

## Valorización de biomásas agrícolas de chiles para la obtención de nutraceuticos

Luis Alfonso Jiménez-Ortega<sup>1</sup>  
Pedro de Jesús Bastidas-Bastidas<sup>1</sup>  
José Basilio Heredia<sup>1S</sup>  
Nayely Leyva-López<sup>1</sup>  
Erick Paul Gutiérrez-Grijalva<sup>1</sup>

1 Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Carretera a Eldorado km 5.5, Col. Campo El Diez, Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80110. ([ljimenez222@estudiantes.ciad.mx](mailto:ljimenez222@estudiantes.ciad.mx); [pbastidas@ciad.mx](mailto:pbastidas@ciad.mx); [nayely.leyva@ciad.mx](mailto:nayely.leyva@ciad.mx); [egutierrez@ciad.mx](mailto:egutierrez@ciad.mx)).

Autor para correspondencia: [jbheredia@ciad.mx](mailto:jbheredia@ciad.mx).

### Resumen

México es el principal exportador de chile y segundo productor a nivel mundial, debido a esto se producen grandes cantidades de biomásas, las cuales no siempre son tratadas de forma sustentable, pudiendo ejercer un impacto negativo al medio ambiente. Una de las tendencias de aprovechamiento, es su uso para la obtención de nutraceuticos. El objetivo de la investigación fue determinar los fitoquímicos presentes en las biomásas de chile poblano, jalapeño y pimiento morrón producidas en Culiacán, Sinaloa, México, así como evaluar su actividad antioxidante. El estudio se realizó durante 2022. Se realizó un tamizaje fitoquímico y se cuantificaron los compuestos fenólicos totales libres y ligados, flavonoides, actividad antioxidante, capsaicinoides y compuestos volátiles. Las biomásas de chile son una fuente importante de fenoles libres ( $1\ 010.14 \pm 41.81$  mg EAG  $100\ g^{-1}$ ), ligados ( $158.66 \pm 8.87$  mg EAG  $100\ g^{-1}$ ) flavonoides ( $158 \pm 8.87$  mg EQ  $100\ g^{-1}$ ), dihidrocapsaicina ( $1.762\ \mu g\ kg^{-1}$ ), fitoesteroles, terpenos, taninos, saponinas, y alcaloides (atropina) además de presentar actividad antioxidante ( $35\ 744.04 \pm 618.6\ \mu mol\ ET\ 100\ g^{-1}$ ). Se concluyó que las biomásas contienen nutraceuticos biofuncionales, por lo que su valorización para este fin puede promover la generación de economías circulares en México.

### Palabras clave:

*Capsicum annuum* L., antioxidantes, fitoquímicos, sustentabilidad.



## Introducción

México es el segundo productor y principal exportador de chile (*Capsicum annuum* L.) a nivel mundial (FAOSTAT, 2022). Durante el ejercicio 2022, los chiles con mayor producción en el país fueron el jalapeño, pimiento morrón y poblano, con 703 420.86, 562 075.10 y 414 656.54 t, respectivamente (SIAP, 2023).

El fruto representa una pequeña parte del peso total de la planta, casi el 50% de la misma se compone de tallos, raíces y hojas, los cuales al final de la producción son descartados (Zabot y Cárdenas-Toro, 2017). Algunas de las disposiciones de estas biomásas son la incineración al aire libre y depósito en vertederos lo que propicia la generación de plagas, olores fétidos y gases de efecto invernadero, impactando de forma negativa medioambiente y a la salud pública (Cerdeira *et al.*, 2018).

Según la pirámide de valorización de biomásas, la extracción de nutraceuticos, es la actividad que mayor valor agregado brinda (Baenas *et al.*, 2019), además al ser expuesta a estreses bióticos y abióticos puede biosintetizar una mayor cantidad de metabolitos secundarios, en contraste con los frutos (Khare *et al.*, 2020).

