se siguió el método propuesto por Fish *et al.* (2002). Se pesaron 0.5 g de chile liofilizado y se le agregaron 10 ml de una solución de acetona, etanol y hexano en una proporción de 5:5:10. La mezcla se mantuvo en un baño ultrasónico durante 20 min (Cole-Parmer, Pasadena, USA) y posteriormente se filtró, se realizaron dos extracciones del material vegetal; Para obtener el extracto sólido, los disolventes se evaporaron mediante una corriente de gas nitrógeno. El proceso de extracción se realizó en obscuridad y con luz roja para evitar la degradación del pigmento.

Los extractos sólidos fueron resuspendidos en 2 ml de hexano grado HPLC (J. T. Baker) y filtrados en viales color ámbar con membranas nylon 0.45 μm (Thermo Scientific Titan 3) para el análisis cromatográfico. El análisis cuantitativo se realizó en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Perkin Elmer® series 200, equipado con un detector UV-Vis, una bomba series 200 y muestreador automático. El análisis se llevó a cabo en fase reversa en una columna C18 Thermo® Hipersil ODS (250 mm x 4.6 mm; 5 μm de tamaño de partícula).

La fase móvil consistió de una mezcla de acetonitrilo: metanol: 2-propanol (44:54:2 v / v / v) grado HPLC (J.T. Baker), velocidad de flujo isocrático de 1 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$. La fase móvil se filtró en una membrana Millipore de 0.45 μm resistente a disolventes. El volumen de inyección de la muestra fue de 20 μl . El tiempo de elución fue de 35 min por muestra a una longitud de onda de 470 nm.

Se cuantificó el β -caroteno mediante una curva estándar elaborada con β -caroteno comercial (Sigma-Aldrich, Inc. EUA) en las concentraciones 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 y 175 ppm y ajustada por regresión lineal ($y = 66552x - 131544$, $r^2 = 0.99$). Mediante la cual se obtuvo la relación entre la concentración conocida y el área bajo la curva, obteniéndose la siguiente expresión:

$x = (y + 131544) / 66552$, donde x = Concentración de la muestra y y = área bajo la curva (mm^2).

4.6.5 Cuantificación de Tocoferoles

Los resultados fueron reportados en mg de cada tocoferol (α -, δ -, γ -) por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg E } \alpha\text{-}, \gamma\text{-}, \delta\text{- T} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

La determinación de tocoferoles se llevó a cabo por el método descrito por Gliszczynska-Swigło y Sikorska (2004). Para la extracción de tocoferoles se pesó 1 g de muestra de chile liofilizado, se le agregaron 10 ml de tetracloruro de carbono: metanol (60:40 v / v). La mezcla se mantuvo en un baño ultrasónico durante 20 min (Cole-Parmer, Pasadena, USA) y fue filtrada para remover el material vegetal.

Para obtener los extractos sólidos de la mezcla, los disolventes se evaporaron mediante una corriente de gas nitrógeno y almacenados en congelación a -18°C hasta su cuantificación. Los extractos sólidos fueron resuspendidos en 1 ml de

hexano grado HPLC y filtrados con acrodiscos nylon de 0.22 μm (Thermo Scientific Titan 3) para su análisis.

El análisis cromatográfico se realizó en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Perkin Elmer® series 200, equipado con una bomba series 200, detector UV-Vis y con una columna en fase reversa C18 Thermo®, Hypersil ODS (250 mm x 4.6 mm, 5 μm de tamaño de partícula).

La fase móvil consistió de una mezcla de metanol: acetonitrilo (50:50) grado HPLC (J.T. Baker) y un flujo isocrático de 1 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. La fase móvil fue filtrada con una membrana Millipore de 0.45 μm resistente a disolventes antes de la aplicación al cromatógrafo. El volumen de inyección de la muestra fue de 20 μl . El tiempo de elución fue de 15 min por muestra a una longitud de onda de 292 nm.

Para la cuantificación de los isómeros de tocoferol en la muestra, se obtuvieron las curvas de calibración para cada estándar (α -, γ -, δ -tocoferol; Sigma-Aldrich, Inc. EUA) disueltos en hexano grado HPLC (J.T. Baker) a las siguientes concentraciones: 56, 112, 168, 224 y 280 ppm para α -tocoferol y 52, 104, 156, 208 y 260 para γ - y δ - tocoferol. De las cuales se obtuvieron las relaciones entre las concentraciones conocidas y el área bajo la curva, que se presentan en las siguientes expresiones: $x = (y-47235) / 5654.7$, para α -Tocoferol, $x = (y-19871) / 5401.4$, para δ -tocoferol, $x = (y-7764.4) / 5152.3$ para γ -tocoferol, donde x = concentración de la muestra en ppm y, y = Área bajo la curva (mm^2).

4.6.6 Cuantificación de Capsaicina y Dihidrocapsaicina

Los valores fueron reportados en mg de capsaicina y de dihidrocapsaicina por cada 100 g de peso fresco (mg EC y D·100 g⁻¹).

La determinación de los capsaicinoides (CAP y DIHI) se adaptó el método propuesto por Parris (1996). Se pesaron 0.5 g de chile liofilizado, se mezcló con 5 ml de acetonitrilo y se colocaron en baño María a 60 °C durante 5 h; de cada una de las repeticiones se hicieron dos extracciones.

Del sobrenadante se tomó una alícuota de 1ml y previa filtración con acrodiscos nylon de 0.45 µm de poro y 25 mm de diámetro (Thermo Scientific Titan 3), se depositó en viales de vidrio de color ámbar para evitar la posible degradación de compuestos fotosensibles.

La cuantificación de capsaicina y dihidrocapsaicina se realizó en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Perkyn Elmer serie 200, equipado con una bomba series 200 y detector UV-Vis.

Se utilizó una columna C18 Thermo® Hipersil ODS, Sigma Co. (150 mm de largo x 4.6 mm de diámetro y 5 µm de tamaño de partícula). Se inyectaron 20 µl de cada extracto, el tiempo de análisis para cada muestra fue de 5 min. La fase móvil consistió en una mezcla con proporciones variables de acetonitrilo y una solución amortiguadora de fosfato de potasio monobásico 35 mM.

La fase móvil previamente filtrada (membrana Millipore de 0.45 μm) en diferentes gradientes: a) 55:45 v / v en el intervalo de 0.0 a 2.59 min; b) 75:25 v / v de 2.6 a 3.0 min; c) 55:45 v / v de 3.01 a 3.6 min; d) 75:25 v / v de 3.61 a 4.5 min; y e) 55:45 v / v de 4.51 a 5 min. El flujo de la fase móvil en fase reversa fue 1.7 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ y la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 280 nm (Collins *et al.*, 1995).

La cuantificación de CAP y DIHI se realizó mediante las curvas de calibración de los estándares 8-metil-Nvanillil-6-nonenamida (Capsaicina, Sigma Co.) (0.1, 0.05, 0.025 mg ml^{-1} en metanol), y 8-metil-N-vanillilnonamida (dihidrocapsaicina, Sigma Co.) (0.22, 0.11, 0.055 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ en metanol). Mediante las cuales se obtuvieron las relaciones entre la concentración conocida y el área bajo la curva que se presenta en las siguientes expresiones: $x = (y + 130426) / 120198$ para capsaicina y $x = (y - 385140) / 353588$ para dihidrocapsaicina, donde x = concentración de la muestra ($\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) y, y = Área bajo la curva (mm^2).

4.6.7 Actividad Antioxidante

4.6.7.1 Método ABTS y porcentaje de inhibición

La actividad antioxidante de los resultados fue reportada en mg equivalente a Trolox por cada 100 gramo de chile (AAET, $\text{mg ET}\cdot 100\text{ g}^{-1}$). Se evaluó la actividad antioxidante por el método espectrofotométrico del radical ABTS $\bullet$ + descrito por Re *et al.* 1999 y Kuskoski *et al.* 2005.

El radical ABTS•+ se generó al mezclar el ABTS (7 mM) con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) 2.45 mM e incubar la mezcla en la oscuridad a temperatura ambiente ($\pm 25\text{ }^\circ\text{C}$), durante 16 h previo a su uso, debido a que la mezcla de color azul/verde intenso permanece estable durante 48 h.

Una vez formado el radical ABTS•+, éste se diluyó con etanol (a 1 ml del radical se le adicionó de 75 a 100 ml de etanol) hasta obtener un valor de absorbancia entre 0.70 ± 0.1 a 734 nm a $30\text{ }^\circ\text{C}$.

A una alícuota de 40 μl del extracto preparado previamente se le agregaron 4 ml de la solución del radical ABTS•+ diluido con etanol. La mezcla se agitó en un vórtex, se incubó a $30\text{ }^\circ\text{C}$ en baño María. Posteriormente, se registraron las lecturas de absorbancia a 734 nm de las muestras al minuto uno y a los siete min de incubación.

El antioxidante de referencia fue Trolox (evaluado de 0 a 2 mM). La actividad antioxidante fue determinada mediante la siguiente expresión:

$$AAET = \frac{\left(\frac{A - b}{m}\right) * PM}{C} = \frac{\text{mg de TROLOX}}{\text{g de pf}}$$

Dónde:

A = Absorbancia después de adicionar la muestra problema o referencia.

m = Pendiente de la curva de la referencia

b = Ordenada al origen de la curva patrón de la referencia

PM = Peso molecular de la referencia (g mol^{-1})

C = Concentración de la muestra ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

El porcentaje de inhibición del radical libre ABTS^{•+} se determinó empleando la fórmula: % de inhibición = $[(A_0 - A_F) / A_0] \times 100$. Dónde: A_0 = Absorbancia inicial del radical libre a 734 nm y A_F = Absorbancia final de la reacción con la muestra analizada.

4.7 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza, pruebas de comparaciones múltiples de medias (Tukey) a un nivel de significancia $p \leq 0.05$ y correlaciones de Pearson del contenido de compuestos fitoquímicos con la actividad antioxidante, mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile jalapeño

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la pérdida de peso (Anexo 2). Los frutos almacenados a 8 °C perdieron de 8 a 13 % de peso a los 6 y 18 d, respectivamente. Mientras que los frutos almacenados a 20 °C perdieron 15 y 24 % de peso a los 6 y 18 d (Figura 1). Esta pérdida podría indicar una limitada aceptación comercial. Sin embargo, los frutos podrían ser materia prima de fitoquímicos (oleorresinas) para utilizarse en la industria alimentaria (Domínguez-Cañedo *et al.*, 2014).

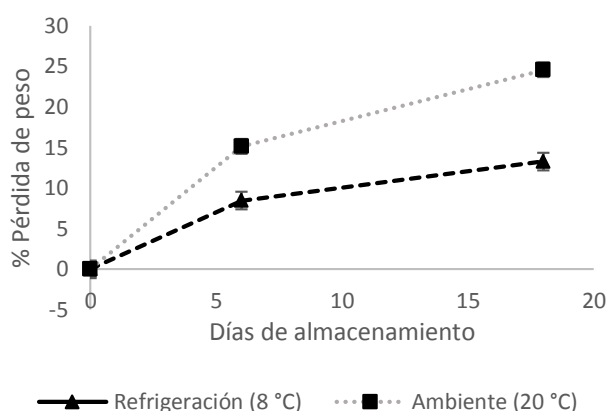


Figura 1. Porcentaje de pérdida peso en chile jalapeño.

El principal problema de los productos hortofrutícolas en poscosecha es la pérdida de peso. Esta pérdida se debe principalmente a transpiración y porcentajes mayores a 10 % pueden representar un producto comercialmente inaceptable (Tucker, 1993).

El análisis de varianza para los componentes antioxidantes indicó efectos significativos ($P \leq 0.05$) en las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, γ -Tocoferol, α -Tocoferol y actividad antioxidante por efecto de las temperaturas de almacenamiento de los frutos de chile. Por otra parte el periodo de almacenamiento modificó todas las variables evaluadas. Así mismo, se detectó efectos significativos ($P \leq 0.05$) de la interacción temperatura x periodo en todos los caracteres evaluados excepto en β -caroteno (Cuadros 2 y 3).

Los coeficientes de variación fueron 9.71 para fenoles totales, flavonoides (6.17), vitamina C (23.36), actividad antioxidante ABTS (8.88) y porcentaje de inhibición (5.22), β -Caroteno (14.01), γ -tocoferol (21) α -tocoferol (4.63), capsaicina (6.73) y dihidrocapsaicina (0.29).

Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile Jalapeño (*C. annum*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadros Medios						
FV	GL	FEN	FLA	VIT C	ABTS	INHI
TEM	1	3385**	2237**	58034*	42680*	140*
PER	1	36012**	233**	4317*	147835**	639**
TEM*PER	1	40165**	368**	196225**	4995	142
REP	5	2036	99	20140	46251	229
DUP (REP)	12	39	3	27	44	8
Error	51	457	24	10830	6291	46
TOTAL	71					
MEDIA		220.07	80.25	445.41	898.24	44.67
CV (%)		9.71	6.17	23.36	8.88	15.22

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo. GL: Grados de libertad; CV, Coeficiente de variación; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición del radical ABTS.

Cuadro 3. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por HPLC en el pericarpio de chile Jalapeño (*C. annum*) almacenados durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrados Medios						
FV	GL	β -CAR	γ -TOC	α -TOC	CAP	DIHI
TEM	1	0.65	561**	0.02*	0.205**	0.00067823**
PER	1	1.67*	1326**	1.61**	0.837**	0.00175285**
TEM*PER	1	0.11	671**	0.24**	0.083**	0.0009804**
ERROR	8	0.28	22	0.003	0.002	0.0000323
TOTAL	11					
MEDIAS		3.84	22.74	1.08	0.741	0.60215
CV		14.01	21.02	4.63	6.73	0.29

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; β -CAR: β -Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; γ -TOC: γ -Tocoferol; α -TOC: α -Tocoferol.

Se observó que la temperatura más conveniente fue 8 °C debido a que mostro concentraciones mayores de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, β -caroteno, α -Tocoferol y actividad antioxidante (Cuadro 4). La temperatura a 20 ° C mostró mayor contenido de capsaicinoides y γ -Tocoferol. Lo cual indica, que las propiedades antioxidantes incrementan a temperatura de refrigeración con respecto a los contenidos antioxidantes de los frutos expuestos a temperatura ambiente. Sin embargo, a temperatura ambiente se incrementó el picor de los chiles.

Con respecto al periodo de almacenamiento de los frutos, el periodo a los 6 d fue el más conveniente debido a que presentó mayores concentraciones de fenoles, vitamina C, β -caroteno, dihidrocapsaicina, γ - tocoferol. Sin embargo, en los frutos de chile el periodo de almacenamiento a los 18 días mostró mayor contenido de flavonoides, capsaicina, α -tocoferol y actividad antioxidante (Cuadro 5).

En general Gil *et al.* (2007) reportan que durante almacenamiento poscosecha se ha observado mínimo impacto sobre la reducción de la actividad antioxidante y contenido de compuestos nutraceuticos tanto en frutas como en hortalizas. En general, el deterioro en la calidad visual tiene lugar con anterioridad a que se produzcan pérdidas significativas en los contenidos antioxidantes.

Cuadro 4. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile Jalapeño después de 6 y 18 d.

