

Imágenes de: Yolanda del Rocío Moreno Ramírez

Enriquecimiento del aceite comestible por compuestos fenólicos y antioxidantes de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*)

Enrichment of edible oil by phenolic and antioxidant compounds of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*)

Karla Mariby Treto-Alemán¹, Jorge Ariel Torres-Castillo², Aremi Rebeca Contreras-Toledo³, Yolanda del Rocío Moreno-Ramírez^{2*}

RESUMEN

Capsicum annuum var. *glabriusculum* presenta adaptaciones locales a distintas dinámicas antropocéntricas y ecológicas, por lo que ampliar sus usos alimenticios a partir de su potencial antioxidante permitirá contribuir al conocimiento para fortalecer cadenas de valor, robustecer su aprovechamiento y el consumo de plantas comestibles silvestres locales. El objetivo de este trabajo fue suplementar con chile piquín un aceite comestible comercial de cártamo y evaluar su capacidad antioxidante, a través de la determinación del contenido de compuestos fenólicos y mediante ensayos de captación de radicales libres ABTS⁺ y DPPH[·], evaluados en: 1) la muestra de chile piquín a través de dos solventes de extracción y 2) en el aceite suplementado y sin suplementar a los 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d posteriores a la preparación (DPP). El chile piquín presentó altos valores antioxidantes, el análisis de varianza (ANOVA) indicó que el extracto acuoso superó al hidroalcohólico. El ANOVA factorial mostró diferencias significativas en los tres parámetros antioxidantes evaluados. Estas disimilitudes se asociaron a la suplementación, tiempo (DPP) y la combinación de la suplementación y DPP. La suplementación del aceite de cártamo con *C. annuum* var. *glabriusculum* enriqueció 66 % su valor antioxidante. La comparación de medias mostró diferencias significativas en la combinación de tratamientos y DPP. La combinación de aceite suplementado y los DPP presentó variabilidad en los datos de polifenoles totales y habilidad contra ABTS⁺. Se observó una relación inversa entre los DPP y compuestos fenólicos totales y capacidad contra ABTS⁺, contrario a la prueba para DPPH[·]. Los resultados obtenidos validan que la adición de chile piquín incrementa la biofuncionalidad del aceite de cártamo y puede ser alternativa de fuente de antioxidantes naturales.

PALABRAS CLAVE: chile piquín, planta comestible silvestre, aceite suplementado, antioxidante.

ABSTRACT

Capsicum annuum var. *glabriusculum* presents local adaptations to different anthropocentric and ecological dynamics. Therefore, expanding its food uses based on its antioxidant potential will contribute to knowledge about ways to strengthen value chains, enhance their use and encourage the consumption of local wild edible plants. The aim of this work was to evaluate the antioxidant capacity of commercial edible safflower oil supplemented with piquín chili by determining the content of phenolic compounds and by assays of free radical scavenging in ABTS⁺ and DPPH[·]. The evaluation included: 1) the piquín chili sample through two extraction solvents and 2) the supplemented and unsupplemented oil at 0 d, 7 d, 14 d, 21 d and 28 d after preparation (DPP). The piquín chili presented high antioxidant values. The analysis of variance (ANOVA) indicated that the aqueous extract surpassed the hydroalcoholic extract. The factorial ANOVA showed significant differences in the three antioxidant parameters evaluated. These dissimilarities were associated with supplementation, time (DPP) and the combination of supplementation and DPP. Safflower oil supplementation with *C. annuum* var. *glabriusculum* enriched 66 % more its antioxidant value. The comparison of means showed significant differences in the combination of treatments and DPP. The combination of supplemented oil and DPP showed variability in total polyphenol data and ability against ABTS⁺. An inverse relationship was observed between DPP and total phenolic compounds, and capacity against ABTS⁺, contrary to the test for DPPH[·]. The results obtained validate the argument that the addition of piquín chili increases the biofunctionality of safflower oil and can be an alternative source of natural antioxidants.

KEYWORDS: piquín chili, wild edible plant, supplemented oil, antioxidant.

*Correspondencia: yrmoreno@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 7 de septiembre de 2020/ Fecha de aceptación: 8 de enero de 2021/ Fecha de publicación: 30 de enero de 2021.

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo núm. 356, col. Libertad, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87019. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

INTRODUCCIÓN

El chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) es una especie silvestre comestible de gran importancia en México. Mantiene significativas interrelaciones biológicas, socio-culturales y económicas (Ovando-Martínez y col., 2018) y forma parte de dietas de diversos sistemas alimentarios locales, lo cual contribuye a la seguridad alimentaria nacional.

Las características organolépticas de *C. annuum* var. *glabriusculum* se derivan de su composición fitoquímica, la cual presenta cantidades considerables de capsaicinoides, compuestos fenólicos y alta capacidad antioxidante (Moreno-Ramírez y col., 2019). Además, el sabor y el elevado picor del fruto se consideran características que destacan como elementos apreciados en su consumo y preferencia (Moreno-Ramírez y col., 2018). La investigación del potencial fitoquímico y valor antioxidante de los parientes silvestres del género *Capsicum* es reducida, en contraste con los cultivares comerciales de *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense*, los cuales han sido ampliamente estudiados (Meckelmann y col., 2015; Kantar y col., 2016; Sosa-Moguel y col., 2017). La calidad y cantidad de flavonoides, carotenoides, compuestos fenólicos y capsaicinoides, entre otros, presentes en el fruto de *Capsicum*, son indicativos de su importancia como fitoquímicos bioactivos y el beneficio de su incorporación en la dieta humana (Olatunji y Afolayan, 2020). Los compuestos bioactivos de *Capsicum*, especialmente de tipo antioxidante, tienen la capacidad de prevenir el daño celular, cáncer, diabetes, trastornos cardiovasculares, Alzheimer y Parkinson (Imran y col., 2018), por lo que el perfil fitoquímico y propiedades de los compuestos derivados de los frutos de *Capsicum* se han aprovechado en la industria farmacéutica y alimentaria (Bogusz y col., 2018).

Los frutos inmaduros y maduros de chile piquín (de tonalidades verde y roja, respectivamente) se consumen en fresco y de forma directa. Los frutos rojos, además, se deshidratan y consumen en seco, lo que garantiza su con-

servación y uso como especia por un amplio espacio de tiempo. Por su parte, la industria alimentaria ha diversificado las formas de consumo a través del procesamiento de chile piquín en salsas, encurtidos y aceite suplementado, con alta aceptabilidad en el mercado (Coronado-García y col., 2013).