Con relación a lo anterior, se ha observado que las hojas de *C. annuum* presentan un contenido mayor de glicósidos de apigenina, luteolina y quercetina respecto a los frutos (Cho *et al.*, 2020). Asimismo, los tallos contienen un mayor contenido de compuestos fenólicos totales que el pericarpio y la placenta (Chen y Kang, 2013), por lo que las partes no comestibles son una buena fuente de nutraceuticos.

El objetivo de la investigación fue determinar los grupos de fitoquímicos, cuantificar el contenido de fenoles totales libres y ligados, flavonoides totales, capsaicinoides, identificar los compuestos orgánicos volátiles y evaluar la actividad antioxidante (AOX), de los extractos de biomásas agrícolas de chile.

## Materiales y métodos

### Recolección y acondicionamiento de muestras

Las biomásas de chiles tipo pimiento morrón, variedad Thames, chile poblano variedad Allende y chile jalapeño variedad Orizaba se recolectaron en estado senescente (mezcla de hojas y tallos 25% y 75%, respectivamente), en el valle agrícola de Culiacán, Sinaloa, México, durante 2022. Se deshidrataron en un horno semi industrial durante 12 h a 60 °C, se molieron en un pulverizador Pulvex, se tamizaron en un tamiz de 0.45 mm y se conservaron a -15 °C hasta su uso.

### Tamizaje fitoquímico

Los fitoquímicos se extrajeron por maceración, durante 24 h a 30 °C, a 700 rpm. Se usó hexano (Hx), cloruro de metileno (CM) y metanol (MeOH). Los extractos se filtraron con papel Whatman número 1 y se conservaron a -20 °C hasta su uso. La identificación de los fitoquímicos se realizó mediante técnicas colorimétricas (Harborne, 1984).

### Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT, ligados (CFL) y flavonoides totales (FT)

Se extrajeron los CFT y FT con EtOH al 80%, mediante un baño ultrasónico, a 45 °C durante 45 min. Se centrifugaron los extractos a 10 000 rpm durante 15 min a 4 °C. Se recuperó el sobrenadante y conservó a -15 °C hasta su uso. Para obtener los CFL, al pellet resultante de la extracción anterior, se le adicionó 10 ml de NaOH 2N y se calentó durante 30 min a 95 °C. Después se dejó en agitación durante 1 h a 25 °C. Terminado el tiempo se le adicionó 2 ml de HCl concentrado y 10 ml de Hx, se centrifugó a 10 000 rpm durante 10 min a 4 °C.

Se desechó el sobrenadante y al pellet resultante se le añadió 10 ml de acetato de etilo. Se concentró la muestra en un rotavapor y se recuperaron los CFL con 2 ml de EtOH al 80%. Para determinar los CFT y CFL se siguió el método de Folin-Ciocalteu (FC) descrito por Swain y Hillis (1959). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de muestra seca. La determinación de FT se realizó por el método de cloruro de aluminio, descrito por Ebrahimzadeh *et al.* (2015). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (EQ) por 100 g de muestra seca. Ambas determinaciones se leyeron en un espectrofotómetro Synergy HT (Biotek, USA) a 725 y 415 nm, respectivamente.

### Actividad antioxidante (AOX)

Se evaluó la capacidad captadora de radicales de oxígeno (ORAC), mediante la metodología descrita por Huang *et al.* (2002), los resultados se expresaron como  $\mu$ moles equivalentes de Trolox (ET) por 100 g de muestra seca. La capacidad reductora de radicales catiónicos ABTS<sup>•+</sup> se efectuó mediante el método propuesto por Thaipong *et al.* (2006). La capacidad reductora del radical DPPH se efectuó siguiendo el método de Karadag *et al.* (2009). Para ambas determinaciones los resultados se expresaron como  $\mu$ moles ET 100 g<sup>-1</sup> de muestra seca. La cuantificación se efectuó en un lector de microplacas Synergy HT (Biotek, USA) a 734 y 540 nm, respectivamente.