Temperatura de almacenamiento °C	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	CAP	DIHI	γ-TOC	α-TOC	ABTS	INHI
8	226.93a*	85.82a	473.80a	3.60a	0.611b	0.594b	15.58b	1.12a	916.58a	46.07a
20	213.21b	74.67b	417.02b	4.07a	0.872a	0.609a	29.58a	1.04b	867.89b	43.27b
DMSH	3.21	0.96	2.71	0.71	0.066	0.0024	6.36	0.06	3.4	1.5

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Cuadro 5. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile Jalapeño almacenado a 8 y 20 °C.

Periodo de almacenamiento (días)	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	CAP	DIHI	γ-TOC	α-TOC	ABTS	INHI
6	242.44a*	78.44b	453.15a	4.21a	0.658b	0.614a	33.25a	0.71b	846.92 b	41.69b
18	197.71b	82.05a	437.66b	3.46b	0.825a	0.590b	12.22b	1.45a	937.55 a	47.65a
DMSH	3.21	0.96	2.7	0.71	0.066	0.0024	6.36	0.06	3.4	1.5

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

En la interacción temperatura x periodo se observó comportamientos similares entre las concentraciones de los compuestos evaluados (Cuadro 6). Se encontró para la temperatura de refrigeración (8 °C) en almacenamiento a 6 d y 18 d disminución de los contenidos de vitamina C y dihidrocapsaicina. Mientras que la concentración de α -tocoferol aumentó, así como la actividad antioxidante.

Durante el almacenamiento a temperatura ambiente (20 °C) los contenidos de fenoles, dihidrocapsaicina y γ -tocoferoles disminuyeron de seis a 18 días. En este periodo de almacenamiento incrementó el contenido de flavonoides, vitamina C, capsaicina, α -tocoferol y actividad antioxidante (Cuadro 6). Lo cual indica que la temperatura ambiente durante periodos prolongados de almacenamiento incrementó la calidad nutracéutica de los frutos, sin embargo, por pérdida de peso se pueden considerar frutos inaceptables para su comercialización.

Cuadro 6. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile Jalapeño (*C. annum*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Factores		FEN	FLA	VIT C	β-CAR	CAP	DIHI	γ-TOC	α-TOC	ABTS	INHI
Tem (°C)	Per (días)										
8	6	225.67b*	86.28a	518.26a	3.13a	0.611b	0.597b	18.93b	0.90c	862.94c	44.49b
8	18	228.18b	85.36a	429.33c	4.07a	0.611b	0.591c	12.86b	1.34b	970.22a	47.65a
20	6	259.20a	70.61c	357.07d	3.79a	0.705b	0.630a	47.57a	0.53d	830.90d	38.89c
20	18	167.23c	78.73b	476.96b	4.35a	1.039a	0.588c	11.58b	1.55a	904.87b	47.66a
DMSH		6.2	1.85	5.23	1.4	0.13	0.0047	12.5	0.13	6.57	2.89

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g⁻¹ de peso fresco (mg·100 g⁻¹).

Mediante contrastes ortogonales, se realizó la comparación del testigo con cada una de las interacciones temperatura x periodo (Cuadro 7). Se muestra que el contenido de fenoles totales incrementó 21 % en frutos almacenados durante seis días bajo refrigeración y 39 % en los frutos almacenados durante el mismo periodo a temperatura ambiente, con respecto al testigo. En esta variable se observó un descenso del 9 % de fenoles totales en los frutos almacenados durante 18 días a temperatura ambiente (Cuadro 7). Estas diferencias se podrían explicar debido a la posible síntesis de compuestos fenólicos por un aumento de la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL) como respuesta fisiológica a la pérdida de agua y el ataque de microorganismos patógenos (Reyes *et al.*, 2007).

El comportamiento del contenido de fenoles totales en los frutos de chile fresco, difiere a lo reportado por Gil *et al.* (2006) quienes indican que en frutos como el melón, mango y piña, los compuestos fenólicos presentaron un comportamiento relativamente estable durante 9 días de almacenamiento a 5 °C.

Al igual que los compuestos fenólicos se muestra un comportamiento similar en el contenido de flavonoides. Sin embargo, las variaciones de los compuestos fenólicos y flavonoides en diferentes condiciones de almacenamiento no se encuentran reportadas en Chile.

En cuanto al contenido de flavonoides se observó un incremento del 20 % de los frutos almacenados a 6 y 18 días en refrigeración, con respecto al contenido del testigo. Esto indica que el estrés producido por la disminución de la temperatura también afectó el contenido de estos compuestos, pero alcanzaron más rápidamente su equilibrio que los fenólicos (Viña y Chaves, 2007).

En otra investigación Gil *et al.* (2006) reportaron para fresas enteras y frescas un comportamiento estable del contenido de flavonoides durante nueve días de almacenamiento a 5 °C. Con respecto al contenido de este metabolito encontrado en el presente trabajo el valor de la concentración es mayor al que reportan Mackelmann *et al.* (2015) para *C. annuum* (2.2 and 13.2 mg·100 g⁻¹ de muestra) (Cuadro 8).

La cuantificación de β -caroteno mostró (anexos, Figura 5) que el pigmento aumenta 94 % en los frutos almacenados a los 18 días en ambas temperaturas con respecto al contenido de testigo. Un incremento del 89 % de la concentración de β -caroteno fue observado de manera similar en naranja entera almacenada durante 12 días bajo temperatura de refrigeración (8 °C). Incrementos de este pigmento se han relacionado con una estimulación en la biosíntesis de carotenoides durante la conservación frigorífica (Crespo *et al.*, 2008).

En los frutos de chile jalapeño, el contenido de vitamina E, (expresada por diferentes tipos de tocoferoles) y representada en este tipo de chile por el contenido de γ - y α - tocoferol (Anexo, Figura 9), se observó un incremento de 88 % para γ -tocopherol en los frutos almacenados durante síes días a temperatura ambiente y posteriormente, un descenso del 49 % en chiles almacenados durante 18 días tanto en refrigeración como al ambiente.

Para el caso de α -tocopherol disminuyó 50 % durante los primeros 6 días de almacenamiento a 8 °C y 20 °C; 11 % a los 18 días de almacenamiento en ambas temperaturas de almacenamiento (Cuadro 7).

Osuna-García *et al.* (1999) reportan contenidos mayores de γ -tocopherol y α -tocopherol de 23.6 mg 100 g⁻¹ p. f. y 3.9 mg 100 g⁻¹ p. f, respectivamente. Además señalan que el γ -tocopherol se encuentra en mayores proporciones en semillas y el α -tocopherol se encuentra en mayores proporciones en el pericarpio de chile. En el presente estudio no se evaluó el contenido de este metabolito en semillas, únicamente en pericarpio.

En los frutos de esta hortaliza los contenidos que se encontraron de capsaicina y dihidrocapsaicina fueron de 51 % y 49 %, respectivamente (Anexo, Figura 13). Orellana-Escobedo *et al.* (2013) reportaron para algunas variedades de *C. annum* la presencia de capsaicina y dihidrocapsaicina en relación 1:1 y señalan que las diferentes proporciones en que se encuentran, tanto en variedades como especies de *Capsicum* se debe a factores ambientales y genéticos.

Los contenidos de capsaicina en los frutos almacenados durante 6 días a temperatura ambiente aumentaron 14 % y llegaron a incrementarse hasta un 68 % en los frutos almacenados durante 18 días a la misma temperatura con respecto al contenido del testigo. Durante la refrigeración en ambos periodos de almacenamiento la capsaicina se mantiene estable con respecto al contenido del testigo. Caso inverso en el contenido de dihidrocapsaicina que disminuye el 54 % en chiles almacenados durante 18 días a temperatura ambiente, con respecto al contenido del testigo. Esto indica que el chile jalapeño aumenta parcialmente su picor, durante el periodo de almacenamiento a temperatura ambiente y durante refrigeración el picor se mantiene.

En comparación con otra investigación, Kozukue *et al.* (2005) reportaron para chile jalapeño contenidos de capsaicina entre 2.6-1.187 mg g⁻¹ de peso fresco, señalando que la gran variabilidad de este metabolito y proporciones de sus contenidos depende del cultivar, madurez y las condiciones pre y poscosecha.

La actividad antioxidante de chiles mostró un incremento del 30 % durante los primeros seis días de almacenamiento en ambas temperaturas de almacenamiento, con respecto a la actividad del testigo y un incremento del 42 % en los frutos almacenados durante 18 días en ambas temperaturas. Las variaciones de los resultados podían deberse a los cambios en los metabolitos de análisis (Cuadro 8).

Comportamiento que difiere a lo reportado por Lana y Tijskens, (2006) quienes reportan para el caso de tomate una disminución de la capacidad antioxidante medida por el radical ABTS de extractos lipofílicos y la estabilidad de la capacidad antioxidante en extractos hidrofílicos, durante 9 d de almacenamiento a 5 °C. Sin embargo, no se encontró correlación del contenido de fitoquímicos con la actividad antioxidante de los frutos de chile.

En general, los compuestos fitoquímicos analizados incrementan la concentración en los primeros días de almacenamiento, con respecto al testigo, este comportamiento concuerda con Pastrana *et al.* (2013). quienes señalan que bajo un periodo corto de almacenamiento (9 días), los fitoquímicos tienden a aumentar debido a las condiciones de estrés a las que son sometidos los frutos o pulpas y posteriormente decrecen y/o permanecen sin variación.

Cuadro 7. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile Jalapeño (*C. annum*).

CONTRASTE	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	CAP	DIHI	γ-TOC	α-TOC	ABTS	% INHI
TESTIGO	185.73	70.92	467.79	2.22	0.61	0.62	25.28	1.76	655.83	35.36
TESTIGO VS (8°C 6D)	225.67**	86.28**	518.26**	3.13	0.61	0.59**	18.93	0.90**	862.94**	44.49*
TESTIGO VS (8°C 18D)	228.18**	85.36**	429.34**	4.07*	0.61	0.59**	12.86**	1.34**	970.22**	47.65
TESTIGO VS (20°C 6D)	259.20**	70.61	357.07**	3.79*	0.70*	0.63**	47.57**	0.53**	830.90**	38.89
TESTIGO VS (20°C 18D)	167.23**	78.73**	476.96**	4.35*	1.03*	0.58**	11.58**	1.55*	904.87**	47.66**

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol.; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; % INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

5.2. Pérdida de peso y componentes antioxidantes de chile Serrano

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para la variable pérdida de peso (Anexo 2). La pérdida de peso del chile Serrano estuvo comprendida entre el 3 % y el 15 % a los 6 días de almacenamiento en refrigeración y bajo temperatura ambiente, respectivamente (Figura 2). A los 18 d de almacenamiento se puede observar que se presentaron pérdidas del 8 al 22 %. Los chiles almacenados en refrigeración presentaron pérdidas de peso dentro del rango de comercialización (5 %-10 %)

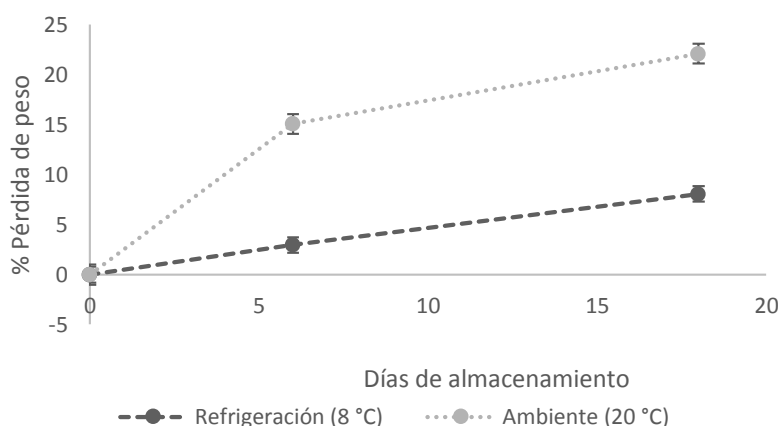


Figura 2. Porcentaje de pérdida peso en chile Serrano.

Vázquez *et al.* (2010) analizaron las pérdidas de peso de 19 variedades mejoradas de chile serrano, cultivadas a campo abierto y señalan que los valores encontrados se deben a factores genéticos. Ellos reportaron pérdidas de peso del 9 al 21 % durante los primeros seis días de almacenamiento y pérdidas del 16 % al 35 % a los 12 días de almacenamiento. Valores mayores a los que se encontraron en la presente investigación.

En el análisis de varianza de los componentes antioxidantes se observó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el factor temperatura en las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, dihidrocapsaicina y δ -tocoferol. Para el factor periodo se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los contenidos de vitamina C, γ -tocoferol, δ -tocoferol capsaicinoides y actividad antioxidante. La interacción temperatura por periodo también mostro diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las contracciones de los metabolitos analizados excepto en vitamina C, β -caroteno y α -tocoferol (Cuadros 8 y 9).

Los coeficientes de variación fueron 11.9 para fenoles totales, flavonoides (5.75), vitamina C (18.99) actividad antioxidante ABTS (13.57) y porcentaje de inhibición (18.82), β -Caroteno (9.83), γ -tocoferol (10.74) α -tocoferol (10.19), δ -tocoferol (11.2) capsaicina (11.7) y dihidrocapsaicina (0.86).

Cuadro 8. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile Serrano (*C. annum*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadros Medios						
FV	GL	FEN	FLA	VIT C	ABTS	INHI
TEM	1	20450**	1483**	99061**	7393	36
PER	1	2761	41	128212**	464236**	1458**
TEM*PER	1	7350*	1111**	928	705922**	136
REP	5	2709	37	8619	18185	102
DUP (REP)	12	73	4	24	610	17
Error	51	745	19	4200	10214	36
TOTAL	71					
MEDIA		227.65	76.52	341.25	744.43	32.25
CV (%)		11.99	5.75	18.99	13.57	18.82

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV, Coeficiente de variación; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS.

Cuadro 9. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por HPLC en el pericarpio de chile Serrano (*C. annum*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrados Medios							
FV	GL	β-CAR	γ-TOC	α-TOC	δ-TOC	CAP	DIHI
TEM	1	0.049	0.39	0.015	168.67**	0.7824168	0.00144216**
PER	1	0.877	155.41**	1.8	79.46**	1.11216517**	0.00711606**
TEM*PER	1	0.927	15.68**	19.008	99.33**	3.95893950**	0.00020036*
ERROR	8	0.222	0.6	0.097	1.99	0.06215997	0.00002953
TOTAL	11						
MEDIAS		4.79	7.26	3.07	12.6	2.129	0.625
CV (%)		9.83	10.74	10.19	11.2	11.70	0.86

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; B-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; δ-TOC: δ-Tocoferol.

Para el factor temperatura se observó mayores contenidos de fitoquímicos a 8 °C para los contenidos de flavonoides, vitamina C y dihidrocapsaicina. En la temperatura a 20 °C se presentaron mayores contenidos de fenoles totales, δ-tocoferol y actividad antioxidante (Cuadro 10).

En el factor periodo se apreció que los chiles almacenados durante seis días presentaron mayor contenido de vitamina E (α, δ, γ-Tocoferol) y capsaicina. El almacenamiento durante 18 días presentó mayores contenidos de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, dihidrocapsaicina y actividad antioxidante (Cuadro 11).

Con base a los contenidos se puede afirmar que la temperatura a 8 °C a los 6 días de almacenamiento es la mejor condición para mejorar el aprovechamiento de los compuestos antioxidantes del chile.

Cuadro 10. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile Serrano después de 6 y 18 d.