La demanda de alimentos de calidad, con beneficios a la salud e innovadores ha incrementado la venta de productos que contengan antioxidantes, principalmente de fuentes naturales (Fregapane y col., 2020). Además, se exige que dichos productos conserven las propiedades organolépticas propias de *Capsicum*, como en el caso de los aceites suplementados. Esto abre la oportunidad de utilizar los fitoquímicos y patrones organolépticos peculiares del chile piquín en la industria alimentaria y aprovechar las características biológicas y los beneficios potenciales para la salud asociados al consumo de chile (Sricharoen y col., 2017). Así, los sectores de alimentación, industria e innovación tecnológica han involucrado cada vez más las particularidades o patrones fitoquímicos de *Capsicum*.

La cantidad de aceites suplementados con chile disponibles en el mercado (por ejemplo, de marcas locales, como Piquines mexicano, e internacionales, como Ethnic Flavour & Food) ha evidenciado el aumento de elementos bioactivos por la adición de chile, no obstante, la exploración en cuanto a su actividad es escasa. Lo anterior se deriva de la concentración de la investigación en el mejoramiento de la técnica de preparación, evitar el daño por oxidación, así como reducir el periodo de elaboración (Caporaso y col., 2013). Ello permite considerar la exploración de la capacidad funcional del aceite suplementado y evaluar la ganancia antioxidante por la incorporación de chile piquín, además de analizar la prevalencia o disminución del valor antioxidante durante el procesamiento, ya que se ha documentado que algunos procesos de la industria alimentaria pueden afectar negativamente el potencial bioactivo de los derivados del chile (Rochín-Wong y col., 2013).

Las evidencias del potencial bioactivo de los productos desarrollados con chile piquín son escasas, lo que limita la generación de valor agregado de este recurso silvestre comestible. Por lo anterior, es necesario desarrollar alternativas de fuentes de bioactivos, así como fortalecer las formas de aprovechamiento y consumo como un alimento enriquecido con antioxidantes (Moreno-Ramírez y col., 2019). En este sentido, las propiedades funcionales del chile piquín podrían enriquecer al aceite comestible, considerando que de forma habitual, este último tiene un amplio consumo y una extensa cantidad de productos industriales alimenticios en torno a él (Yara-Varón y col., 2017).

El objetivo del presente estudio fue suplementar un aceite comestible con chile piquín y valorar el enriquecimiento de su incorporación a través de la cuantificación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los frutos de chile piquín fueron recolectados

de poblaciones silvestres en su hábitat natural. La georreferenciación correspondió a los 23°57'02" N, 97°54'46" W en Soto la Marina, Tamaulipas, México. Las características vegetativas y climáticas del área de estudio correspondieron a pastizal cultivado con clima semicálido subhúmedo ((A)C(w1)) (Vargas y col., 2007) ubicado a 50 msnm.

Recolección y preparación del material vegetal

Se recolectó una muestra compuesta de 1 000 frutos maduros con tonalidad naranja-rojiza cosechados de la quinta bifurcación en 100 plantas (Figura 1). Los frutos se mantuvieron en bolsas de papel durante el transporte. Se seleccionaron 500 frutos con base en la homología de color y madurez, sin daño mecánico o por insecto y/o patógeno. Para su preparación, los frutos se lavaron con agua y detergente líquido lavatrastes comercial, después se enjuagaron con agua destilada y se deshidrataron a 35 ± 2 °C en una estufa de aire forzado, por 96 h (Jeio Tech, Geumcheon-gu, Seoul, Korea). Posteriormente, la muestra deshidratada



■ Figura 1. Frutos de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

Figure 1. Piquín chili fruits (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

fue pulverizada en un molino para condimentos (Krubs®, modelo Gx410011, México). La muestra final de chile se almacenó en tubos de polipropileno de 50 mL estériles y cubiertos con aluminio a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

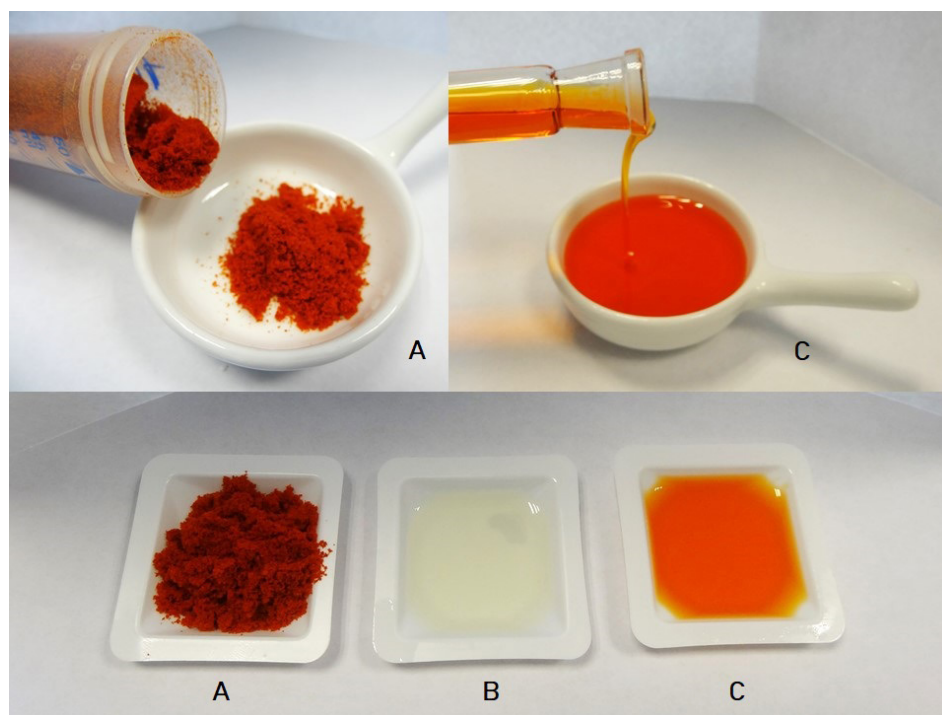
Preparación del extracto de chile piquín