### Cuantificación de capsaicinoides HPLC

Los capsaicinoides se extrajeron con acetonitrilo (ACN) asistido por sonicación durante 1 h a 65 °C. El extracto se filtró mediante un acrodisc de nylon de 0.45  $\mu$ m. Se usó un cromatógrafo tipo HPLC Varian 9012, acoplado a un detector de fluorescencia Varian ProStar 363. Se usó una columna C18 Eclipse XBD Agilent. La fase móvil consistió en una mezcla de 49:50% agua MiliQ y ACN, acidificando con 1% v/v de ácido acético.

Las condiciones de detección fueron longitud de onda de excitación 280 nm y emisión 325 nm (Daood *et al.*, 2015). Se usaron estándares grado analítico de capsaicina (CAP) (8-Methyl-N-vaillyl-trans-6-nonenamida) 99% y mezcla de capsaicinoides UPS 90% (dihidrocapsaicina DHC y nordihidrocapsaicina NDHC).

### Determinación de compuestos orgánicos volátiles vía GC-MS/MS

Se analizaron los extractos de MeOH y ACN. Se usó un cromatógrafo de gases Agilent 7890B con detector de espectrometría de masas de trampa iónica (CG-MS/MS Agilent 240). Se usó una columna VF-5 MS, 30 m x 0.25 mm x 0.25  $\mu$ m. Se usó como gas de arrastre helio a un flujo de 1  $\mu$ l min<sup>-1</sup>. Los compuestos se identificaron mediante la biblioteca de espectros de masas del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, por sus siglas en inglés (NIST).

### Análisis estadístico

Los resultados del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y AOX se contrastaron con un análisis de varianza y un modelo lineal general (Anova) de un factor (tipo de biomasa) y tres niveles (chile jalapeño, poblano y pimiento morrón). Se utilizó la prueba de Tukey al 95% para determinar las diferencias estadísticas entre las biomásas.

## Resultados y discusión

### Tamizaje fitoquímico

La diversidad genética del chile es amplia dando como resultado diferentes variedades y tipos, los cuales difieren en su composición nutricional y fitoquímica (Hernández-Pérez *et al.*, 2020). Según el tamizaje fitoquímico (Cuadro 1), se observó en los extractos metanólicos de las tres biomásas

una abundancia y variedad de grupos de metabolitos secundarios, resaltando los flavonoides, saponinas, terpenoides, esteroides, alcaloides, cumarinas y quinonas.

**Cuadro 1. Tamizaje fitoquímico de biomásas de chiles.**

Fitoquímicos Ensayo	Pimiento morrón			Chile poblano			Chile jalapeño			
	Hx	CM	MeOH	Hx	CM	MeOH	Hx	CM	MeOH	
Taninos	FeCl <sub>3</sub>	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
	Gelatina-NaCl	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
Flavonoides	Shinoda	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
	FeCl <sub>3</sub>	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
	NaOH	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
Saponinas	Agitación	-	-	+++	-	-	+++	-	-	-
Terpenos y esteroides	Libermann-Buchard	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Salkowski	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Esteroides	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Glicósidos (cardiacos, antraquinonas)	Borntrager's killiani	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Keller	+	+	+++	+	+	+++	+++	+++	+++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+	+	+++	+	+	+++	-	-	+++
Alcaloides	Wagner	-	-	+	-	-	+++	-	+	+++
	Mayer	-	-	+	-	-	+++	-	+	+++
	Dragendorff	-	-	+	-	-	+++	-	+	+++
Cumarinas	NaOH	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
Quinonas	NaOH	-	-	+++	-	-	+++	-	-	+++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+	+++	+++	-	-	+++	-	-	+++

- = negativo; + = positivo; +++ = abundante; Hx = hexano; CM = cloruro de metileno; MeOH = metanol.