Temperatura (°C)	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	γ-TOC	α-TOC	δ-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
8	210.79b*	81.06a	378.35a	4.72a	7.44a	3.03a	8.85b	2.04a	0.63a	734.29b	31.96a
20	244.50a	71.98b	304.16b	4.85a	7.07a	3.107a	16.35a	2.21a	0.614b	754.56a	32.54a
DMSH	4.39	1.04	2.54	0.62	1.03	0.41	1.88	0.331	0.0072	12.69	2.12

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; δ-TOC: δ-Tocoferol, ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Cuadro 11. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile Serrano almacenado a 8 y 20 °C.

Periodo (días)	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	γ-TOC	α-TOC	δ-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI2
6	221.45b*	75.77b	207.81b	4.51a	10.86a	3.45a	15.17a	2.43a	0.60b	664.13b	27.75b
18	233.84a	77.28a	474.70a	5.06a	3.66b	2.68b	10.03b	1.84b	0.64a	824.73a	36.75a
DMSH	4.39	1.04	2.54	0.62	1.03	0.41	1.88	0.33	0.0072	12.69	2.12

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; δ-TOC: δ-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

En la interacción temperatura x periodo se observaron variaciones similares entre las variables evaluadas. El almacenamiento a 8 °C en ambos periodos mostró un incremento de las concentraciones de flavonoides, vitamina C, α -tocoferol y dihidrocapsaicina. Así mismo se observaron las disminuciones de las concentraciones de fenoles totales, γ -tocoferol capsaicina y actividad antioxidante (Cuadro 12).

Hubo un incremento de las concentraciones de fenoles totales, vitamina C, δ -tocoferol, dihidrocapsaicina y actividad antioxidantes de seis a 18 días de almacenamiento a temperatura ambiente. En estas mismas condiciones disminuyeron, las concentraciones de flavonoides, γ - tocoferol, α -tocoferol (Cuadro 12).

Cuadro 12. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile Serrano (*C. annum*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Factores		FEN	FLA	VIT C	β-CAR	γ-TOC	α-TOC	δ-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
Tem (°C)	Per (días)											
8	6	214.70c*	76.38b	241.31c	4.17a	12.18a	2.16c	9.15b	2.92a	0.607c	753.01b	29.84b
8	18	206.89c	85.75a	515.38a	5.27a	2.70c	3.90b	8.55b	1.16c	0.664a	715.57c	36.08a
20	6	228.21b	75.16b	174.31d	4.86a	9.53b	4.75a	10.90b	1.94b	0.593c	575.25d	25.66c
20	18	260.79a	68.81c	434.01b	4.84a	4.62c	1.46c	21.80a	2.47ab	0.634b	933.88a	37.42a
DMSH		8.47	2.01	4.9	1.23	2.04	0.81	3.69	0.65	0.014	24.46	4.08

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; γ-Toc: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Mediante contrastes ortogonales, se realizó la comparación del testigo con cada una de las medias de las interacciones temperatura x periodo y se encontraron diferencias significativas en cada uno de los contrastes ortogonales (Cuadro 13). Se encontró en el contenido de fenoles totales un incremento del 12 al 16 % en frutos almacenados en refrigeración durante seis y 18 días con respecto al contenido del testigo. Además un incremento del 23 al 41 % en frutos almacenados a temperatura ambiente durante seis y 18 días, con respecto al testigo. En el contenido de flavonoides se disminuyó del 2 al 8 % con respecto al testigo en frutos almacenados en refrigeración durante seis días y 18 días de almacenamiento (Cuadro 13).

Los frutos de chile son hortalizas con el contenido de ácido ascórbico más alto. Se ha señalado que el consumo de 100 g de esta hortaliza aportan del 100 al 200 % de la ingesta recomendada de ácido ascórbico (Lee y Kader, 2000). En el contenido de Vitamina C de esta investigación, se observó una pérdida del 36 % en frutos almacenados a 20 °C durante los primeros días de almacenamiento, con respecto al del testigo. En contraste Martínez *et al.* (2005), reportaron una pérdida menor (25 %) del contenido de ácido ascórbico durante los primeros 10 días de almacenamiento a 20 °C en el chile Fresno de la Vega (*C. annum*).

El análisis por HPLC permitió identificar a β -caroteno en el pericarpio de chile serrano en estado fresco (Anexo, Figura 6). El pigmento β -caroteno aumentó el contenido de 18 al 35 % en los fruto almacenados en refrigeración y 24 % en los frutos almacenados a temperatura ambiente durante los seis y 18 días de almacenamiento, con respecto al testigo (Cuadro 13).

En los frutos de chile Serrano se identificó por medio de HPLC los tres tipos de compuestos analizados (Anexo, Figura 10). El contenido de γ -tocoferol aumentó tres veces el contenido inicial durante los primeros seis días almacenamiento bajo refrigeración. Mientras que α - y δ -tocoferol perdieron el 62 % y 22 % respectivamente en la misma condición de almacenamiento con respecto al testigo. Sin embargo, δ -tocoferol si incrementa al doble con respecto al testigo, al final del almacenamiento a temperatura ambiente.

En los frutos de chile serrano se encontró una proporción de capsaicina y dihidrocapsaicina de 72 % y 28 %, respectivamente (Anexo, Figura 19). A si mismo se encontró una disminución de capsaicina y un aumento de dihidrocapsaicina del 25 y 8 % respectivamente durante 18 días de almacenamiento a 8 °C. Lo cual indica que aunque la capsaicina disminuyó el picor del chile no se perdió durante el almacenamiento.

La actividad antioxidante aumentó 23 %, con respecto al testigo durante el almacenamiento a 20 °C y 18 días. Sin embargo, durante 18 días de almacenamiento a 8 °C la actividad antioxidante de los frutos disminuyó el 2 %.

No se presentó correlación de cada uno de los componentes antioxidantes con la actividad antioxidante. Esto refleja un panorama general de que los compuestos fitoquímicos ejercen efectos sinérgicos o inhibitorios dentro de los frutos (Kuskosky *et al.*, 2005).

Cuadro 13. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile Serrano (*C. annum*).

CONTRASTE	FEN	FLAV	VIT C	β-CAR	γ-TOC	α-TOC	δ-TOC	CAP	DIHI	ABTS	% INHI(ABTS)
TESTIGO	184	83.53	273.12	6.44	4.24	5.78	11.83	1.56	0.6	763.93	30.6
TESTIGO VS (8°C 6D)	214.7**	76.38**	241.31**	4.17**	12.18**	2.16**	9.15	2.92**	0.6	753.01	29.84
TESTIGO VS (8°C18D)	206.89**	85.75**	515.38**	5.27**	2.70**	3.90**	8.55	1.16	0.66**	715.57**	36.08**
TESTIGO VS (20°C6D)	228.21**	75.16**	174.31**	4.86**	9.53b**	4.75**	10.90	1.94	0.59	575.25**	25.66**
TESTIGO VS (20°C18D)	260.79**	68.81**	434.01**	4.84**	4.62b	1.46**	21.80**	2.47**	0.63**	933.88**	37.42**

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; γ-TOC: γ-Tocoferol; α-TOC: α-Tocoferol, δ-TOC: δ-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; % INHI (ABTS): Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

5.3. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile habanero (criollo)

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la pérdida de peso durante almacenamiento poscosecha de los frutos de chile habanero (Anexo 2). Como se muestra en la figura 3 los frutos de chile habanero presentaron una pérdida menor al 10 % durante el almacenamiento bajo refrigeración (3 y 8 %). Los frutos almacenados a temperatura ambiente perdieron del 15 al 20 % de su peso a los 6 y 18 días de almacenamiento.

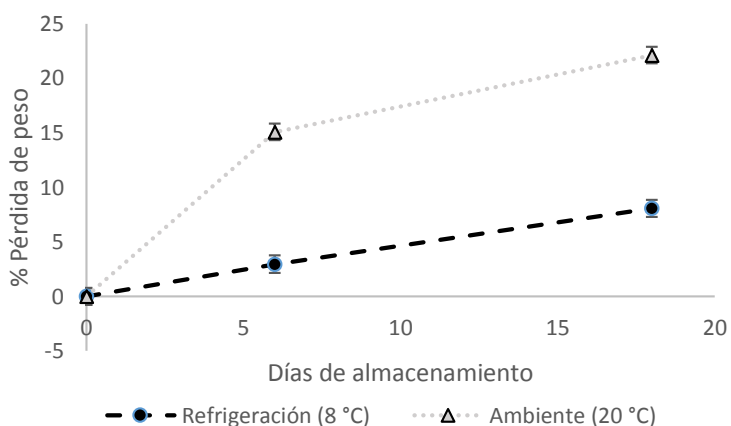


Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso de chile habanero criollo (Chic).

Esto indica que los frutos de chile habanero criollo son comerciables durante el periodo de almacenamiento en refrigeración. En contraste, los frutos almacenados a temperatura ambiente perdieron del 15 al 20 % a los 6 y 18 d; esta pérdida podría indicar una limitada aceptación comercial.

Sin embargo, los frutos podrían ser materia prima de fitoquímicos (oleorresinas) para utilizarse en la industria alimentaria (Domínguez-Cañedo, *et al.*, 2014).

En el análisis de varianza de las variables antioxidantes, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el factor temperatura en las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C y capsaicina. Pero en el periodo de almacenamiento sólo se detectó diferencias significativas en las variables flavonoides, vitamina C, α -tocoferol, capsaicina y actividad antioxidante. No hubo diferencias significativas en la interacción temperatura x periodo únicamente en el contenido de β -caroteno y dihidrocapsaicina (Cuadros 14 y 15).

Los coeficientes de variación fueron 11.32 para fenoles totales, flavonoides (10.75), vitamina C (19.43) actividad antioxidante ABTS (20.5) y porcentaje de inhibición (25-53), β -Caroteno (20.75), α -tocoferol (19.2), capsaicina (10.77) y dihidrocapsaicina (26.78).

Cuadro 14. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile habanero criollo (Chic) (*C. chinense*) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrados Medios						
FV	GL	FEN	FLA	VIT C	ABTS	INHI
TEM	1	529**	3369**	1815**	2215	2.71
PER	1	156	16*	11019**	868229*	2289*
TEM*PER	1	81*	38*	0.56*	32587*	919*
REP	5	142	1722	687	245122	1000
DUP (REP)	12	23	14	7	18651	54
Error	51	58	133	194	35891	131
TOTAL	71					
MEDIA		67.72	107.38	71.82	923.9	44.86
CV (%)		11.32	10.75	19.43	20.5	25.53

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV, Coeficiente de variación; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS.

Cuadro 15. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por HPLC en el pericarpio de chile habanero Criollo (Chic) (*C. chinense*) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrado Medios					
FV	GL	β-CAR	CAP	DIHI	α-TOC
TEM	1	9	1836*	115	0.24
PER	1	44	16186**	10	3.11*
TEM*PER	1	2	305*	51	1.02*
ERROR	8	16	198	25	0.32
TOTAL	11				
MEDIA		19.66	130.93	18.77	2.95
CV		20.75	10.77	26.78	19.2

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; B-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; ALFA: α-Tocoferol.

En el factor temperatura se observó que el almacenamiento a 8 °C favoreció un incremento del contenido de fenoles totales, flavonoides y capsaicina. Sin embargo, el almacenamiento a temperatura ambiente incrementó el contenido de vitamina C (Cuadro 16).

Para el factor periodo, los contenidos altos de flavonoides, vitamina C, α-tocoferol y capsaicina se observaron en los chiles almacenados durante 6 días. No obstante, el almacenamiento a 18 días presentó mayor actividad antioxidante (Cuadro 17). Estos resultados sugieren que a temperatura de refrigeración, durante los primeros seis días de almacenamiento favorecen el incremento de componentes antioxidantes, con respecto a los contenidos encontrados a los 18 días.

Cuadro 16. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile habanero criollo (Chic) después de 6 y 18 d.

Temperatura °C	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
8	114.23a*	70.43a	66.80b	20.56a	3.09a	143.30a	21.87a	929.46a	44.66a
20	100.54b	65.009b	76.84a	18.76a	2.8a	118.56b	15.67a	918.36a	45.054a
DMSH	1.94	2.49	1.45	5.43	0.75	18.77	6.69	70.13	3.77

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol. ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI2: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

Cuadro 17. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero criollo (Chic) almacenado a 8 y 20 °C.

Periodo (días)	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
6	106.91a*	69.19a	84.19a	21.59a	3.46a	167.66a	19.72a	814.10b	39.22b
18	107.86a	66.24b	59.45b	17.72a	2.44b	94.206b	17.82a	1033.72a	50.49a
DMSH	1.94	2.49	1.45	5.43	0.75	18.77	6.69	70.13	3.77

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol. ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

Para el caso de la interacción temperatura x periodo se observó comportamiento similar entre las concentraciones de los componentes antioxidantes analizados (Cuadro 18). En el caso de fenoles totales, la temperatura de refrigeración incrementó el contenido de estos compuestos, con respecto al contenido de los frutos almacenados a temperatura ambiente. Para los contenidos de flavonoides, vitamina C y capsaicina se presentó un descenso durante el periodo de almacenamiento de seis a 18 días a 8 °C. En esta condición de almacenamiento se incrementó la actividad antioxidante (Cuadro 18).

Los contenido de vitamina C, α -tocoferol y capsaicina disminuyeron en los frutos almacenados a temperatura ambiente de síes a 18 días. Mientras que la actividad antioxidante aumentó en esta condición de almacenamiento Dominguez *et al.* (2014), señala para el caso de vitamina C, que altas temperaturas de almacenamiento puede reducir el contenido de ácido ascórbico hasta en un 88% tras el almacenamiento a 20 ° durante tiempos prolongados (9 días).

Cuadro 18. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero criollo (*C. chinense*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Factores		FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
Tem (°C)	Per (días)									
8	6	114.48a*	72.97a	79.26b	20.19a	3.31ab	174.98a	24.91a	886.91b	42.60bc
8	18	113.98a	67.89b	54.34d	17.32a	2.88ab	111.62b	18.84a	971.99ab	46.73b
20	6	99.34b	65.41b	89.12a	22.99a	3.61a	160.33a	14.54a	741.27c	35.84c
20	18	101.75b	64.59b	64.56c	18.12a	2.00b	76.78b	16.80a	1095.44a	54.26a
DMSH		3.74	4.8	2.79	10.67	1.48	36.87	13.15	135.15	7.28

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol. ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Con base en la comparación del testigo mediante contrastes ortogonales de chile habanero criollo con la interacción de cada uno de los factores (Cuadro 19) se observó una pérdida de 10 % del contenido de fenoles totales de frutos almacenados durante seis días a temperatura ambiente ($99.34 \text{ mg} \cdot \text{EAG } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco), con respecto al testigo ($110.57 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco). Meckelmann *et al.* (2015) reportaron valores de fenoles totales de $2.77 \text{ mg} \cdot \text{EAG } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco, para *C. chinense*. Segura *et al.* (2013) reportaron contenidos de fenoles totales de seis genotipos de *C. chinense* Jacq. var. Habanero de 20.54 a $20.75 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco y señalan que los niveles de compuestos fenólicos varían durante el crecimiento y maduración (Nadeem *et al.*, 2011).