Para conocer los valores de polifenoles y capacidad antioxidante de la muestra de chile piquín utilizada se realizó la extracción con dos solventes: agua y etanol (extracto acuoso e hidroalcohólico, respectivamente). Con base en la técnica propuesta por Torres-Castillo y col. (2013), se tomaron 0.5 g de chile pulverizado y se agregaron 3 mL de agua o etanol al 70 % (por separado). La mezcla se dejó reposar por 20 min a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (con agitación cada 5 min para su homogenización, empleando un agitador tipo Vortex (Vortex VX-200, Labnet International Inc., Estados Unidos de América). Posteriormente, la mezcla obtenida se centrifugó por 8 min a 10 000 revoluciones por minuto utilizando una centrifuga (Labnet Spectrafuge™ 6C

Compact Research Centrifuge, Labnet International Inc., Estados Unidos de América). Se recuperó el sobrenadante y se agregó acetona fría en proporción 1:3 seguido de centrifugación (8 min a 6 500 rpm). Se retiró el sobrenadante por decantación y se almacenó la pastilla a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

Preparación del aceite suplementado

Con base en resultados preliminares (datos no publicados), la suplementación del aceite comestible con chile piquín se elaboró a partir de la mezcla de 100 g de chile pulverizado en 0.5 L de aceite comestible de cártamo (Oleico®, México; composición: grasa monoinsaturada [Omega 9] 11 g, grasa polinsaturada 2 g, grasa saturada 1 g) (Figura 2). La mezcla se calentó a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 min con agitación continua, enseguida se filtró con papel Whatman de 150 mm. Una vez obtenido el aceite suplementado, se procedió a separar la preparación en alícuotas para identificar un cambio en el contenido de polifenoles y capacidad antioxi-



■ Figura 2. Muestra pulverizada de chile piquín (A), aceite comestible comercial sin suplementar (B) y aceite comestible comercial suplementado con chile piquín (C).

Figure 2. Pulverized sample of piquín chili (A), commercial unsupplemented edible oil (B) and commercial edible oil supplemented with piquín chili (C).

dante con base en los días posteriores a la preparación (DPP): 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d. En la evaluación se incluyeron alícuotas del aceite comestible bajo el mismo proceso, pero sin la incorporación de chile piquín como referente en cada lapso evaluado. Las alícuotas fueron mantenidas en condiciones controladas de oscuridad a 32 ± 2 °C. Una vez que se cumplió el periodo DPP establecido, se almacenaron a -20 °C hasta su extracción.

Preparación del extracto del aceite suplementado

La extracción en la fase oleosa se realizó siguiendo el método descrito por Seneviratne y col. (2009). Se tomaron 5 g de aceite y se agregó 1 mL de metanol al 80 %. Para la homogenización de la mezcla se usó el vórtex por 2 min; después de ello, la mezcla se centrifugó por 10 min a 10 000 rpm. La fase alcohólica (sobrenadante) se separó, acorde a Seneviratne y col. (2009).

Determinación de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Se utilizó el protocolo de Singleton y col. (1999) con algunas modificaciones. Se tomaron 12.5 μ L de cada extracto y se agregaron 237.5 μ L de agua. Después se adicionaron 125 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N). La mezcla se dejó incubar por 5 min. Transcurrido el tiempo, se agregaron 625 μ L de carbonato de sodio al 20 % y la reacción se dejó a 25 ± 2 °C por 2 h en oscuridad. Se registró la absorbancia de cada muestra en un espectrofotómetro (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China) a 750 nm. Se usó agua destilada como blanco. Para la cuantificación de compuestos fenólicos se elaboró una regresión lineal obtenida de la curva de calibración ($y = 0.37x - 0.0095$, $R^2 = 0.9961$) y las concentraciones de ácido gálico (estándar), seguido del valor de absorbancia de las muestras en la ecuación. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico/g de peso seco (PS).

Actividad antioxidante contra el radical DPPH

Esta determinación se llevó a cabo siguiendo el protocolo de Brand y col. (1995), donde 975 μ L de la solución metanólica del radical DPPH

(600 μ M) se mezclaron con 25 μ L de cada extracto. La reacción se dejó en oscuridad a 25 ± 2 °C durante 30 min y posteriormente se midió la absorbancia a 515 nm (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China). Para la cuantificación se empleó una curva estándar de Trolox ($y = -0.0005x + 0.6403$, $R^2 = 0.985$) en concentraciones de 0 μ M a 1 200 μ M. Los resultados se reportaron en mM de equivalentes Trolox (ET)/g.

Actividad antioxidante contra el radical ABTS+

Esta se determinó de acuerdo con Re y col. (1999), donde se empleó una solución madre a partir de la mezcla de ABTS+ (ácido 2,2-azino-bis (3 etil benzotiazoline)-6-ácido sulfónico) 7 mM y persulfato potásico 2.45 mM, incubada por 16 h a 25 ± 2 °C en oscuridad. Posteriormente la solución se ajustó a 0.7 de absorbancia a 732 nm (UV-6000, Metash instruments Co. Ltd., Shanghai, China). Una alícuota de 10 μ L de cada extracto se mezcló con 1 mL de solución de trabajo ABTS+ y se registró la absorbancia al inicio y final de la reacción (después de 6 min). La solución Trolox se utilizó para generar la curva de calibración ($y = -0.0003x + 0.715$, $R^2 = 0.9956$) para la estimación de la capacidad antioxidante. La captura de radicales libres se expresó en mM de equivalentes Trolox (ET)/g de PS. Todos los análisis antioxidantes se hicieron por triplicado.

Análisis estadístico

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, para obtener datos de contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de las extracciones hídricas e hidroalcohólicas del chile piquín, los cuales se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de una comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$). Para los parámetros antioxidantes en el aceite suplementado y sin suplementar evaluados a DPP se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2×5 . De manera consecuente se realizó una comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$). Además, se obtuvieron el coeficiente de correla-

ción entre los DPP y los parámetros antioxidantes, tanto en el aceite suplementado como sin suplementar. Todos los análisis estadísticos fueron elaborados con el Sistema de Análisis Estadísticos (SAS, por sus siglas en inglés: Statistical Analysis System) (SAS, 2011) versión 9.3.