Estos resultados concuerdan con Swamy *et al.* (2018) donde identificaron taninos, flavonoides y terpenoides de tallos de *C. annuum longum*. Bhat y Rajanna (2017) reportaron la presencia de polifenoles, taninos, flavonoides, alcaloides, glicósidos, terpenos y saponinas en tallos de *C. annuum var. glabriusculum*. En las hojas de *C. chinense*, también se han identificado taninos, flavonoides, polifenoles, alcaloides y terpenoides (Gayathri *et al.*, 2016). El perfil de metabolitos secundarios presentes en las biomásas de chile es similar entre especies (Cuadro 1).

### Cuantificación de CFT, CFL y FT

Las tres biomásas presentaron cantidades importantes de CFT, CFL y FT (Cuadro 2), resaltando la biomasa de chile poblano. Se ha observado una mayor acumulación de metabolitos, en las hojas y tallos que en los frutos de diferentes especies de *Capsicum*. Barrajión-Catalán *et al.* (2020), analizaron el metaboloma del pimiento morrón var. Palermo, mostrando un mayor contenido de flavonoides, que en los frutos. Estos resultados son relevantes para optar por la extracción de flavonoides y ácidos fenólicos de biomásas de chiles.



**Cuadro 2. Compuestos fenólicos totales (CFT) ligados (CFL), flavonoides totales (FT) y actividad antioxidante de biomasa de chiles.**

Tipo de biomasa	Fenoles totales (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	Fenoles totales ligados (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	Flavonoides totales (mg EQ 100 g <sup>-1</sup> )	ABTS (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	DPPH (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	ORAC (μM ET 100 g <sup>-1</sup> )
Chile Jalapeño	930.51 ±25.11a	79.46 ±4.04b	351.11 ±16.77b	2.47 ±0.83a	0.71 ±0.24b	35 744.04 ±618.6a
Chile Poblano	1 010.14 ±41.81a	66.66 ±5.22c	488.14 ±37.6a	1.9 ±0.51a	1.14 ±0.06a	31 237 ±7 872. 82a
Pimiento morrón	926.22 ±36.79a	158.66 ±8.87a	408.88 ±10.18b	3.21 ±0.27a	1.2 ±0.006a	33 039 ±7 213.33a

Promedios y desviaciones estándar. EAG= equivalentes de ácido gálico; EQ= equivalentes de quercetina; ET= equivalentes de Trolox. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de Tukey al 95%.

Chen y Kang (2014), analizaron el contenido de CFT de tallos de las variedades PR star y Chengyang, resaltando que las concentraciones (9 190 mg EAG g<sup>-1</sup>) fueron superiores a las mostradas por el pericarpio y la placenta. Las hojas de chile var. Special, mostraron un elevado contenido de CFT (1 714.2 ±47.72 mg equivalentes de catequina ECAT 100 g<sup>-1</sup>), siendo superior a lo reportado en frutos (731.75 ±19.64 mg ECAT 100 g<sup>-1</sup>) (Kim *et al.*, 2011).

Dichos resultados son similares a lo reportado en la presente investigación, como se pudo observar, los hojas y tallos de diferentes especies de *Capsicum* son abundantes en compuestos fenólicos. Las variaciones de CFT, CFL y FL entre especies se pudieron deber a las condiciones de cultivo, estrés biótico y abiótico, nutrición, exposición a luz solar, genotipo, manejo cultural entre otros factores extrínsecos (Lozada *et al.*, 2023).

### Actividad antioxidante

Se demostró la AOX que ejercen las biomásas de chiles sobre radicales y su capacidad para donar protones y electrones, sobresaliendo la biomasa de pimiento morrón (Cuadro 2). Los autores Kim *et al.* (2014), analizaron las hojas de tres variedades de chiles coreanos, resaltando la variedad Blackcuban por mostrar una IC<sub>50</sub> de inhibición de los radicales DPPH y ABTS con 49.2 y 26.2 μg ml<sup>-1</sup>, respectivamente. También hojas de chile var. Sweet Italian, han demostrado inhibir el radical DPPH y O<sub>2</sub> con porcentajes de inhibición de hasta 80 y 90%, respectivamente esto con concentraciones de 1 mg ml<sup>-1</sup> (Silva *et al.*, 2014).