Se observó una pérdida del 10 % en el contenido de flavonoides en frutos almacenados durante 18 días a temperatura ambiente ($64.59 \text{ mg EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p. f.}$), con respecto al testigo ($72.37 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). De igual manera se encontró esta pérdida de porcentaje para el contenido de β -caroteno, bajo las mismas condiciones de almacenamiento (Cuadro 19).

Los carotenoides desempeñan un papel importante en la coloración de algunos frutos, específicamente en los frutos de *Capsicum*; estos pigmentos también actúan como importantes antioxidantes y previenen algunas enfermedades (cáncer) (Tapiero *et al.*, 2004). En los frutos almacenados en ambas temperaturas y durante ambos periodos de almacenamiento no se observó variación de este metabolito.

En la presente investigación se realizó inyecciones de tres estándares comerciales de α -, γ -, y δ -tocoferol. Sin embargo, en los frutos de chile habanero criollo solo mostraron presencia de α -tocoferol (Anexo, Figura 11). No obstante, Meckelmann *et al.* (2015) identificaron en 11 accesiones de chile habanero el contenido de vitamina E encontrando intervalos de 0.23 a 29 mg·100 g⁻¹ de peso fresco correspondientes a α -, β -, γ -tocoferol. Estas diferencias entre la presencias de tocoferoles en pericarpio de chile pudieran deberse a las condiciones ambientales, maduración y contenido de lípidos (Howard y Wilmand, 2007).

Las condiciones de análisis de capsaicinoides por HPLC permitieron identificar a la capsaicina como el compuesto en mayor proporción (85 %) con respecto al contenido de dihidrocapsaicina (15 %) en frutos de chile habanero en el momento de corte (Anexo, Figura 15). Con respecto al contenido de capsaicinoides se observó una disminución del 55 % y 40 %, respectivamente para capsaicina y dihidrocapsaicina en los frutos almacenados durante 18 días a temperatura ambiente y una pérdida menor de 32 % de capsaicina y 18 % de dihidrocapsaicina cuando los frutos se mantuvieron almacenados en refrigeración (Cuadro 19). Por lo que se podría inferir que durante el periodo de almacenamiento en ambas temperaturas los frutos perdieron parcialmente su picor.

Esta disminución en el contenido de capsaicina podría ser debido a la descomposición química por reacciones fotooxidativas o, como se ha sugerido recientemente, debido a la acción de algunas enzimas tales como peroxidasas (Díaz *et al.*, 2004). Meckelmann *et al.* (2015) reportaron valores mayores de capsaicinoides en *C. chinense* (de 630 a 1515 mg 100 g⁻¹) a los encontrados en el presente trabajo (100 g⁻¹ a 174 mg 100 g⁻¹ de peso fresco). Las diferencias observadas en estos contenidos podría deberse a que los frutos de chile cultivados en invernadero mantienen condiciones controladas en contraste a los frutos que se desarrollan a campo abierto (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005; Zewdie y Bosland, 2000).

La actividad antioxidante aumentó 24 % con respecto a la del testigo durante su almacenamiento a ambas temperaturas. El contenido de compuestos fitoquímicos no se correlaciona con la actividad antioxidante.

Cuadro 19. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile habanero criollo (Chic) (*C. chinense*).

CONTRASTE	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	% INHIB (ABTS)
TESTIGO	110.57	72.37	44.73	11.33	2.68	169.96	28.05	877.81	48.08b
TESTIGO VS (8°C6D)	114.48	72.97	79.26**	20.19**	3.31	174.98	24.91	886.91	42.60**
TESTIGO VS (8°C18D)	113.98**	67.89**	54.34**	17.32**	2.88	111.62	18.84	971.99*	46.73**
TESTIGO VS (20°C6D)	99.34**	65.41**	89.12**	22.99**	3.61	160.33	14.54	741.27*	35.84**
TESTIGO VS (20°C18D)	101.75**	64.59**	64.56**	18.12*	2.0069	76.78**	16.8	1095.44**	54.26**

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; % INHIB (ABTS): Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

5.4. Pérdida de peso y componentes antioxidantes en chile habanero (mejorado).

El análisis de varianza mostro diferencia significativa ($p \leq 0.05$) el porcentaje de pérdida de peso del chile habanero mejorado (Anexo 2). Como se puede observar en las Figuras 4 los frutos de chiles habanero presentaron perdidas de peso en refrigeración menores del 10 % durante 18 días de almacenamiento. Sin embargo a temperatura ambiente se observó pérdidas de 12 y 17 %.

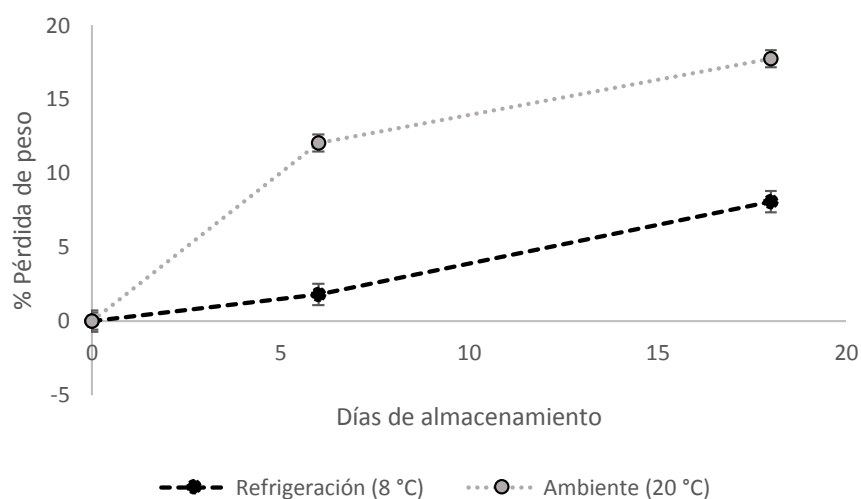


Figura 4. Porcentaje de pérdida de peso de chile habanero mejorado (Balam).

La conservación refrigerada bajo condiciones óptimas permite reducir las pérdidas cualitativas y cuantitativas de la calidad, debidas a desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasar la maduración y senescencia y prolongar la vida comercial de los frutos de chile mejorado, con calidad idónea para consumo en fresco. En contraste la conservación a temperatura ambiente ocasionó la perdida de agua en mayores proporciones y por lo tanto frutos inaceptables para su comercialización.

Con base en el análisis de varianza de las variables antioxidantes se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en el factor temperatura en las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, β -caroteno y actividad antioxidante. De la misma manera se observó para el factor periodo efectos sobre la concentraciones de fenoles totales, flavonoides y vitamina C (Cuadros 21 y 22). Efectos significativos se detectaron en la interacción en todas las variables evaluadas con excepción de β -caroteno (Cuadros 20 y 21).

Los coeficientes de variación fueron 14.78 para fenoles totales, flavonoides (13.22), vitamina C (20.42) actividad antioxidante ABTS (14.14) y porcentaje de inhibición (17.58), β -Caroteno (28.97), α -tocoferol (5.47), capsaicina (16.03) y dihidrocapsaicina (28.91).

Cuadro 20. Cuadrados medios y nivel de significancia para el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de pericarpio de chile Habanero mejorado (Balam) (*C. chinense*) almacenado durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrados Medios						
FV	GL	FEN	FLA	VIT C	ABTS	INHI
TEM	1	104*	70*	527**	202733**	1370**
PER	1	12949**	95**	1057**	4597	107
TEM*PER	1	1922**	0.78*	3767**	128236*	982**
REP	5	470	116	449	192806	1299
DUP (REP)	12	5	8	9	10963	72
ERROR	51	141	86	54	17893	120
TOTAL	71					
MEDIA		80.33	70.27	35.76	945.78	62.41
CV		14.78	13.22	20.42	14.14	17.58

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS.

Cuadro 21. Cuadrados medios y nivel de significancia para fitoquímicos cuantificados por HPLC en el pericarpio de chile Habanero Criollo (Balam) (*C. chinense*) almacenados durante 8 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Cuadrados Medios					
FV	GL	β -CAR	CAP	DIHID	α -TOC
TEM	1	9.1*	7807	1.6	1.21*
PER	1	2.8	17161	31	0.76
TEM*PER	1	0.7	60*	41*	1.4*
ERROR	8	1.4	486	3	0.016
TOTAL	11				
MEDIA		4.19	137.55	6.72	2.32
CV		28.97	16.03	28.91	5.47

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$); FV: Fuentes de variación; TEM: Temperatura; PER; periodo; TEM*PER; Interacción temperatura x periodo; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; B-CAR: β -Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; α -TOC: α -Tocoferol.

En el Cuadro 22 se observa que los contenidos mayores de fenoles totales, β -caroteno y capsaicina se encontraron en chiles almacenados en refrigeración (8 °C). En contraste, los chiles almacenados a temperatura ambiente (20 °C), presentaron niveles mayores de flavonoides, vitamina C, α -Tocoferol, dihidrocapsaicina y actividad antioxidante.

En el factor periodo se observó que las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C, α -tocoferol y capsaicinoides fueron mayores en frutos almacenados a los 6 días (Cuadro 23).

Cuadro 22. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en el pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) después de 6 y 18 d.

Temperatura °C	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
8	81.54a*	69.28b	33.05b	5.07a	2.007b	163.06a	6.35a	892.72b	58.04b
20	79.13b	71.26a	38.47a	3.32b	2.64a	112.05b	7.08a	998.85a	66.77a
DMSH	1.23	1.49	1.56	1.61	0.169	29.37	2.58	53.77	4.37

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIHI: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco (mg 100 g⁻¹).

Cuadro 23. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (6 ó 18 d) en el contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) almacenado a 8 y 20 °C.

Periodo (días)	FEN	FLA	VIT C	β-CAR	α-TOC	CAP	DIHI	ABTS	INHI
6	93.74a*	71.42a	39.59a	1.61a	2.57a	175.37a	8.34a	937.80a	61.18a
18	69.12b	66.92b	31.93b	3.71a	2.07b	99.74b	5.09b	953.78a	63.63a
DMSH	1.23	1.49	1.56	1.61	0.16	29.37	2.58	53.772	4.37

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco (mg 100 g⁻¹).

En la comparación de medias de la interacción se observó la disminución de las concentraciones de fenoles totales, flavonoides, vitamina C y capsaicina durante el almacenamiento a 6 y 18 días bajo refrigeración (8 °C). Con respecto a los frutos almacenados a temperatura ambiente, de igual manera, los contenidos de fenoles totales, α -tocoferol, y capsaicina disminuyeron. Sin embargo, a la misma temperatura, el contenido de vitamina C y actividad antioxidantes incrementaron durante el almacenamiento de seis a 18 días (Cuadro 24).

Cuadro 24. Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante en pericarpio de chile habanero mejorado (*C. chinense*) almacenado durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

Factores		FEN	FLA	VIT C	β-CAR	A-TOC	CAP	DIH	ABTS	INH
Tem (°C)	Per (días)									
8	6	100.11a*	70.53ab	44.12a	4.33a	1.91b	198.63a	9.84a	926.93b	60.51b
8	18	68.02b	62.96d	21.98c	5.81a	2.09b	127.49bc	6.84ab	858.51b	55.57b
20	6	87.37b	72.30a	35.07b	3.08a	3.23a	152.11ab	2.86b	948.65ab	61.85b
20	18	70.88c	70.21ab	41.87a	3.56a	2.04b	71.98c	7.33ab	1049.04a	71.69a
DMSH		2.37	2.88	3.02	3.18	0.33	57.68	5.08	103.62	8.43

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH, Diferencia mínima significativa honesta; FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; INHI: Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Con respecto al Cuadro 25 en la comparación mediante contrastes ortogonales del testigo con cada una de las interacciones, se observó para la variable fenoles totales una pérdida de 12 % de compuestos fenólicos al final del almacenamiento.

En el contenido de flavonoides se observó un incremento del 7 % en frutos almacenados durante 18 días en refrigeración. Las concentraciones de flavonoides que se reportan en esta investigación son mayores con respecto a los que reportan Meckelmann *et al.* (2015) (1.3 and 13.8 mg 100 g⁻¹ peso fresco) para *C. chinense*. En esta misma condición de almacenamiento se mostró una pérdida del 40 % de vitamina C. Millan *et al.* (2007) establecen que el tiempo de vida de la calidad nutricional de un material vegetal, está determinado por el tiempo requerido para que el ácido ascórbico se degrade en un 50 %. Por lo tanto y basados en los resultados de vitamina C de los frutos almacenados durante 18 días, la calidad no concluyó, debido a que no se perdió el 50 % de vitamina C.

El análisis por HPLC permitió identificar a β -caroteno como el metabolito en menor proporción en los frutos de chile habanero mejorado (Anexo, Figura 8).

El contenido de β -caroteno se incrementa al doble del contenido inicial. Esto se debe al cambio de color que presentan los frutos del chile. En un análisis de los carotenoides en 63 accesiones de *C. chinense*, Antonious *et al.* (2009) encontraron que la accesión PI-355817 (de Ecuador) contenía las concentraciones más altas β -caroteno (8 mg g⁻¹ de peso fresco).

Esta accesión fue identificada como candidata potencial para la producción de nuevos híbridos con potencial para la salud. Incrementos de este pigmento se han relacionado con una estimulación en la biosíntesis de carotenoides durante la conservación frigorífica (Crespo *et al.*, 2008).

La vitamina E (tocoferoles) también se considera un potente antioxidante por la capacidad de neutralizar radicales libres (Sayago *et al.*, 2007). En la presente investigación se realizó inyecciones de tres estándares comerciales de α -, γ -, y δ -tocoferol. Sin embargo, los frutos de chile mejorados sólo mostraron presencia de α -tocoferol (Anexo, Figura 12).

Los contenidos de esta investigación superan a los encontrados por Wahyuni *et al.* (2011) quienes reportan contenidos de α -tocoferol de 0.84 mg 100 g⁻¹ de peso fresco en *C. chinense* y mayor proporción de este compuesto en sus frutos de análisis. Diferencias que pudieran deberse a las condiciones ambientales, maduración y contenido de lípidos (Osuna-García *et al.*, 1998). Por su picor, la ingesta de un gramo de este tipo de chile aporta en la dieta diaria 0.26 % de la ingesta diaria recomendada para adultos (15 mg E α -T) de vitamina E.

En cuanto al contenido de capsaicinoides se presenta una pérdida del 44 % de capsaicina, en los frutos almacenados a 20 °C durante 18 días. Sin embargo, en frutos almacenados bajo temperatura ambiente pierden el 60 % de dihidrocapsaicina. Por lo que se podría sugerir una pérdida parcial del picor en los frutos.

Meckelmann *et al.* (2015) reportaron contenidos de capsaicinoides para la especie *C. chinense* de 630 a 1515 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, niveles mayores a los que se reportan en esta investigación. Las diferencias observadas en estos contenidos podría deberse a que los frutos de chile cultivados en invernadero mantienen condiciones controladas en contraste a los frutos que se desarrollan a campo abierto (Zewdie y Bosland, 2000; Cázares-Sánchez *et al.*, 2005) (Cuadro 25).

La actividad antioxidante de los frutos de chile almacenados en refrigeración disminuyó el 13 % y 19 % durante seis y 18 días de almacenamiento, con respecto a la actividad antioxidante de los frutos testigo. Los frutos almacenados a temperatura ambiente durante seis días, disminuyeron el 11 % su actividad antioxidante. En contraste, la actividad antioxidante de los frutos almacenados a temperatura ambiente durante 18 días, permanece estable (Cuadro 25). Sin embargo, el contenido de componentes antioxidantes no se correlaciona con la actividad antioxidante.