RESULTADOS

Capacidad bioactiva de *C. annuum* var. *glabriusculum*

La muestra de chile piquín utilizada en la suplementación presentó importantes valores en los parámetros antioxidantes evaluados. El ANOVA mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) acorde al solvente utilizado en la extracción (Tabla 1). Para el contenido de fenoles totales y capacidad contra el radical DPPH· las

diferencias fueron significativas, en tanto que para la prueba contra ABTS+ estas disimilitudes fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Acorde con el ANOVA, se observaron diferencias a través de la comparación de medias. El extracto acuoso presentó los mayores valores en dos de los tres parámetros analizados (Tabla 2); para el contenido de fenoles totales se observó una relación de 1:0.7, siendo superior la cuantificación en el extracto acuoso con respecto al hidroalcohólico. De manera similar, el chile piquín presentó el mayor valor contra el radical ABTS+ en el extracto acuoso, con 210.9 mM, lo cual fue aproximadamente el 50 % con respecto al obtenido en el extracto hidroalcohólico. No obstante, las diferencias signifi-

■ **Tabla 1. Análisis de varianza de los parámetros antioxidantes evaluados en los extractos acuoso e hidroalcohólico de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).**

Table 1. Analysis of variance of the antioxidant parameters evaluated in the aqueous and hydroalcoholic extracts of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*).

Fuente de variación	GL	Compuestos fenólicos totales (mg EAG/g PS)	Capacidad contra DPPH· (mM ET/g PS)	Capacidad contra ABTS+ (mM ET/g PS)
Extracción	1	2 633.415*	4.335*	16 779.882**
Error experimental	4	264.08	0.403	43.37

GL = grados de libertad; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$); EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ **Tabla 2. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) en extracto acuoso e hidroalcohólico.**

Table 2. Quantification of total polyphenols and antioxidant capacity of piquín chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) in aqueous and hydroalcoholic extract.

Parámetros antioxidantes	Extracto acuoso	Extracto hidroalcohólico	DHS
Compuestos fenólicos totales (mg EAG/g PS)	179.788 ^a ± 0.126	137.874 ^b ± 0.192	36.839
Actividad antioxidante contra radical DPPH· (mM ET/g PS)	25.132 ^b ± 0.744	26.812 ^a ± 0.470	1.440
Actividad antioxidante contra radical ABTS+ (mM ET/g PS)	210.911 ^a ± 6.543	105.133 ^b ± 6.566	14.93

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). DHS = diferencia honesta significativa. EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Tabla 3. Significancia de los cuadrados medios del ANOVA factorial para los parámetros antioxidantes.

Table 3. Significance of square means of the factorial ANOVA for the antioxidant parameters.

Fuentes de variación	GL	CFT	DPPH·	ABTS+
Suplementación	1	29 697.61**	1 603.96**	305 666.51**
Días posteriores de preparación (DPP)	4	2 013.43**	0.52**	316.45**
Suplementación x DPP	4	1 693.01**	1.14**	247.02**
Error experimental	20	143.54	0.0056	44.78

GL = grados de libertad; * = significativo ($P \leq 0.05$); ** = altamente significativo ($P \leq 0.01$); CFT = compuestos fenólicos totales, mg EAG/g PS; DPPH· = capacidad contra DPPH·, mM ET/g PS; ABTS+ = capacidad contra DPPH·, mM ET/g PS.

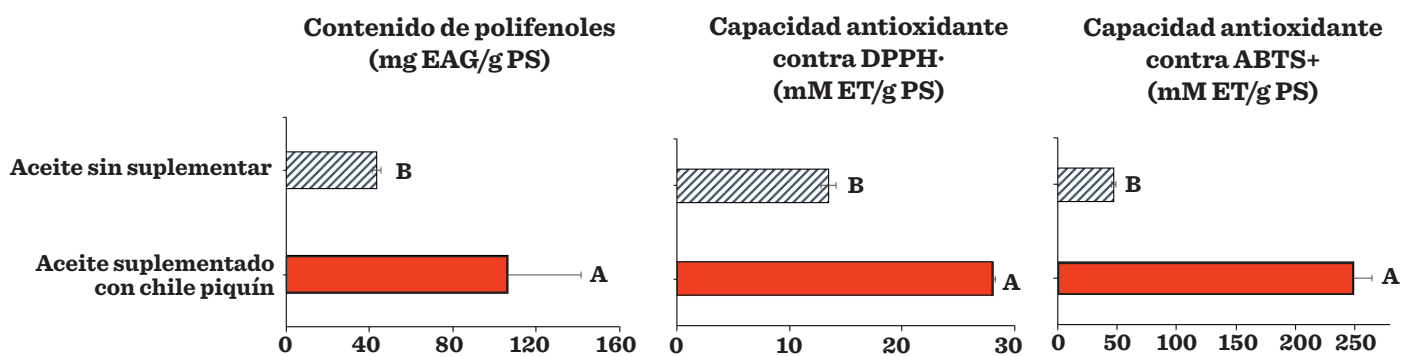
cativas ($P \leq 0.05$) entre ambos extractos, para la prueba contra el radical ABTS+, indicaron que el extracto hidroalcohólico superó al acuoso con 1.68 mM ET/g PS.

Capacidad bioactiva del aceite suplementado con chile piquín

Respecto a la suplementación del aceite comestible de cártamo, el ANOVA analizado mediante un arreglo factorial indicó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la suplementación, DPP y la combinación de suplementación y DPP a

través de los parámetros antioxidantes valorados (Tabla 3).

De manera general, la incorporación de chile piquín al aceite comestible incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad contra los radicales DPPH· y capacidad antirradical para ABTS+ en 58 %, 50 % y 81 %, respectivamente, en comparación con el aceite de cártamo sin el añadido de chile piquín (Figura 3); en promedio se adicionó 66 % del valor antioxidante al agregar chile piquín. Las



Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Figura 3. Comparación de medias para los parámetros antioxidantes analizados en aceite suplementado con chile piquín y aceite con base en sus promedios generales.