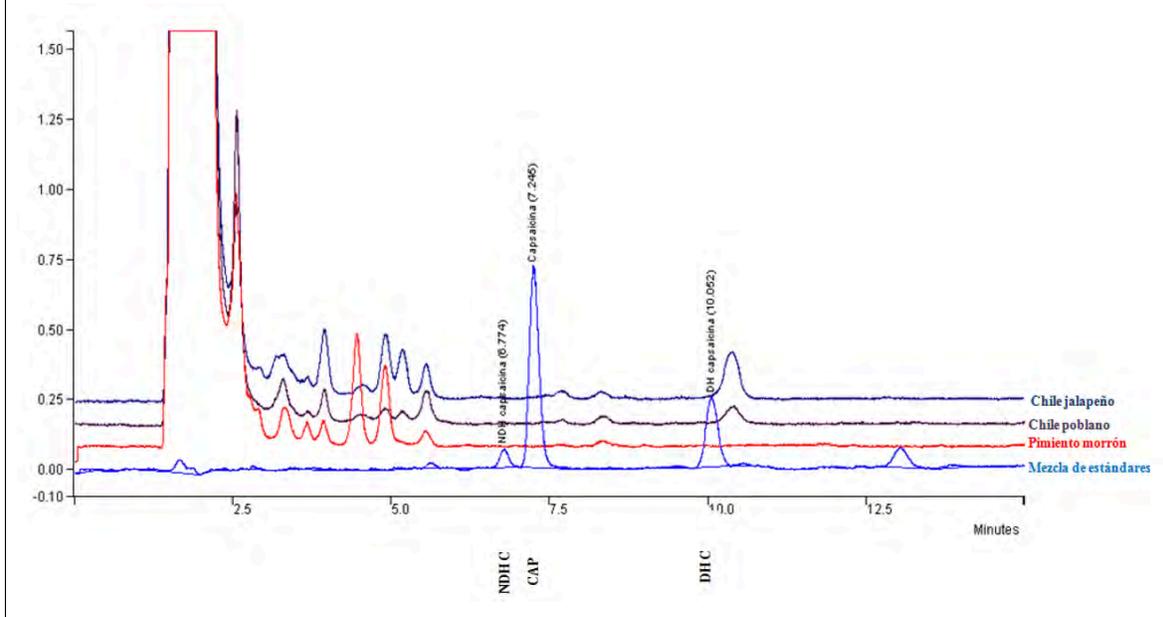
Se logró demostrar la AOX, de los extractos de las tres biomásas de chiles, resaltando el ensayo ORAC por obtener mayor inhibición, este ensayo se caracteriza por simular el proceso de oxidación a nivel celular causado por el oxígeno (Prior, 2015). Este efecto se relaciona con la estructura molecular de los flavonoides, en particular por la presencia de grupos OH y dobles enlaces, así como su naturaleza aromática (Chen *et al.*, 2020).

### Cuantificación de capsaicinoides

En esta investigación a pesar de que el tamizaje fitoquímico arrojó abundancia de alcaloides, en la cuantificación por HPLC (Figura 1), solo se detectó la presencia de DHC en concentraciones de 1.762 y 0.618 μg kg<sup>-1</sup> esto en las biomásas de chiles jalapeño y poblano, respectivamente. No se detectó CAP ni NDHC.



Figura 1. Cromatograma de cuantificación de capsaicinoides en biomásas de chiles. NDHC= nordihidrocapsaicina; CAP= capsaicina; DHC= dihidrocapsaicina.