Cuadro 25. Contrastes ortogonales y comparación de medias del contenido de fitoquímicos y capacidad antioxidantes del testigo con cada uno de los contenidos de la interacción temperatura x periodo en el pericarpio de chile habanero mejorado (Balam) (*C. chinense*).

CONTRASTE	FEN	FLAV	VIT C	β-CAR	α-TOCO	CAP	DIHI	ABTS	% INHI(ABTS)
TESTIGO	81.19	67.2	37.22	1.72	2.69	130.47	7.2	1067.04	74.05
TESTIGO VS (8°C 6D)	100.11**	70.538**	44.12**	4.33*	1.91**	198.63*	9.85	926.93*	60.51*
TESTIGO VS (8°C 18D)	62.96**	62.96**	21.98	5.81*	2.09**	127.49	6.84	858.51*	55.57*
TESTIGO VS (20°C 6D)	87.37**	72.30**	35.07	3.08*	3.23**	152.11	2.86*	948.65*	61.85*
TESTIGO VS (20°C 18D)	70.88**	70.21b**	41.87**	3.56**	2.04**	71.98*	7.33	1049.04	71.69

**, *: Altamente significativo, Significativo ($\alpha=0.05$). FEN, Fenoles totales; FLA: Flavonoides; VIT C: Vitamina C; β-CAR: β-Caroteno; CAP: Capsaicina; DIH: Dihidrocapsaicina; α-TOC: α-Tocoferol; ABTS; Actividad antioxidante con el radical ABTS; % INHI (ABTS): Porcentaje de inhibición con el radical ABTS. Los resultados se expresan en mg de cada fitoquímico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

6. CONCLUSIONES

La condición de refrigeración por periodos cortos de almacenamiento (6 d) incrementó los componentes nutraceuticos en los cuatro tipos de chile fresco.

En los frutos de chile jalapeño almacenados a los seis días a 8 °C se incrementó el contenido de fenoles totales, flavonoides, vitamina C y la actividad antioxidante. El periodo de almacenamiento durante 18 días a 8 °C disminuyó el contenido de vitamina C, dihidrocapsaicina y γ -tocoferol.

Los frutos de chile serrano almacenados durante seis días a 8 °C incrementaron el contenido de fenoles, γ -tocoferol y capsaicina. El periodo de almacenamiento durante 18 días a 8 °C incrementó el contenido de vitamina C y α -tocoferol.

En los frutos de chile habanero criollo el almacenamiento durante seis días a 8 °C se incrementó el contenido de fenoles totales, flavonoides, vitamina C y α -tocoferol. Posteriormente el almacenamiento durante 18 días a 8 °C disminuyó el contenido de flavonoides, vitamina C y capsaicina.

En los frutos de chile habanero mejorado el almacenamiento durante seis días a 8 °C se incrementó el contenido de fenoles, flavonoides, vitamina C, β -caroteno y capsaicina. Posteriormente el almacenamiento durante 18 días a 8 °C disminuyó el contenido de los compuestos mencionados con excepción del β -caroteno.

En los frutos de los cuatro tipos de chile no se encontró correlación de la actividad antioxidante con el contenido de compuestos nutraceuticos.

7. LITERATURA CITADA

Aguilar, R. V., T. T. Corona y L. P. López. 2010. Los chiles de México y su distribución. Colegio de Posgraduados. INIFAP. 107 p.

Antonious, G. F., L. Lobel, T. Kochhar, T. Berke and R. L. Jarre. 2009. Antioxidants in *Capsicum chinense*: Variation among countries of origin: Variation among accessions. Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes 44: 621–626.

Antolovich, M., P. D. Prenzler and P. Kefalas. 2002. Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties en selected aged regional wines from Greece. Journal of Food Composition and Analysis 15: 655-665.

Arena, E., B. Fallico and E. Maccarone. 2001. Evaluation of antioxidant capacity of blood orange juices as influenced by constituents, concentration process and storage. Food chemistry 74: 423-427.

Arnao, M. B. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. Trends in Food Science & Technology 11: 419-421.

Ayala-Zavala, J.F., S. Y. Wang, S. Y. Wang and G. A. González-Aguilar. 2005. Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *European Food Research and Technology* 221(6):731–738.

Badarinath, A.V., K. R. Mallikarjuna, S. C. Madhu, S. Ramkanth, T. V. S. Rajan and K. Gnanaprakash. 2010. A Review on *In-vitro* Antioxidant Methods: Comparisons, Correlations and Considerations. *International Journal of PharmTech Research* 2(2): 1276-1285.

Barbero, G.F., M. Palma and C.G. Barroso. 2006. Pressurized Liquid Extraction of Capsaicinoids from Peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (9): 3231 - 3236.

Bae, H., G. K. Jayaprakasha, K. Crosby, Y. K. Sun, D. Leskova, J. Jifon and B. Patila 2014. Ascorbic acid, capsaicinoid, and flavonoid aglycone concentrations as a function of fruit maturity stage in greenhouse-grown peppers. *Journal of Food Composition and Analysis* 33: 195–202.

Borbón, M. C. G. 2001. Nota crítica: frutas y hortalizas de exportación. Una aproximación al enfoque de las cadenas comerciales globales. *Región y Sociedad* 13(22): 161-174.

Borges-Gómez, L., C. Moo-Kauil, J. Ruíz-Novelo, M. Osalde-Balam, C. González-Valencia, C. Yam-Chimal y F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48: 347-359.

Bosland, P. W. and E. J. Votava. 2000. Chemical composition. *In: Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*. CABI Publishing New York, USA. pp: 84-96.

Bosland, P.W. and J. B. Baral. 2007. 'Bhut Jolokia'—The World's Hottest Known Chile Pepper is a Putative Naturally Occurring Interspecific Hybrid. *Hortscience* 42(2): 222–224.

Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft & Technology* 22: 25-30.

Brody, T. 1998. *Nutritional Biochemistry*. Second Edition. Academic Press. 1012 p.

Burns, J., P. D Fraser and P. M. Bramley. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62: 939 –947.

Cahoon, E., S. Hall, K. Ripp, T. Ganzke, W. Hitz and S. Coughlan. 2003. Metabolic redesign of vitamin E Biosynthesis in plants for tocotrienol production and increased antioxidant content. *Nature Biotechnology* 21: 1082-1087.

Cázares-Sánchez, E., P. Ramírez-Vallejo, F. Castillo-González, R. M. Soto-Hernández, M. T. Rodríguez-González and J. L. Chávez-Servia. 2005. Capsaicinoids and preference of use in different morphotypes of chili peppers (*Capsicum annuum* L.) of east central Yucatán. *Agrociencia* 39: 627 - 638.

Chang, C. M., H. Yang and J. Chern. 2002. Estimation of total flavonoids content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal Food and Drug Analysis* 10: 176-182.

Chuah, A. M., Y. C. Lee, T. Yamaguchi, H. C. D. Hitoshi-Takamura, Y. Li-Jun and T. Matoba. 2008. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry* 111: 20–28.

Cintra, R. M. G. y J. Mancini-filho. 2001. Efeito antioxidante de especiarias: avaliacao e comparecao de métodos *in vitro* e *in vivo*. *Nutrire* 22: 49-62.

Collins, D. M., L. Wasmund and P. W. Bosland. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in *capsicum* using high performance liquid chromatography. *Hortscience* 30 (1): 137-139.

Cooper, D. A. 2004. Carotenoids in health and disease: recent scientific evaluations, research recommendations and the consumer. *Journal of Nutrition* 134: 221S–224S.

Crespo, I., S. de Pacual-Teresa, B. de Ancos, C. Sánchez-Moreno, M. Muñoz y M. P. Cano, 2008. Retention of quality and health-promoting characteristics (vitamina c, carotenoids, flavones and antioxidant capacity) of minimally processed orange segments versus whole fruit during refrigerated storage *Journal of Food Composition and Analysis*. Enviada.

Crosby, K., L. Pike, J. Jifon and K. Yoo. 2005. Breeding vegetables for optimum levels of phytochemicals. *Proceeding of the 1 st International Symposium on Human Health Effects of Fruits and Vegetables* pp: 219-224.

Dae-Ok, K., S. W. Jeong and Y. L. Chang. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry* 81: 321-326.

Dávalos, A., C. Fernández-Hernando, F. Cerrato, J. Martínez-Botas, D. Gómez-Coronado, C. Gómez-Cordoves and M. A. Lasunción. 2006. Red Grape Juice Polyphenols Alter Cholesterol Homeostasis and Increase LDL Receptor Activity in Human Cells *in vitro*. *Journal of Nutrition* 136:1766–1773.

De Ancos, B., C. Sánchez-Moreno y M. P. Cano. 2009. Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos cortados. *In: Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*. González, A. G., E. Álvarez P., L. De la Rosa, I.G. Olivas y J.F. Ayala Z (eds.). Trillas México pp: 120-154.

Díaz J, F. Pomar, A. Bernal, and F. Merino. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews*, 3: 141–57.

Doblado, R., H. Zielinski, M. Piskula, H. Kozłowska, R. Munoz y J. Frias. 2005. Effect of processing on the antioxidant vitamins and antioxidant capacity of *Vigna sinensis* Var. Carilla. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(4): 1215–1222.

Domínguez-Martínez, I., O. G. Meza-Márquez, G. Osorio-Revilla, J. Proal-Nájera y T. Gallardo-Velázquez. 2014. Determination of Capsaicin, Ascorbic Acid, Total Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Capsicum annuum* L. var. serrano by Mid Infrared Spectroscopy (Mid-FTIR) and Chemometric Analysis, *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 57: 133–142.

Dürüst, N., D. Sümengen and Y. Dürüst. 1997. Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 2085–2087.

Ebrahiema, A., A. F. Olaniyi and L. O. Umezuruike. 2014. Effects of postharvest storage conditions on phytochemical and radical-scavenging activity of pomegranate fruit (cv. Wonderful). *Scientia Horticulturae* 169: 125–129.

El-Samahy, S.K., K. M. Youssef and T.E. Moussa-Ayoub. 2009. Producing ice cream with concentrated cactus pear pulp: A preliminary study. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 11: 1-12.

Fallik, E., A. Bar-Yosef, S. Alkalai-Tuvia, Z. Aharon, Y. Perzelan, Z. Ilić y S. Lurie. 2009. Prevention of chilling injury in sweet bell pepper stored at 1.5 °C by heat treatments and individual shrink packaging. *Folia Horticulture* 21: 87-97.

Fish, W. W., P. Perkins-Veazie and K. Collins. 2002. A Quantitative assay For Lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis* 15:309-317.

García, M.R. y R. A. Nieto. 2011. Valor nutracéutico del tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Universidad Autónoma Chapingo (Ed). México 63 p.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Indianápolis. México, D.F. 217 p

Gil, M. I., E. Aguayo y A. Keder, 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole frits during storage, *Journal Agricultural Food Chemistry* 54:4284-4296.

Gliszczynska-Swiglo, A. and E. Sikorska. 2004. Simple reversed-phase liquid chromatography method for determination of tocopherols in edible plant oils. *Journal of Chromatography* 1048: 195-198.

Guil-Guerrero, J. L., C. Martínez-Guirado, M. M. Reboloso-Fuentes and A. Carrique-Perez. 2006. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annum*) varieties. *European Food Research and Technology* 224: 1-9.

Howard, L.R., S. T. Talcott, C. H. Brenes and B. Villalon. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* spp.) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1713-1720.

Howard, L.R. y R. E. C. Wildman. 2007. Isoflavones: source and metabolism. *In*: Wildman, R. E. C. editor. *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. Boca Raton, CRC Press. pp: 165 – 191.

Howard, L. R. 2001. Antioxidant vitamin and phytochemical content of fresh and processed pepper fruit (*Capsicum annum*). *In*: R. E. C. Wildman (Ed.), *Handbook*

of nutraceuticals and functional foods CRC Series in Modern Nutrition. pp: 209–233.

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

Ito, K., T. Nakazato, K. Yamamoto, Y. Miyakawa, T. Yamada, N. Hozumi, K. Segawa, Y. Ikeda and M. Kizaka. 2004. Induction of Apoptosis in Leukemic Cells by Homovanillic Acid Derivative, Capsaicin, through Oxidative Stress. *Cancer Research* 64: 1071-1078.

Jayaprakasha, G.K. y B. S. Patil. 2007. *In vitro* evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry* 101 (1): 410–418.

Kader, A. A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. 3rd edition Oakland: University of California, Agriculture and Natural Resources. Oakland, USA Publication 3311. 535 p.

Kader, A. A., 1988. Influence of preharvest and postharvest environment on nutritional composition of fruits and vegetables. *In*: Quebedeaux, B., Bliss, F.A. (eds.), *Horticulture and Human Health: Contributions of Fruits and Vegetables*.

Proceedings of the 1st International Symposium on Horticulture and Human Health. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. pp: 18 – 32.

Kanno, S., A. Tomizawa, T. Hiura, Y. Osanai, A. Shouji, M. Jibe, T. Ohtake, K. Kimura and M. Ishikawa. 2005. Inhibitory effects of naringenin on tumor growth in human cancer cell lines and sarcoma S-180- implanted mice. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 28 (3): 527-530.

Kozukue N, J. S. Han, E. Kozukue, S. J. Lee, J. A. Kim, K. R. Lee. 2005. Analysis of eight capsaicinoids in peppers and pepper-containing foods by High-Performance Liquid Chromatography and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *J Agric Food Chem* 53(23): 9172–81.

Kaur, C. and H. C. Kapoor. 2001. Review: Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 703-725.

Kim, D.O., K. W. Lee, H. J. Lee and C. Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (13): 3713–3717.

Kuskoski, E. M., A. G. Asuero, A. M. Troncoso, J. Mancini-Filho y R. Felt. 2005. Aplicación de diversos Métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology Campinas* 25(4):726-732.

Kuskoski, E. M., A. G. Asuero, A. M. Troncoso, M. C. García- Parrilla y R. Fett. 2004. Actividad antioxidante de pigmentos antocianos. *Revista Brasileira de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 24 (4): 691-693.

Kwon, D., S. Yoon, O. Carter, G. S. Bailey and R. H. Dashwood. 2006. Antioxidant and antigenotoxic activities of *Angelica keiskei*, *Oenanthe javanica* and *Brassica oleracea* in the *Salmonella* mutagenicity assay and in HCT116 human colon cancer cells. *Biofactors* 26(4):231-244.

Laborde, C. J. A. y C. O. Pozo. 1984. Presente y pasado del chile en México. Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos. Instituto nacional de investigación agrícola. INIA. Folleto. 80 p.

Lampe, J. W. 2003. Isoflavonoid and Lignan Phytoestrogens as Dietary Biomarkers. *Journal of Nutrition* 133: 956S - 964S.

Lana, M. M., L. M. M. Tijskens, 2006. Effects of cutting and maturity on antioxidant activity of fresh-cut tomatoes, *Food Chemistry* 97:203-211.

Lee, S. K. and Kader A. A. (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20 (3): 207–20.

Lesur, L. 2006. Manual del cultivo del chile: una guía paso a paso. Mexico: Trillas. 80 p.

Macready, A.L., O. B. Kennedy, J. A. Ellis, C. M. Williams, J. P. Spencer and L. T. Butler. 2009. Flavonoids and cognitive function: a review of human randomized controlled trial studies and recommendations for future studies. *Genes and Nutrition* 4(4): 227-242.