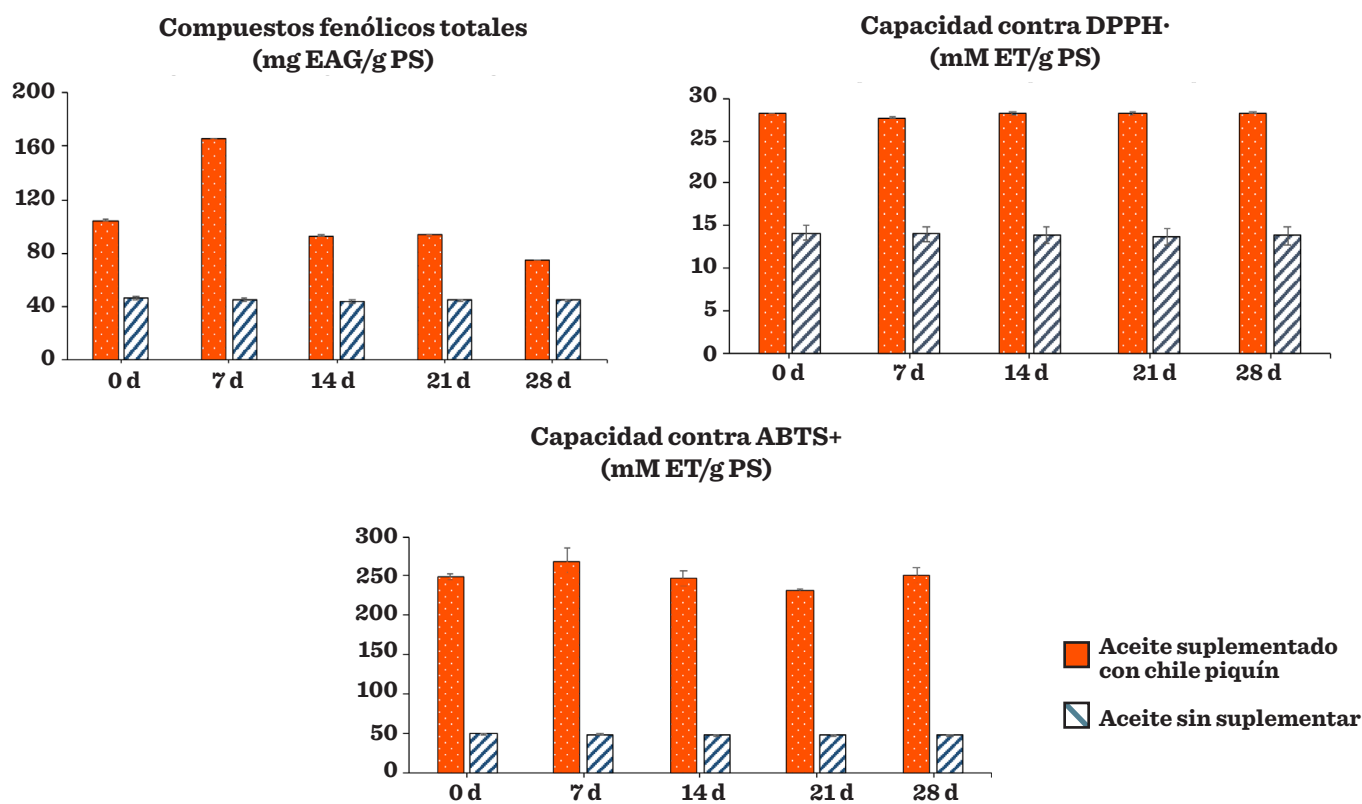
Figure 3. Comparison of means for the antioxidant parameters analyzed in oil supplemented with piquín chili and oil based on their general averages.

diferencias observadas fueron significativas ($P \leq 0.05$) y se reconocieron como ganancia de antioxidantes.

Variación de los parámetros antioxidantes días posteriores de la preparación (DPP)

Acorde con el ANOVA factorial, la comparación de medias ($P \leq 0.05$) mostró diferencias estadísticas significativas en la combinación de suplementación y DPP del aceite (Figura 4); los valores antioxidantes más altos correspondieron al aceite suplementado con chile piquín, sin embargo, se observó en este, variación importante en los datos de los parámetros evaluados a través de los DPP. A 7 DPP se cuantificó un incremento de 61.12 mg EAG/g PS en el contenido de compuestos fenólicos totales,

es decir, ~ 37 % más con respecto al valor inicial. Similar al comportamiento de la actividad antioxidante contra el radical ABTS⁺, no obstante, para este parámetro el incremento fue de ~ 7 %, equivalente a 20 mM ET/g PS de diferencia entre el valor inicial y 7 DPP. En tanto que a los 28 DPP, los polifenoles del aceite suplementado redujeron su valor 44.7 % con respecto al valor máximo obtenido (165.81 mg EAG/g PS), es decir, que se degradaron aprox. 92 mg EAG/g PS al final de la evaluación (28 DPP). La misma tendencia se observó en la actividad antioxidante contra el radical ABTS⁺, aunque en menor magnitud, reduciendo de 268.69 mM ET/g PS a 250.91 mM ET/g PS, lo que a través de la comparación de medias se equiparó al valor inicial y a los 14 DPP (Figura 4).



Valores representados por el promedio de tres réplicas \pm desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). 0 d, 7 d, 14 d, 21 d y 28 d = días posteriores a la preparación; EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes Trolox (estándar); PS = peso seco.

■ Figura 4. Comparación de medias para los parámetros antioxidantes analizados en aceite suplementado con chile piquín y aceite sin suplementar asociado a días después de la preparación.
Figure 4. Comparison of means for the antioxidant parameters analyzed in oil supplemented with piquín chili and unsupplemented oil associated with days after preparation.

De manera contraria a la cuantificación de fenoles totales y habilidad antioxidante contra ABTS+, la capacidad contra DPPH· no presentó un incremento a los 7 DPP, y sus valores fueron más constantes (de 28.12 mM ET/g PS a 28.28 mM ET/g PS), a excepción de la cuantificación obtenida a los 7 DPP, empero, la diferencia entre el valor mínimo obtenido (27.7 mM ET/g PS), hasta 28.28 mM ET/g PS a los 28 DPP correspondió a 2.1 % de incremento antioxidante.