Simonovska *et al.* (2016), cuantificaron CAP ( $28.75 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en tallos de *C. annuum* var longum conoides. Silva *et al.* (2014), cuantificaron CAP en hojas de chile var. Sweet Italian reportando  $78.3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Por su parte, Estrada *et al.* (2002), cuantificaron CAP ( $19.99 \pm 7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y DHC ( $27.28 \pm 0.3 \mu\text{g g}^{-1}$ ), está última encontrándose en mayor cantidad en las hojas que en los tallos.

La biosíntesis y el metabolismo de los capsaicinoides difieren del tipo de chile y el cultivar así como temperatura de crecimiento y estadio de maduración (Rahman *et al.*, 2012), estos compuestos normalmente se biosintetizan en las vacuolas de la placenta, en las semillas y en el septo de los frutos (Aza-González *et al.*, 2011).

### Identificación de compuestos orgánicos volátiles vía GC-MS/MS

Se identificaron principalmente triterpenos y fitoesteros como el campesterol, stigmasterol,  $\beta$  y  $\gamma$  sitoesterol, y  $\beta$ -amirina. También se identificaron algunos alcaloides como la atropina ( $\text{C}_{17}\text{H}_{23}\text{NO}_3$ ) y sus derivados, esto puede explicar la abundancia de alcaloides en los extractos metanólicos. Se identificó el fitol un alcohol diterpénico, el cual presenta actividad antiinflamatoria y antioxidante.

Los fitoesteros identificados en las biomásas de chiles podrían ser valorizados por la industria farmacéutica para la obtención de nutraceuticos ya que estos compuestos tienen una relación directa con el metabolismo de lípidos, ayudando a disminuir los niveles de colesterol en sangre y coadyuvar a tratar patologías relacionadas con la hipercolesterolemia (Li *et al.*, 2022).

### Conclusiones

Las biomásas fueron abundantes en compuestos hidrofílicos e hidrofóbicos con actividad antioxidante. Los capsaicinoides se identificaron en la biomasa de chile jalapeño y chile poblano, por lo que se sugiere seguir investigando variedades pungentes, ya que dichos metabolitos son apreciados en la industria alimenticia y farmacéutica.

Los hallazgos principales de este trabajo dilucidan el potencial bioactivo de las biomásas agrícolas de chile, además según la pirámide de valorización de biomásas la extracción de nutraceuticos es la que mayor valor agregado brinda. Esto podría coadyuvar a generar economías circulares en el campo mexicano, debido a los altos volúmenes de producción de chile.