Marín, A., F. Ferreres, F. A. Tomás-Barberán and M. I. Gil. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 3861 - 3869.

Martínez, S. M., M. López, A. González-Raurichand and Bernardo. 2005. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56: 45-51.

Materska, M. y I. Perucka. 2005. Antioxidant Activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 1750 - 1756.

Meckelmann, S. W., D. W. Riegel, M. V. Zonneveld, L. Ríos, K. E. Peña, M. Petz. 2015. Capsaicinoids, flavonoids, tocopherols, antioxidant capacity and color attributes in 23 native Peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.) grown in three different locations, *European Food Research and Technology* 240:273–283.

Matsufuji, H., K. Ishikawa, O. Nunomura, M. Chino and M. Takeda. 2007. Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Food Science and Technology 42:1482–1488.

Millán, E., L. Restrepo, y C. Narváez. 2007. Efecto del escaldado, de la velocidad de congelación y de descongelación sobre la calidad de la pulpa congelada de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught)". Agronomy Colombiana 25 (2): 333-338.

Moreira, A. V. B. y J. Mancini-Filho. 2003. Atividade antioxidante das especiarias mostarda, canela erva doce em sistemas aquoso e lipídico. Nutrire 24.

Montoya, B.H., V. Lemesko, J. B. López, A. Pareja, R. Urrego y R. Torres. 2003. Actividad antioxidativa de algunos extractos vegetales. Vitae 10 (2): 72-79.

Moyer, R. A., K.E. Hummer, C.E. Finn, B. Frei and R. E. Wrolstand. 2002. Anthocyanins, phenolics, and Antioxidants capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 519-525.

Nijveldt, R. J., E. Van Nood, D. E. Van Hoorn, P. G. Boelens, K. Van Norr and P. A. Van Leeuwen. 2001. Flavanoids: areview of probable mechanics of action potencial applications. Am. Journal Clinical Nutrition 74(4): 418 – 425.

Nuez-Viñals, F., R. Gil - Ortega y J. Costa - García. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 607 p.

Oboh, G. 2005. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie* 38 (5): 513–517.

Oboh, G. 2006. Nutritive value, antioxidant and antimicrobial properties of *Struchium sparganophora* leaves. *Journal of Medicinal Food* 9(2): 276–280.

Ochoa-Alejo, N. y R. Ramírez-Malagón. 2001. *In vitro* chili pepper biotechnology. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 37:701-729.

Özden, C. and L. Bayindirli. 2002. Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *European Food Research and Technology* 214: 320-326.

Parris, M. 1996. Liquid chromatographic method for determining capsaicinoids in *Capsicum* and their extractives. Collaborative study. *J. AOAC-ASTA int* 79 (3): 738.

Pastrana, D., M. R., A. A. Gardea, E. M. Yahia, M. A. Martínez-Téllez y G. A. González-Aguilar. 2013 Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of

papaya fruit Journal of Food Science and Technology DOI 10.1007/s13197-013-0942-x

Pathak, Y. 2010. Nutraceuticals: Definitions, Formulations, and Challenges *In: Handbook of Nutraceuticals volume 1*, Edited by Yashwant Pathak, Taylor and Francis Group, LLC. New York. 381 p.

Perera, C. O. and G. M. Yen. 2007. Functional properties of carotenoids in human health. *International Journal of Food Properties* 10(2): 201–230.

Pisoschi, A.M. and G. P. Negulescu. 2011. Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochemistry and Analytical Biochemistry* 1(1): 1-10.

Prior, R.L. y G. Cao. 1999. *In vivo* total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Radical Biology & Medicine* 27 (12): 1173-1181.

Player, M.E., H. J. Kim, H. O. Lee and D. B. Min. 2006. Stability of α -, γ -, o δ -Tocoferol during Soybean Oil Oxidation. *Journal of Food Science* 71:8

Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxadant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine* 26 (9 /10): 1231-1237.

Rosa, A., M. Deiana, V. Casu, S. Paccagnini, G. Appendino, M. Ballero and M. A. Dessí. 2002. "Antioxidant activity of capsinoids". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (25): 7396-7401.

Ross, J. A. and C. M. Kasum. 2002. Dietary flavonoids: Bioavailability, metallic effects, and safety. *Annual review of nutrition* 22: 19-34.

Ross, A. C. and E. H. Harrison. 2007. Vitamina A: Nutritional Aspects of Retinoids and Carotenoids *In: Handbook of vitamins*. Fourth edition, edited by Rucker R., Suttie J., McComirck D. y Zempleni J., by Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton London New York. 593 p.

Rechkemmer, G. 2001. Funktionelle Lebensmittel-Zukunft de Ernährung oder Marketing-Strategie. *Forschungsreport Sonderheft* 1:12–15.

Reddivari, L., A. L. Hale and Jr. J. C. Miller. 2007. Genotype, location, and year influence antioxidant activity, carotenoid content, phenolic content, and composition in specialty potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(20):8073-8079.

Reyes, L. F., J. E. Villaral y L. Cisneros–Zaballos. 2007. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit of vegetable tissue, *Food Chemistry* 101:1254-1262.

Rose, P., Q. Huang, C. N. Ong, and M. Whiteman. 2005. Broccoli and watercress suppress matrix metalloproteinase-9 activity and invasiveness of human MDAMB-231 breast cancer cells. *Toxicology and Applied Pharmacology* 209(2):105-113.

Sacchetti, G., E. Cocci, G. Pinnavaia, D. Mastrocola and M.D. Rosa. 2008. Influence of processing and storage on the antioxidant activity of apple derivatives. *International Journal of Food Science & Technology* 43(5):797–804.

Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. *Biología Scripta* 1: 7-14.

Saltveit, M. E. 2010. Synthesis and Metabolism of Phenolic Compounds *In: Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value, and Stability*. L. A. Rosa, E. Alvarez-Parrilla and G. A. González-Aguilar. Blackwell Publishing. pp. 89-99.

Sayago, A., M. I. Marín, R. Aparicio y M. T. Morales. 2007. Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y aceites* 58 (1):74-86.

Segura, C. M. R., G.K. Karen Ramírez, O. Y. Yolanda Moguel and D. A. Betancur. 2013. Polyphenols, Ascorbic Acid and Carotenoids Contents and Antioxidant Properties of Habanero Pepper (*Capsicum chinense*) Fruit. *Food and Nutrition Sciences* 4: 47-54.

SIAP. 2013. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. En línea. <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: Octubre de 2013.

Smiechowska, A., A. Bartoszek and J. Namiesnik. 2008. Cancer chemopreventive agents: glucosinolates and their decomposition products in white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). Postepy Hig Med Dosw 62:125-140.

Sun, T. and S. A. Tanumihardjo. 2007. An Integrated Approach to Evaluate Food Antioxidant Capacity. Journal of Food Science 72:159 – 165.

Sun, T., Z. Xu, C. T. Wu, M. James, W. Prinyawiwatkui and H. K. No. 2007. Antioxidant activities of different colored sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food Science 72 (2): S98 - S102.

Sutoh, K., K. Kobata, S. Yazawa and T. Watanabe. 2006. Capsaicinoid is biosynthesized from phenylalanine and valine in a non-pungent pepper, *Capsicum annuum* L. cv. CH-19 sweet. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 70:1513-1516.

Suzuki, T., T. Kawada and K. Iwai. 1981. Biosynthesis of acyl moieties of capsaicin and its analogues from valine and leucine in *Capsicum* fruits. Plant Cell Physiol 22 (1): 23-32.

Topuz, A., C. Dincer, Ö. K. Kubra Sultan, H. Feng and M. Kushad. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoides of paprika (Cv., Jalapeno). *Food Chemistry* 129: 860–865.

Traver, M. G. 2007. Vitamin E. *In: Handbook of vitamins* edited by Rucker R., Suttie J., McCormick D. y Machlin L. Taylor & Francis Group, LLC. New York. 593.

Tucker, G.A. 1993. Introduction, pp. 1-55 *In: Biochemistry of Fruit Ripening*. Seymour, G. B., Taylor, and Tucker, G. A. (eds.) Ed. Chapman & Hall. London. UK. 454 p.

Velíšek, J., J. Davidek and K. Cejpek. 2008. Biosynthesis of Food Constituents: Natural Pigments Part 2 – a Review. *Czech Journal of Food Sciences* 26(2):73-98.

Van den Berg, H., R. Faulks, H. Fernando-Granado, J. Hirschberg, B. Olmedilla, G. Sandmann, S. Southon and W. Stahl. 2000. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 880-912.

Van Poppel, G. and H. Van den Berg. 1997. Vitamins and cancer, *Cancer Lett* 114: 195–202.

Vázquez, G. E., M. M. Ramírez, M. H. Vázquez, A. R. Flores, A. T. Irán. 2010. Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4):79-82.

Vázquez-Caicedo, A. L, P. Sruamsiri, R. Carle and S. Neidhart. 2005. Accumulation of all-trans- β -carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:4827–4835.

Vázquez-Flota, F., M. del L. Miranda-Ham, M. Monforte-González, G. Gutiérrez-Carbajal, C. Velázquez-García, Y. Nieto-Pelayo. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (4): 353 -360.

Viña, S. Z., A. R. Chaves, 2007. Respiratory activity and phenolic compounds in pre-cut celery, *Food Chemistry* 100: 1654-1660.

Waizel-Bucay, J. y R. Camacho M. 2011. El género *Capsicum* spp. (“chile”). Una versión panorámica. *Aleph Zero* 16 (60): 60-67.

Yanishlieva-Maslarova, 2001. Inhibiting oxidation *In: Antioxidants in food, Practical applications*. Pokorny, J.; Yanishlieva, N.; Gordon, M. Woodhead Publishing in Food Science and Technology Ltd. 388 p.

Zegbe, D. J. A., C. R. D. Valdez y H. A. Lara. 2012. Cultivo de chile en México. Tendencias de producción y problemas fitosanitarios actuales. Primera edición. Editorial Universidad Autónoma de Zacatecas. 183 p.

Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. Euphytica 111: 185-190.

8. ANEXOS

Cromatogramas representativos de β -caroteno

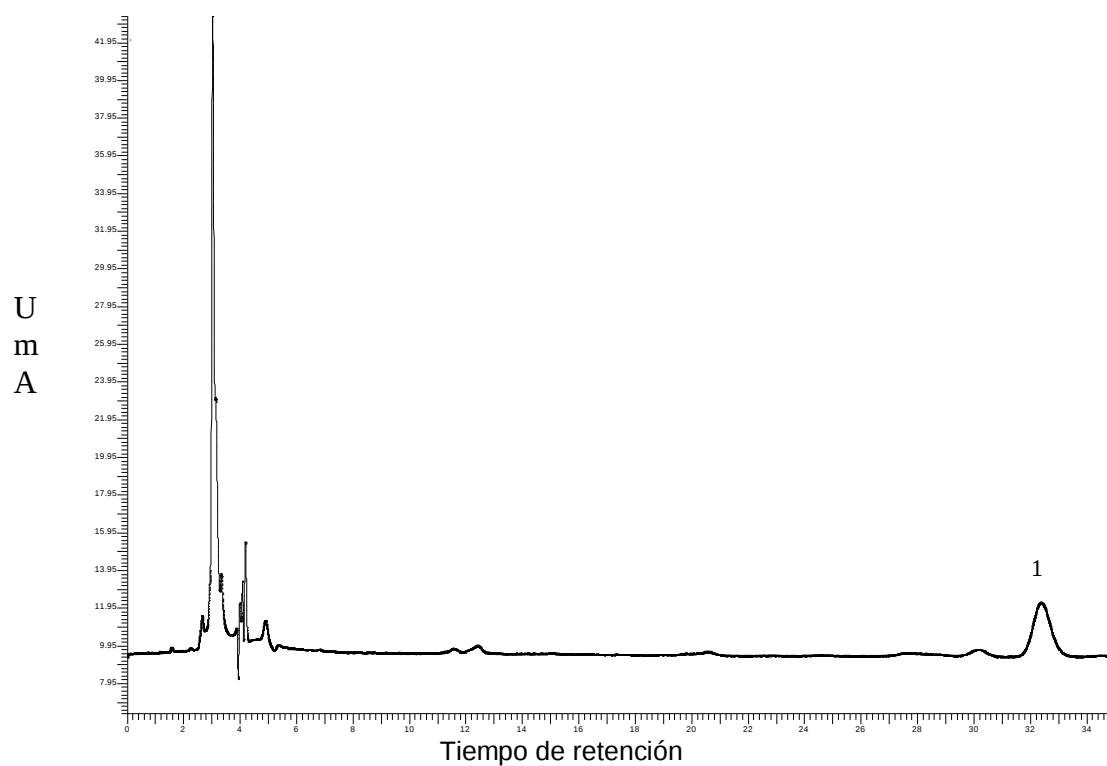


Figura 5. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile jalapeño (1) β -caroteno. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 470 nm de absorbancia.

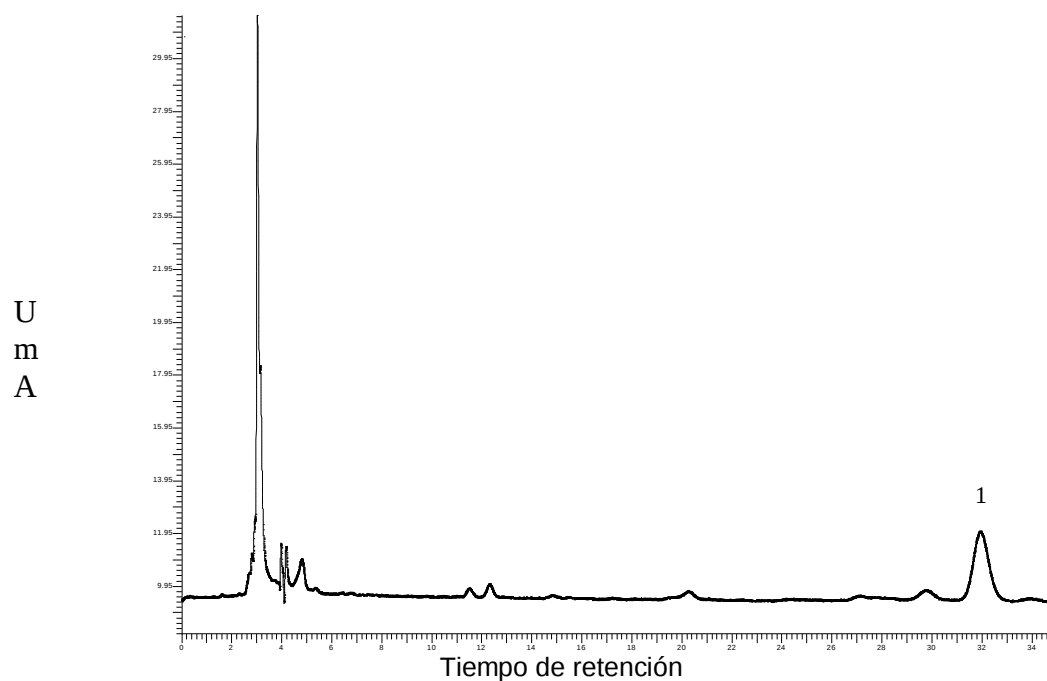


Figura 6. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile serrano (1) β -caroteno. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 470 nm de absorbancia.