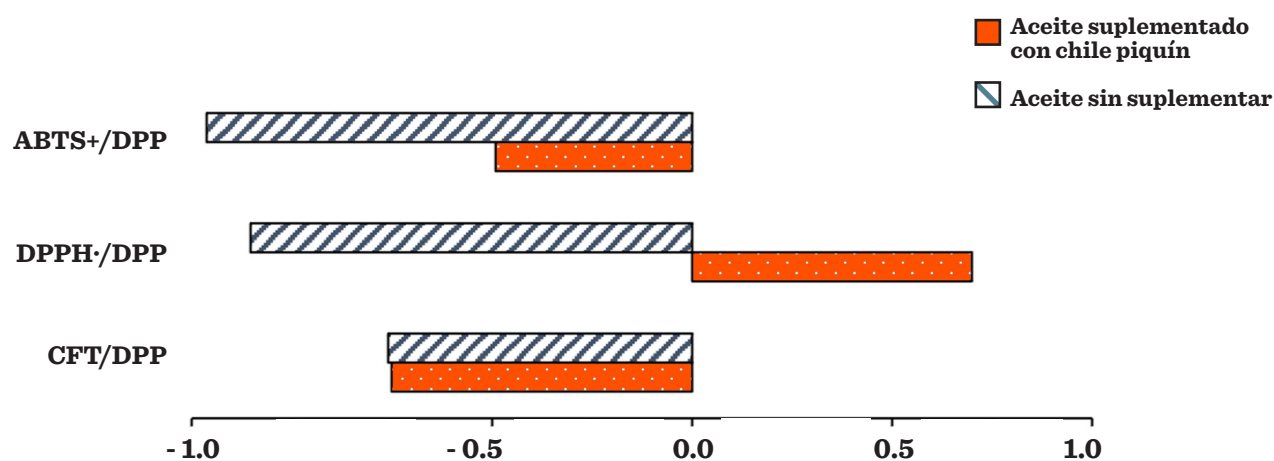
Los coeficientes de correlación indicaron relaciones inversas entre el contenido de fenoles totales y ABTS+ frente a DPPH·, los cuales fueron - 1.0, 0.72 y - 0.74 para CFT/DPPH·, CFT/ABTS+ y DPPH·/ABTS+, respectivamente. En el mismo contexto, la variación en contenido de fenoles totales y actividad contra el radical ABTS+ del aceite suplementado (Figura 4) mostró que estos dos parámetros fueron mayormente afectados por el factor tiempo, con respecto al aceite sin suplementar. En el mismo sentido, el coeficiente de correlación entre los días posteriores a la preparación y el contenido de polifenoles (Figura 5) fue de - 0.60 y para capacidad contra ABTS+ fue de - 0.3. Para los polifenoles totales esta correlación fue más intensa que la

habilidad antioxidante contra ABTS+. Mientras que el coeficiente de correlación entre tiempo y capacidad contra DPPH· fue positiva y alta (0.56). De acuerdo con lo anterior, a más tiempo posterior a la preparación mayor es el incremento antirradical. Para el aceite sin condimentar, los coeficientes de correlación entre los parámetros y los días después de la preparación fueron negativos y altos (- 0.61, - 0.88 y - 0.97).

DISCUSIÓN

La suplementación con *C. annuum* var. *glabriusculum* incrementó el valor antioxidante del aceite de cártamo en un 66 %, siendo el valor antioxidante un indicativo de las propiedades fitoquímicas de la población utilizada (Vazquez-Flores y col., 2020); la muestra de chile piquín enriqueció al aceite comestible con sus propiedades en la captación de radicales libres. Las evidencias presentadas en este estudio permiten sugerir que la suplementación del aceite de cártamo con chile piquín es una alternativa de fuente de antioxidantes naturales.

El aprovechamiento de un recurso silvestre comestible con importancia regional, como es el



■ Figura 5. Coeficiente de correlación entre CFT, capacidad contra radicales DPPH· y ABTS+, respectivamente, y días después de preparación (DPP) en aceite sin suplementar y aceite suplementado con chile piquín.

Figure 5. Correlation coefficient between CFT, capacity against DPPH· and ABTS+ radicals, respectively, and days after preparation (DPP) in unsupplemented oil and oil supplemented with piquín chili.

chile piquín, es capaz de impulsar la valorización de sus antioxidantes y sus derivados en la salud, además de fortalecer el conocimiento de la alimentación tradicional fuertemente activa en el área rural y cuya fuente proviene de la biodiversidad local (Tanús y col., 2019). Al respecto, Shelef y col. (2017) han propuesto invertir y realizar mayor exploración e investigación en plantas y cultivos locales, por su capacidad de diversificar la producción y mejorar la adaptación local a dinámicas antropocéntricas distintas, de tal manera que, conocer el potencial antioxidante del chile piquín y sus productos derivados puede promover la diversificación alimentaria y la resiliencia de la agrobiodiversidad, bajo esquemas de uso y aprovechamiento sostenible, principalmente por tratarse de una especie silvestre recolectada en la naturaleza. Blanco-Salas y col. (2019) han señalado que las plantas silvestres potencialmente utilizadas en la alimentación humana requieren de la valorización de usos alimenticios, a fin de preservar la agrobiodiversidad y generar sistemas productivos locales sostenibles.

En torno a la muestra de chile silvestre utilizada para la suplementación del aceite de cártamo y en particular a su relación con el valor antioxidante, cuya validación de su habilidad en la captura de radicales libres se evidenció a través de los datos obtenidos en los solventes agua y etanol al 70 %, permite indicar que el chile piquín nativo de Tamaulipas tiene potencial para generar cadenas de valor en torno a su aprovechamiento como antioxidante. Por otra parte, acorde con Moreno-Ramírez y col. (2018), la diferencia observada del valor antioxidante entre los solventes puede ser atribuida a la polaridad de sus metabolitos. La función biológica de los metabolitos secundarios de *Capsicum*, principalmente de CFT y capsaicinoides, ha otorgado a sus especies una interesante actividad antioxidante, particularmente en el fruto, lo cual beneficia a la salud humana (Olatunji y Afolayan, 2019). Por tanto, el contenido de CFT, determinado en extractos y aceite suplementado, indicó que el chile piquín es apto para conferir atributos biológicos ante el estrés oxidativo. Bajo este con-

texto, en el trabajo realizado por Oboh y Rocha (2007) se identificó un efecto protector contra la peroxidación lipídica en el cerebro y en el hígado, relacionada con el contenido de polifenoles de *C. annuum* var. *Glabriusculum*, de manera que los valores antioxidantes y contenidos de fenoles totales obtenidos, tanto en los extractos como en el aceite suplementado, podrían presentar ese beneficio promisorio. El valor bioactivo del aceite suplementado con chile piquín puede expandir las formas de uso e incidir en la salud.