## Bibliografía

- 1 Aza-González, C.; Núñez-Palenius, H. G. and Ochoa-Alejo, N. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Cell Rep.* 30(5):695-706. 10.1007/s00299-010-0968-8.
- 2 Baenas, N.; Belovi#, M.; Ilic, N.; Moreno, D. A. and García-Viguera, C. 2019. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: technological benefits and biological advantages. *Food Chem.* 274:872-885. 10.1016/j.foodchem.2018.09.047.
- 3 Barraón-Catalán, E.; Álvarez-Martínez, F. J.; Borrás, F.; Pérez, D.; Herrero, N.; Ruiz, J. J. and Micol, V. 2020. Metabolomic analysis of the effects of a commercial complex biostimulant on pepper crops. *Food Chem.* 310:125818. 10.1016/j.foodchem.2019.125818.
- 4 Bhat, S. S. and Rajanna, L. 2017. Preliminary antioxidant potential of fruit stalk of *Capsicum annum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill. *J. Pharm. Sci. Res.* 9(8):1283-1287.
- 5 Cerda, A.; Artola, A.; Font, X.; Barrena, R.; Gea, T. and Sánchez, A. 2018. Composting of food wastes: status and challenges. *Bioresour. Technol.* 248:57-67. 10.1016/j.biortech.2017.06.133.
- 6 Chen, J.; Yang, J.; Ma, L.; Li, J.; Shahzad, N. and Kim, C. K. 2020. Structure antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids. *Sci. Rep.* 10(1):2611-2620. 10.1038/s41598-020-59451-z.
- 7 Chen, L. and Kang, Y. H. 2013. Anti-inflammatory and antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annum* L.) stalk extracts: comparison of pericarp and placenta extracts. *J. Funct. Foods.* 5(4):1724-1731. 10.1016/j.jff.2013.07.018.
- 8 Chen, L. and Kang, Y. H. 2014. In vitro Inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of red pepper (*Capsicum annum* L.) including pericarp, placenta, and stalk. *J. Food Biochem.* 38(3):300-306. 10.1111/jfbc.12048.
- 9 Cho, S. Y.; Kim, H. W.; Lee, M. K.; Kim, H. J.; Kim, J. B.; Choe, J. S.; Lee, Y. M. and Jang, H. H. 2020. Antioxidant and anti-inflammatory activities in relation to the flavonoids composition of pepper (*Capsicum annum* L.). *Antioxidants.* 9(10):986-996. 10.3390/antiox9100986.
- 10 Daood, G. G.; Halasz, G.; Palotás, G.; Palotás, G.; Bodai, Z. and Helyes, L. 2015. HPLC determination of capsaicinoids with cross-linked C18 column and buffer free eluent. *J. Chromatogr. Sci.* 53(1):135-143. 10.1093/chromsci/bmu030.
- 11 Ebrahimzadeh, M. A.; Safdari, Y. and Khalili, M. 2015. Antioxidant activity of different fractions of methanolic extract of the golden chanterelle mushroom *Cantharellus cibarius* (Higher Basidiomycetes) from Iran. *Int. J. Med. Mushrooms.* 17(6):557-565. 10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i6.60.
- 12 Estrada, B.; Bernal, M. A.; Díaz, J.; Pomar, F. and Merino, F. 2002. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annum* L. in relation to fruiting. *J. Agric. Food Chem.* 50(5):1188-1191. 10.1021/jf011270j.
- 13 FAOSTAT. 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Datos sobre alimentación y agricultura. Viale delle terme di caracalla, Roma, Italia. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- 14 Gayathri, G. and Sekar. 2016. Phytochemical screening and antimicrobial activity of *Capsicum chinense* Jacq. *Int. J. Adv. Pharm.* 5(1):12-20. <https://doi.org/10.7439/ijap>.
- 15 Harborne, J. B. 1984. Methods of plant analysis. In: Harborne, J. B. Ed. *Phytochemical Methods: a guide to modern techniques of plant analysis*. Springer Netherlands. 1-36 pp. 10.1007/978-94-009-5570-7-1.
- 16 Hernández-Pérez, T.; Gómez-García, M. R.; Valverde, M. E. and Paredes-López, O. 2020. *Capsicum annum* (hot pepper): an ancient Latin-American crop with outstanding bioactive