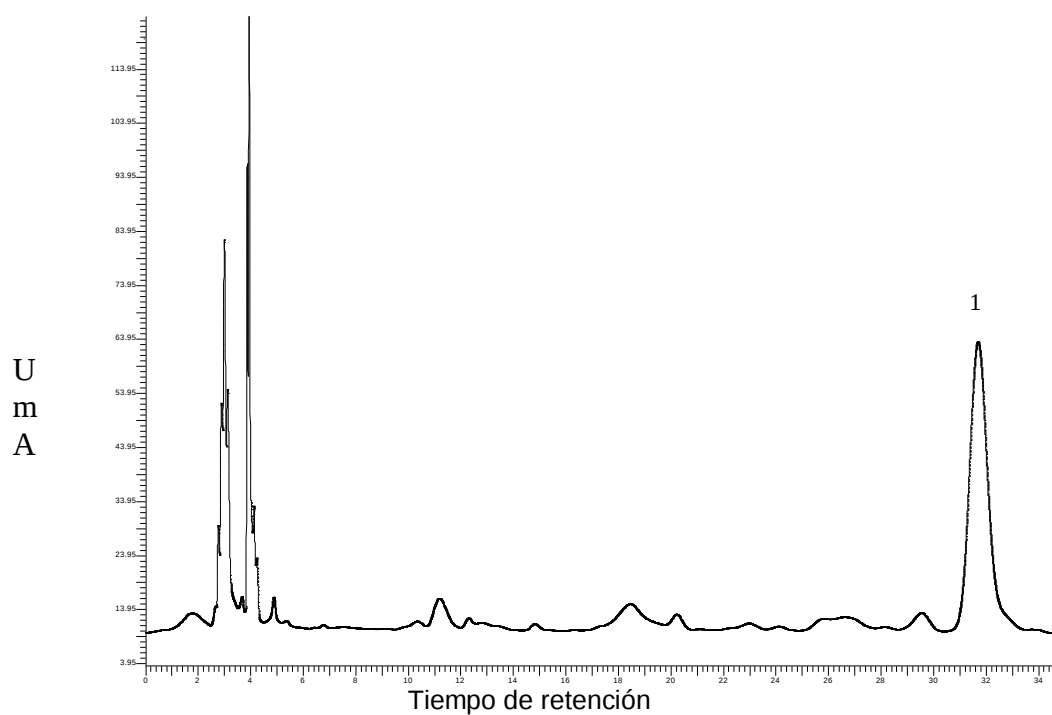


Figura 7. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile habanero criollo (1) β -caroteno. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 470 nm de absorbancia.

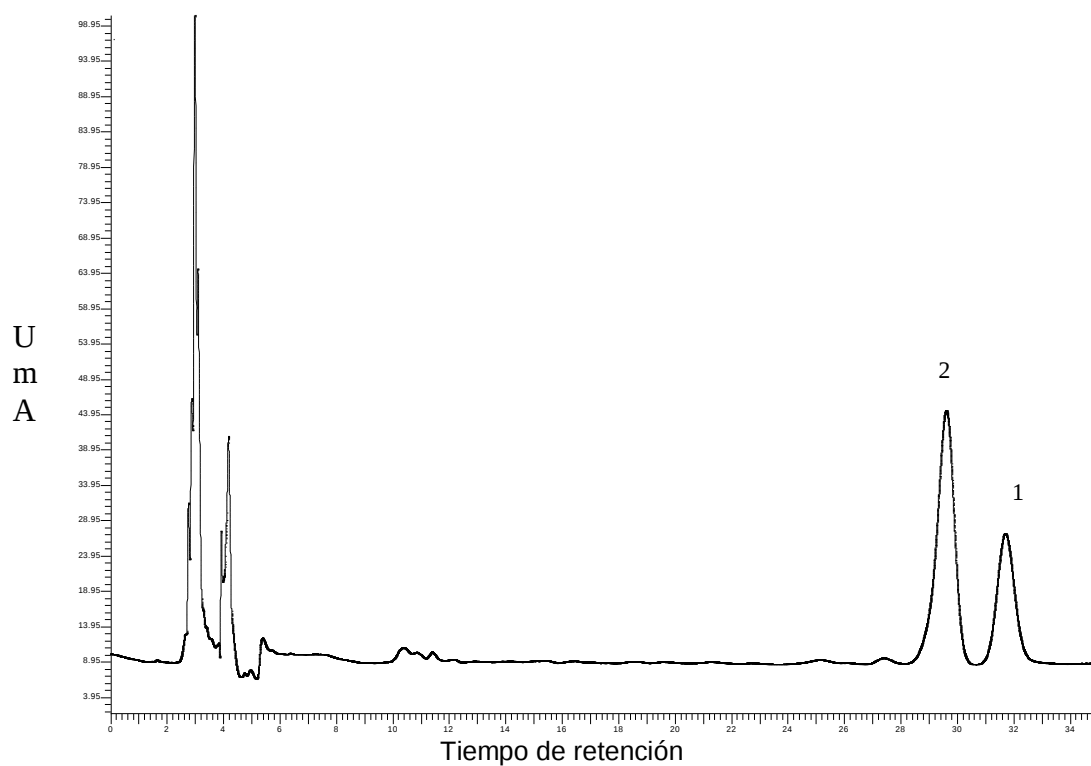


Figura 8. Cromatograma representativo de identificación de β -caroteno en pericarpio de chile habanero mejorado (1) β -caroteno, (2) n. i.= no identificado. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 470 nm de absorbancia.

Cromatogramas de Tocoferoles

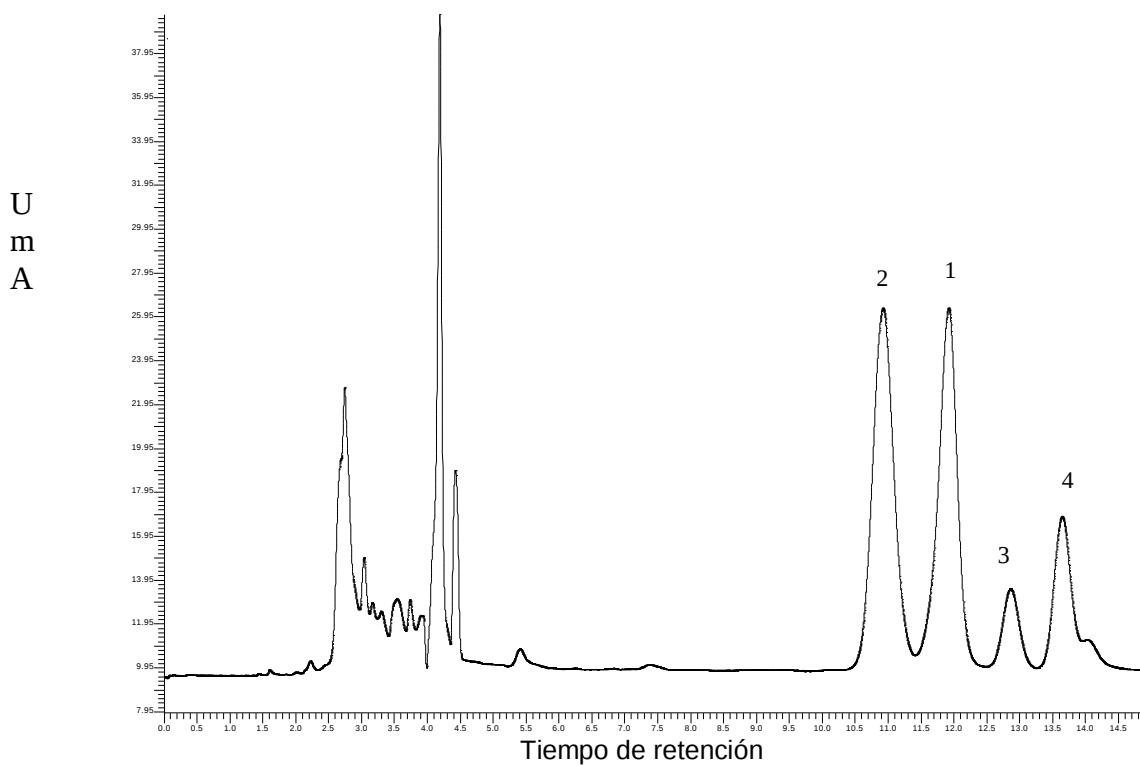


Figura 9. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile jalapeño (1) α -Tocoferol, (2) γ -tocoferol (3 y 4) n. i.= no identificado. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 292 nm de absorbancia.

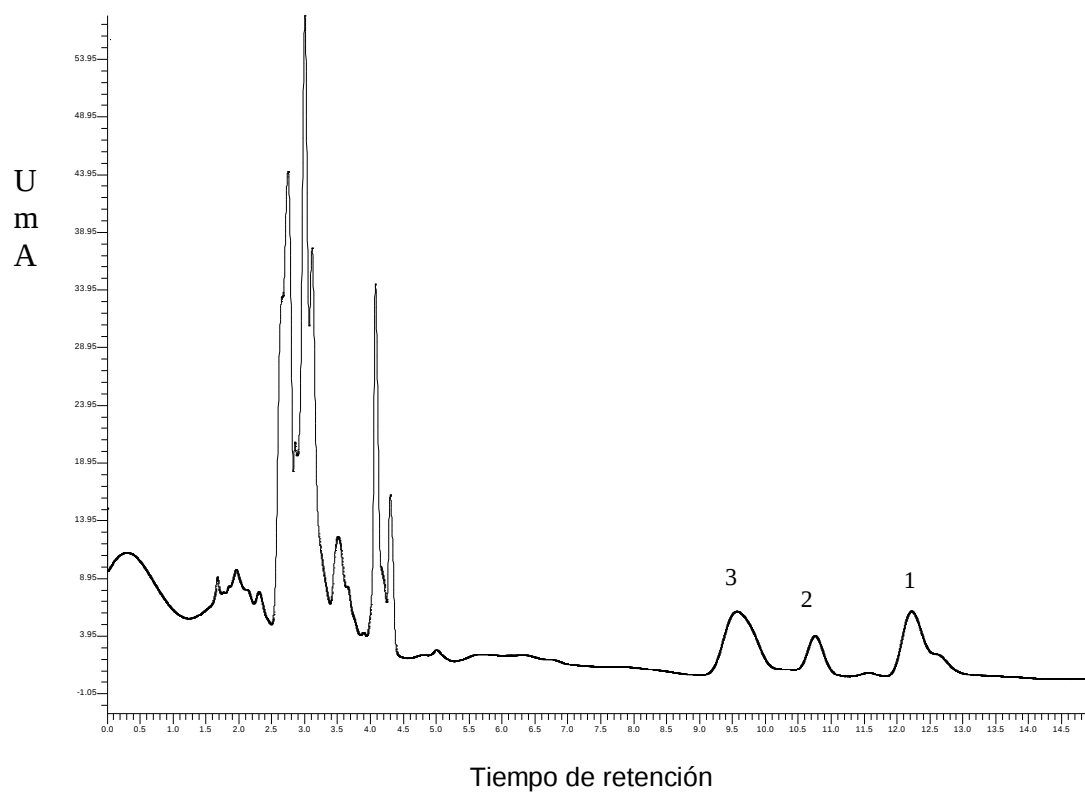


Figura 10. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile serrano (1) α -Tocoferol, (2) γ -tocoferol (3) δ -Tocoferol. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 292 nm de absorbancia.

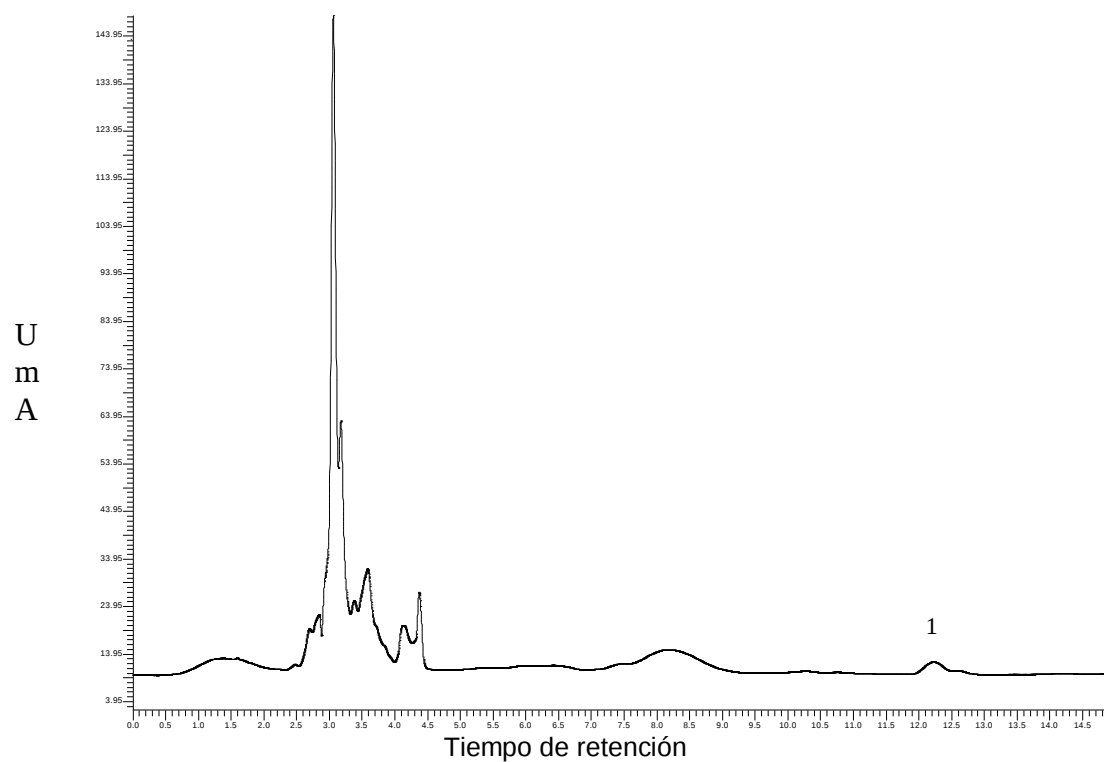


Figura 11. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile habanero criollo (1) α -Tocoferol. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 292 nm de absorbancia.