Los resultados sugieren que los compuestos fenólicos obtenidos del chile piquín contribuyeron mayormente al valor antioxidante del aceite suplementado, acorde con Caporaso y col. (2013), quienes manifestaron que la incorporación de chile al aceite comestible reduce el estrés oxidativo, por la presencia abundante de estos metabolitos en el género, lo que destaca su papel en la alimentación frente al daño de los radicales libres y su beneficio asociado con un menor riesgo de enfermedades crónicas (Grosso, 2018). Si bien, la incorporación de *Capsicum* en la suplementación de aceites de oliva presenta valores mucho mayores, con respecto al obtenido, la adición de chile piquín permite utilizar y enriquecer aceites de origen vegetal que ya tienen valor antioxidante, pero además, son asequibles, como es el caso del aceite de cártamo. Por otra parte, el valor de los contenidos de CFT y capacidad antioxidante cuantificados en la muestra de chile piquín confirió valor antioxidante, con la posibilidad de que metabolitos liposolubles o lipofílicos, presentes en el chile piquín, pudieron conferir esta habilidad a través del aceite de cártamo, acorde a lo señalado por Frankel y col. (2013), donde compuestos fenólicos diferentes tienen la habilidad de prevenir la oxidación de un sustrato lipídico, lo que correspondió con la alta capacidad antioxidante del producto, además del efecto sinérgico con otros compuestos, como los capsaicinoides y carotenoides, tal como lo indican Zimmer y col. (2012), quienes señalaron que la propiedad antioxidante de *Capsicum* no es exclusiva del complejo fenoles, sino a la acción de va-

rios metabolitos a través de las distintas etapas fenológicas.

Los valores de capacidad antioxidante del aceite suplementado fueron similares a los obtenidos por Sousa y col. (2015), sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos fue menor al reportado por los mismos autores. Estas diferencias pueden ser derivadas del origen vegetal del aceite, la técnica de preparación, variedad de chile utilizado y/o al protocolo de cuantificación. La medición de antioxidantes presentes en la fase oleosa indicó variación días después de la preparación (DPP), siendo mayor para CFT y ABTS+, contrario a la actividad antioxidante en la capacidad contra DPPH·. Existe la posibilidad de que el aceite de cártamo permita continuar extrayendo metabolitos antioxidantes lipofílicos, lo que en este estudio se asoció a los incrementos observados tanto de CFT y ABTS+ a siete DPP. Bajo este esquema, el aceite utilizado es un solvente de fácil adquisición y considerado de alternativa “verde” (Chemat y col., 2019), principalmente por sus propiedades de menor impacto al ambiente, lo que posibilita, además, reproducir la metodología desarrollada. Por otra parte, Caporaso y col. (2013) han señalado que el tiempo de exposición al calor y las concentraciones afectan severamente las características fitoquímicas del aceite suplementado con chile. Por lo tanto, la variación observada en el presente estudio puede corresponder al efecto de la temperatura en la ruptura de estructuras de los compuestos fenólicos y a la polimerización del aceite, sin embargo, se requieren de estudios futuros que soporten esta idea.

En el aceite suplementado el valor de correlación entre tiempo posterior a la preparación (desde 0 d a 28 d) para compuestos fenólicos y capacidad antirradical de ABTS+ fue negativo, contrario a DPPH·. Los metabolitos del aceite de cártamo, junto con los CFT de chile piquín podrían haber contribuido en sinergia a la capacidad antirradical contra ABTS+, pero no para DPPH·, lo cual se asocia a la naturaleza de cierto tipo de CFT y otros metabolitos exis-

tentes, tanto en el chile piquín, como el aceite de cártamo utilizado.

Localmente, la preparación artesanal de aceite con chile piquín forma parte de los sistemas alimentarios regionales (Herrera-Aguilar y col., 2017), de manera que los resultados obtenidos permiten dar un marco general de la suplementación del aceite con un recurso silvestre comestible de importancia regional, además de proponer más estudios relacionados con la estabilidad oxidativa y parámetros cinéticos, principalmente para dar respuesta a la disminución del 50 % en CFT sin efecto sobre DPPH· y ABTS+, lo cual se relacionó a la diversidad en complejidad y acción de compuestos fenólicos presentes en el aceite suplementado, ya que, de manera general, disminuyeron en contenido pero no en su capacidad antirradical, por ello se sugiere robustecer la información obtenida, a través de la caracterización fitoquímica, así como de estudios más especializados y de proyectos de mayor financiamiento, además de evaluar la influencia del ambiente sobre el contenido y la expresión del patrón fitoquímico (y por tanto de la capacidad antioxidante) del chile piquín, considerando este último punto en su aprovechamiento sustentable. Sin duda, *C. annuum* var. *glabriusculum* requiere más estudios y trabajo integral, acerca de su papel bioactivo y nutrimental en dietas locales e innovación.

CONCLUSIONES

Los parámetros antioxidantes evaluados, a través de extractos acuosos e hidroalcohólicos, mostraron que el chile piquín presentó propiedades antioxidantes importantes. Los compuestos fenólicos totales y la habilidad contra el radical ABTS+ fueron más afectados por el tiempo posterior a la preparación, aunque en el segundo caso, en menor magnitud, además de ser menos constantes en relación con la capacidad contra DPPH·. La muestra de *C. annuum* var. *glabriusculum*, utilizada en la suplementación, incrementó los contenidos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante contra los radicales libres DPPH· y ABTS+

en el aceite comestible de cártamo utilizado. La suplementación del aceite de cártamo con *C. annuum* var. *glabriusculum* enriqueció 66 % su valor antioxidante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas por el financiamiento del proyecto: PFI2016-EB-07. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Posdoctorado del autor de correspondencia.