- compounds and nutraceutical potential. A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19(6):2972-2993. 10.1111/1541-4337.12634.
- 17 Huang, D.; Ou, B.; Hampsch-Woodill, M.; Flanagan, J. A. and Prior, R. L. 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-Well Format. *J. Agric. Food Chem.* 50(16):4437-4444. 10.1021/jf0201529.
  - 18 Karadag, A.; Ozcelik, B. and Saner, S. 2009. Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Anal. Methods.* 2(1):41-60. 10.1007/s12161-008-9067-7.
  - 19 Khare, S.; Singh, N. B.; Singh, A.; Hussain, I.; Niharika, K.; Yadav, V. and Amist, N. 2020. Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *J. Plant Biol.* 63(3):203-216. 10.1007/s12374-020-09245-7.
  - 20 Kim, J. S.; Ahn, J.; Lee, S. J.; Moon, B.; Ha, T. Y. and Kim, S. 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum annuum* L., var. Special) cultivated in Korea. *J. Food Sci.* 76(2):C193-C198. 10.1111/j.1750-3841.2010.01891.x.
  - 21 Kim, W. R.; Kim, E. O.; Kang, K.; Oidovsambuu, S.; Jung, S. H.; Kim, B. S. and Um, B. H. 2014. Antioxidant activity of phenolics in leaves of three red pepper (*Capsicum annuum*) Cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 62(4):850-859. 10.1021/jf403006c.
  - 22 Li, X.; Xin, Y.; Mo, Y.; Marozik, P.; He, T. and Guo, H. 2022. The bioavailability and biological activities of phytosterols as modulators of cholesterol metabolism. *Molecules.* 27(2):523-538. 10.3390/molecules27020523.
  - 23 Lozada, D. N.; Pulicjerla, S. R. and Holguin, F. O. 2023. Widely targeted metabolomics reveals metabolite diversity in jalapeño and serrano chile peppers (*Capsicum annuum* L.). *Metabolites.* 13(2):288-232. <https://doi.org/10.3390/metabo13020288>.
  - 24 Prior, R. L. 2015. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. *J. Funct. Foods.* 18:797-810. 10.1016/j.jff.2014.12.018.
  - 25 Rahman, M. J.; Inden, H. and Hossain, M. M. 2012. Capsaicin content in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under temperature stress. *Acta Hortic.* 936:195-201. 10.17660/ActaHortic.2012.936.23.
  - 26 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
  - 27 Silva, L. R.; Azevedo, J.; Pereira, M. J.; Carro, L.; Velázquez, E.; Peix, A. and Andrade, P. B. 2014. Inoculation of the nonlegume *Capsicum annuum* (L.) with *Rhizobium* Strains. 1. Effect on bioactive compounds, antioxidant activity, and fruit ripeness. *J. Agric. Food Chem.* 62(3):557-564. 10.1021/jf4046649.
  - 28 Simonovska, J.; Škerget, M.; Knez, Ž.; Srbinoska, M.; Kavrakovski, Z.; Grozdanov, A. and Rafajlovska, V. 2016. Physicochemical characterization and bioactive compounds of stalk from hot fruits of *Capsicum annuum* L. *Maced. J. Chem. Chem.* 35(2):199-208. 10.20450/mjccce.2016.944.
  - 29 Swain, T. and Hillis, W. E. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.* 10(1):63-68. 10.1002/jsfa.2740100110.
  - 30 Swamy, A. G.; Arland, S. E.; Batakurki, S. and Kumar, J. 2018. Phytochemical analysis of *Capsicum annuum longum* stalk as low cost adsorbent for waste water treatment. *J. Creat. Res. Thoughts.* 6(2):384-386. <https://ijcrt.org/papers/IJCRTOXF0062.pdf>.
  - 31 Thaipong, K.; Boonprakob, U.; Crosby, K.; Cisneros-Zevallos, L. and Hawkins Byrne, D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant

- activity from guava fruit extracts. *J. Food Compost. Anal.* 19(6):669-675. 10.1016/j.jfca.2006.01.003.
- 32 Zabot, G. L. and Cárdenas-Toro, F. P. 2017. Recovering bioactive compounds from other agricultural wastes. John Wiley & Sons, Inc. The atrium, southern gate, chichester, west sussex, UK. 197-219 pp. 10.1002/9781119168850.ch9.



## Valorización de biomásas agrícolas de chiles para la obtención de nutraceuticos

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2024
Date accepted: 01 May 2024
Publication date: 17 May 2024
Publication date: Apr-May 2024
Volume: 15
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3675
DOI: 10.29312/remexca.v15i3.3675

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

*Capsicum annuum* L.

antioxidantes

fitoquímicos

sustentabilidad.

### Counts

Figures: 1

Tables: 2

Equations: 0

References: 32

Pages: 0