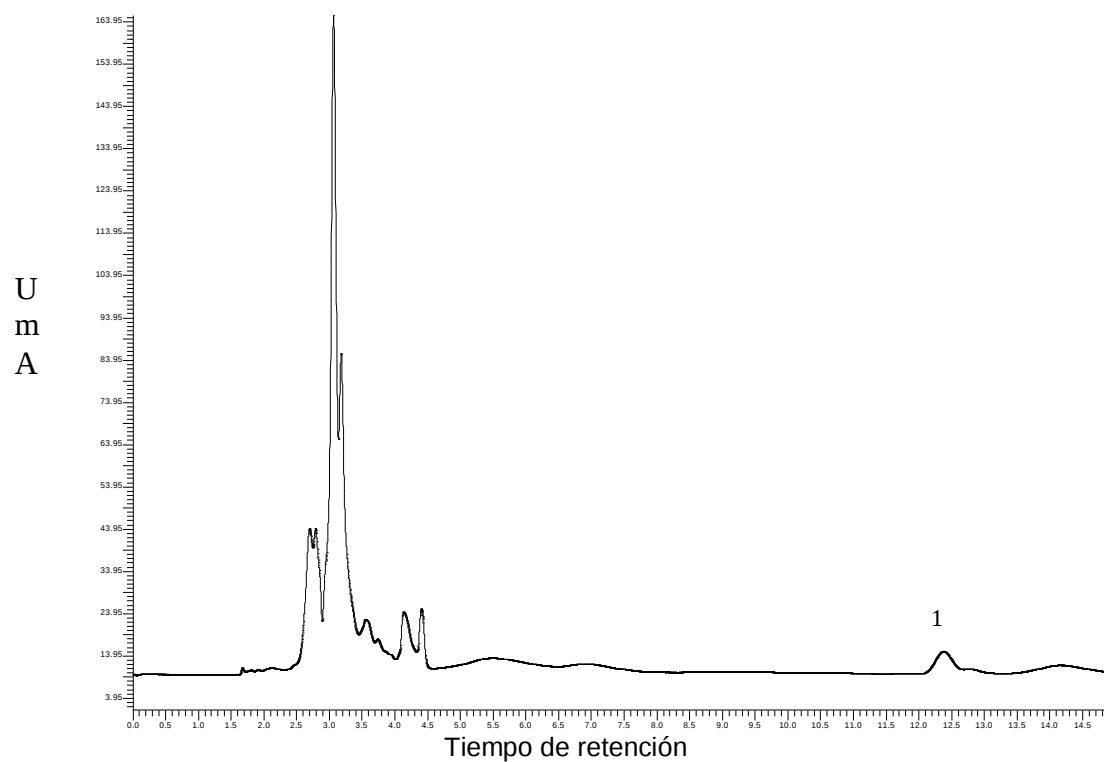


Figura 12. Cromatograma representativo de identificación de tocoferoles en pericarpio de chile habanero criollo (1) α -Tocoferol. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. 292 nm de absorbancia.

Capsaicinoides (Capsaicina y dihidrocapsaicina)

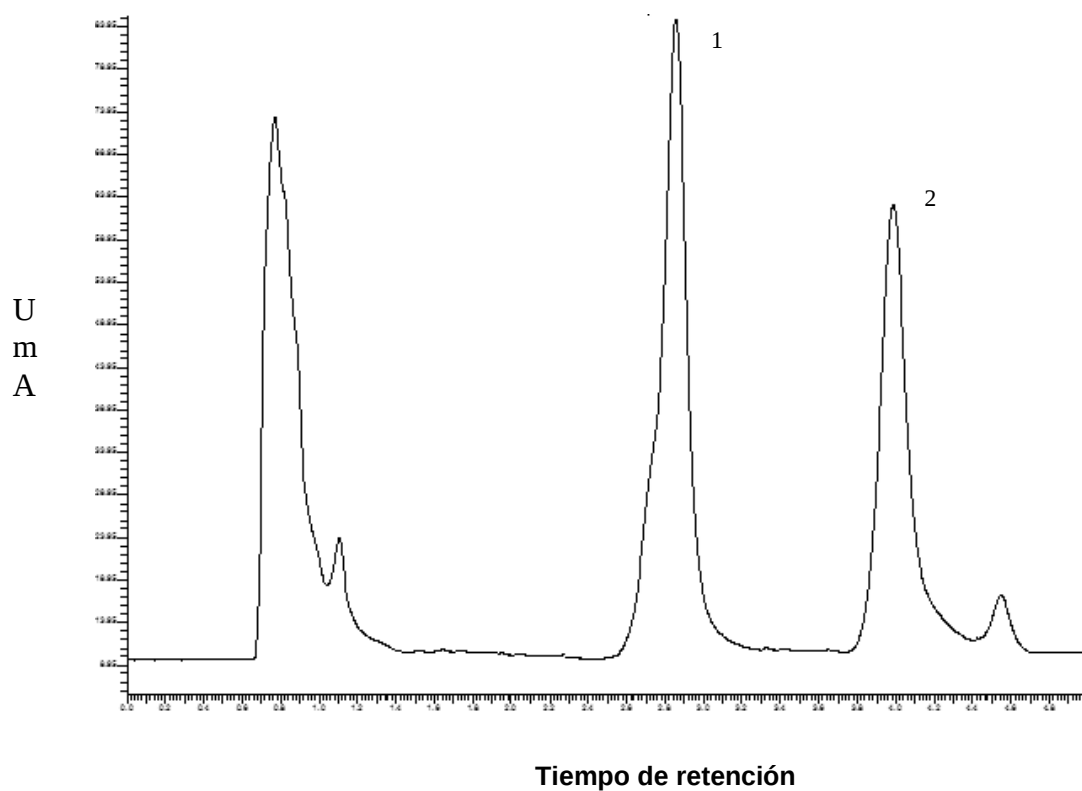


Figura 13. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de jalapeño (1) capsaicina, (2) Dihidrocapsaicina. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1.7 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. 280 nm de absorbancia.

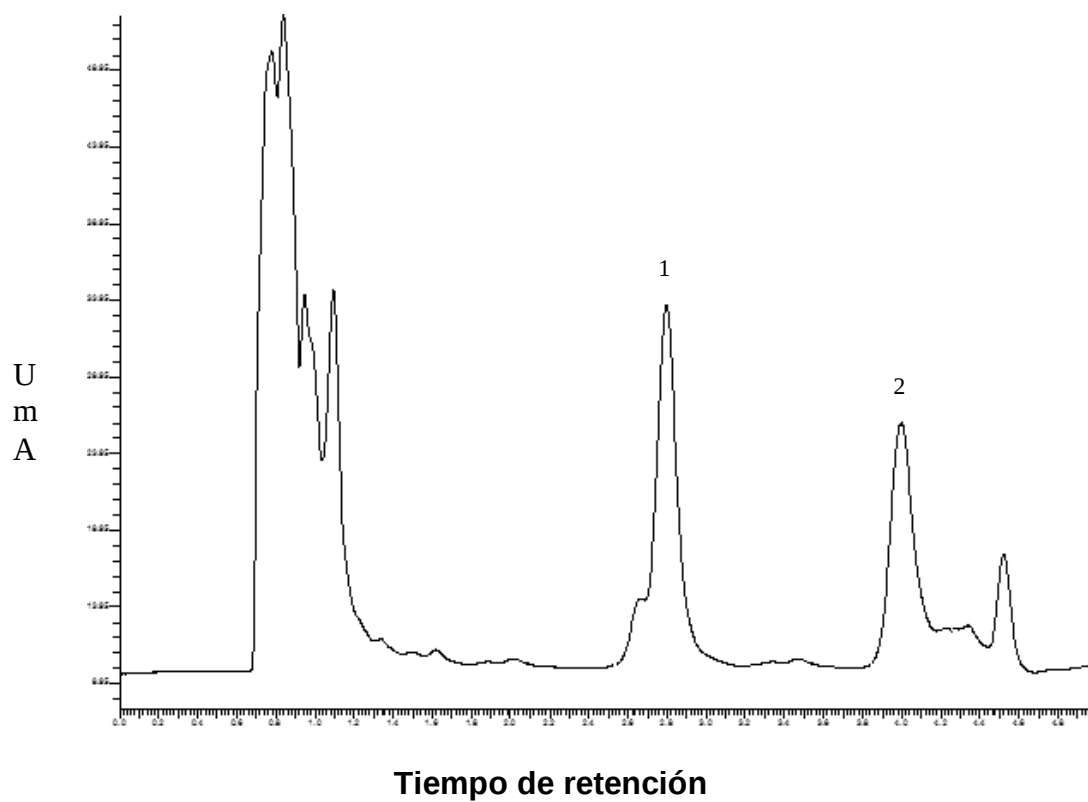


Figura 14. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de serrano (1) capsaicina, (2) Dihidrocapsaicina. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1.7 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. 280 nm de absorbancia.

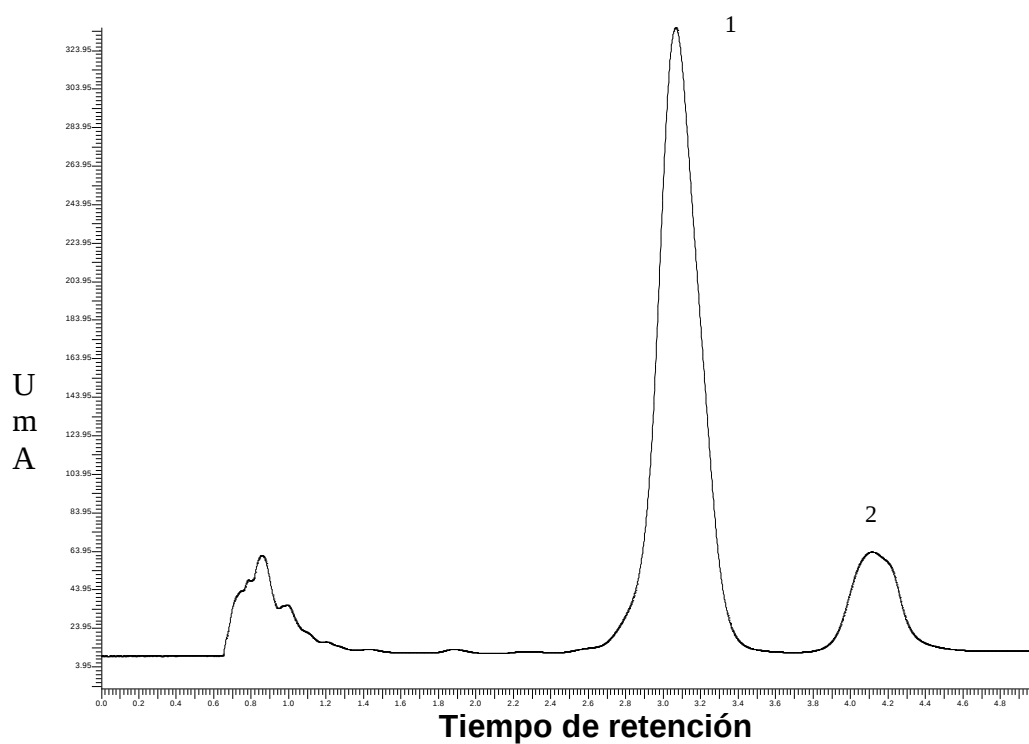


Figura 15. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de chile habanero criollo (1) capsaicina, (2) Dihidrocapsaicina. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo $1.7 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. 280 nm de absorbancia.

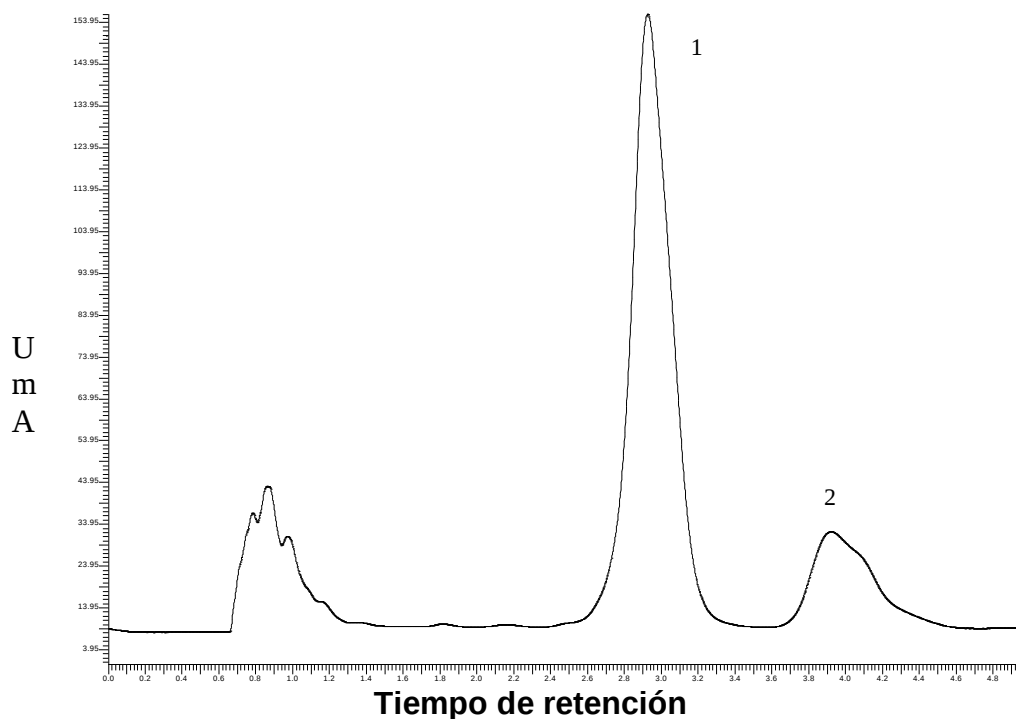


Figura 16. Cromatograma representativo de identificación de capsaicinoides en el pericarpio de chile habanero mejorado (1) Capsaicina, (2) Dihidrocapsaicina. Columna C18 OD. Fase reversa. Flujo 1.7 mL·min⁻¹. 280 nm de absorbancia.

9. ANEXO 2

Cuadro 27. Análisis de varianza para la pérdida de peso de los cuatro tipos de chile frescos.

FV	GL	Cuadrados Medios			
		JALAPEÑO	SERRANO	CHIC	BALAM
TEM	1	484**	1026**	436**	595**
PER	1	304**	221**	91**	214**
TEMxPER	1	31**	5.55	0.584	0.51
ERROR	15	1.37	3.6	1.83	0.43
TOTAL	23				
MEDIA		15.34	12.05	9.55	9.23
CV (%)		7.62	15.74	14.18	6.62

*,** Altamente significativo ($\alpha=0.05$); TEM=Temperatura, PER= periodo; TEMxPER= Temperatura por periodo, GL=Grados de libertad. Cv=coeficiente de variación.

Cuadro 28. Efecto global del factor temperatura de almacenamiento (8 ó 20 °C) en la pérdida de peso de cuatro tipos de chile.

Temperatura de almacenamiento (°C)	JALAPEÑO (% PP)	SERRANO (% PP)	CHIC (% PP)	BALAM (% PP)
8	10.85b*	5.5b	5.28b	4.94b
20	19.83a	18.59a	13.81a	14.90a
DMSH	1.01	1.65	1.17	0.57

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). % PP= pérdida de peso.

Cuadro 29. Efecto global del factor periodo de almacenamiento (8 ó 20 °C) en la pérdida de peso de cuatro tipos de chile.

Periodo de Almacenamiento (Días)	JALAPEÑO (% PP)	SERRANO (% PP)	CHIC (% PP)	BALAM (% PP)
6	11.78b*	9.01b	7.60a	6.93a
18	18.90a	15.08a	11.5a	12.91b
DMSH	1.01	1.65	1.17	0.57

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). % PP= Pérdida de peso.

Cuadro 30. Porcentaje de pérdida de peso de cuatro tipos de chile frescos almacenados durante 6 ó 18 d a 8 ó 20 °C.

TEMPERATURA °C	PERIODO días	JALAPEÑO (% PP)	SERRANO (% PP)	CHIC (% PP)	BALAM (% PP)
8	6	8.43c*	2.96d	3.17d	1.80d
8	18	13.26b	8.06c	7.39c	8.08c
20	6	15.12b	15.07b	12.02b	12.05b
20	18	24.54a	22.11a	15.61a	17.74a
DMSH		1.94	3.15	2.25	1.09

*Medias con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$). % PP= Pérdida de peso.