REFERENCIAS

- Bogusz, S., Libardi, S. H., Dias, F. F., Coutinho, J. P., Bóchi, V. C., Rodrigues, D., ..., and Godoy, H. U. (2018). Brazilian Capsicum peppers: capsaicinoids content and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98(1):217-224.
- Blanco-Salas, J., Gutiérrez-García, L., Labrador-Moreno, J., and Ruiz-Téllez, T. (2019). Wild plants potentially used in human food in the Protected Area "Sierra Grande de Hornachos" of Extremadura (Spain). *Sustainability*. 11(2): 456.
- Brand, W., Cuvelier, M., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittelwissenschaft*. 28(1):25-30.
- Caporaso, N., Paduano, A., Nicoletti, G., and Sacchi, R. (2013). Capsaicinoids, antioxidant activity, and volatile compounds in olive oil flavored with dried chili pepper (*Capsicum annuum*). *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115(12):1434-1442.
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Ravi, H. K., Khadhraoui, B., Hilali, S., Perino S., and Fabiano-Tixier, A. S. (2019). Review of alternative solvents for green extraction of food and natural products: Panorama, Principles, Applications and Prospects. *Molecules*. 24(16):3007.
- Coronado-García, M. A., Córdova-Yáñez, A., García-Porchas, M., Santiago-Hernández, V. G. y Vásquez-Navarro, R. Á. (2013). Estrategias de mercado para productos elaborados a base de chiltepín en la sierra de Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 32: 359-370.
- Frankel, E., Bakhouch, A., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., and Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Literature review on production process to obtain extra virgin olive oil enriched in bioactive compounds. Potential use of byproducts as alternative sources of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(22): 5179-5188.
- Fregapane, G., Guisantes-Batan, E., Ojeda-Amador, R. M., and Salvador, M. D. (2020). Development of functional edible oils enriched with pistachio and walnut phenolic extracts. *Food Chemistry*. 310:125917.
- Grosso, G. (2018). Effects of Polyphenol-Rich Foods on Human Health. *Nutrients*. 10: 1089.
- Herrera-Aguilar, A., Cervantez-Ortíz, F., Antuna-Grijalva, O., García-Rodríguez J. C., Rodríguez-Mercado, D., Rodríguez-Herrera, S. A., ... y Mendoza-Elos, M. (2017). Correlación de la germinación, aceite y proteína de la semilla de chile Piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 5(2): 21-30.
- Imran, M., Butt, M. S., and Suleria, H. A. R. (2018). Capsicum annum bioactive compounds: health promotion perspectives. *Bioactive Molecules in Food*. Cham: Springer. 1-22.
- Kantar, M. B., Anderson, J. E., Lucht, S. A., Mercer, K., Bernau, V., Case, K. A., ..., and Baumler, D. J. (2016). Vitamin variation in *Capsicum* spp. provides opportunities to improve nutritional value of human diets. *PLoS One*. 11(8): e0161464.
- Meckelmann, S. W., Riegel, D. W., van-Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., Mueller-Seitz, E., and Petz, M. (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(2): 273-283.
- Moreno-Ramírez, Y. d. R., Hernández-Bautista, A., López, P. A., Vanoye-Eligio, V., Torres-Rodríguez, M. L., and Torres-Castillo, J. A. (2019). Variability in the phytochemical contents and free radical-scavenging capacity of *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (wild piquin chili). *Chemistry & Biodiversity*. 16(10):e1900381.
- Moreno-Ramírez, Y. d. R., Martínez-Ávila, G. C., González-Hernández, V. A., Castro-López, C., and Torres-Castillo, J. A. (2018). Free radical-scavenging capacities, phenolics and capsaicinoids in wild piquin chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Molecules*. 23(10):2655.
- Oboh, G. and Rocha, J. B. T. (2007). Polyphenols in red pepper [*Capsicum annuum* var. *aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver. *European Food Research and Technology*. 225(2):239-247.
- Olatunji, T. L. and Afolayan, A. J. (2019). Comparative quantitative study on phytochemical contents and anti-

oxidant activities of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. *The Scientific World Journal*. 1-13.

Olatunji, T. L. and Afolayan, A. J. (2020). Comparison of nutritional, antioxidant vitamins and capsaicin contents in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *International Journal of Vegetable Science*. 26(2):190-207.

Ovando-Martínez, M., Gámez-Meza, N., Molina-Domínguez, C. C., Hayano-Kanashiro, C., and Medina-Juárez, L. A. (2018). Simulated gastrointestinal digestion, bioaccessibility and antioxidant capacity of polyphenols from red chiltepin (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) grown in Northwest Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*. 73(2): 116-121.

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

Rochín-Wong, C. S., Gámez-Meza, N., Montoya-Balasteros, L. C. y Medina-Juárez, L. A. (2013). Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12(2):227-239.

SAS, Statistical Analysis System (2011). Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures (Versión 9.3) [Software de cómputo]. Cary, North Carolina, Estados Unidos de América: SAS Institute Inc.

Seneviratne, K. N., Hapuarachchi, C. D., and Ekanayake, S. (2009). Comparison of the phenolic-dependent antioxidant properties of coconut oil extracted under cold and hot conditions. *Food Chemistry*. 114(4):1444-1449.

Shelef, O., Weisberg P. J., and Provenza, F. F. (2017). The value of native plants and local production in an era of global agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 8:2069.

Singleton, V.L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.

Sosa-Moguel, O., Pino, J. A., Ayora-Talavera, G., Sauri-Duch, E., and Cuevas-Glory, L. (2017). Biological activities of volatile extracts from two varieties of Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *International Journal of Food Properties*. 20(3):S3042–S3051

Sousa, A., Casal, S., Malheiro, R., Lamas, H., Bento, A., and Pereira, J. A. (2015). Aromatized olive oils: Influence of flavouring in quality, composition, stability, antioxidants, and antiradical potential. *LWT-Food Science and Technology*. 60(1): 22-28.

Sricharoen, P., Lamaiphan, N., Patthawaro, P., Lim-choo-

wong, N., Techawongstien, S., and Chanthai, S. (2017). Phytochemicals in *Capsicum* oleoresin from different varieties of hot chilli peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 38:629-639.

Tanús, A. S., Maya, E. M. A., Serrano, C. R., and Morales, H. (2019). Food species of collection and culinary culture: biocultural heritage of the popoloca community Todos Santos Almolonga, Puebla, Mexico. *Nova Scientia*. 11(23):296-342.

Torres-Castillo, J. A., Sinagawa-García, S. R., Martínez-Ávila, G. C. G., López-Flores, A. B., Sánchez-González, E. I., Aguirre-Arzola, V. E., ..., and Gutiérrez-Díez, A. (2013). Moringa oleifera: phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*. 82:193-202.

Vargas, T. V., Hernández, R. M. E., Gutiérrez, L. J., Plácido, D. C. J. y Jiménez, C. A. (2007). Clasificación climática del estado de Tamaulipas, México. *CienciaUAT*. 2(2): 15-19.

Vazquez-Flores, A. A., Góngora-Pérez, O., Olivas-Orduña, I., Muñoz-Bernal, O. A., Osuna-Avila, P., Rodrigo-García, J., ..., and Alvarez-Parilla, E. (2020). Pytochemical profile and antioxidant activity of chiltepin chili (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), Sonora, Mexico. *Journal of Food Bioactives*. 11: 57-65.

Zimmer, A. R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., de-Oliveira, J. R., and Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: from traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*. 139:228-233.