

## Capacidad captadora de radicales libres de compuestos fenólicos recuperados de residuos agroindustriales

### Free radical scavenger capacity of phenolic compounds recovered from agroindustrial waste

José Miguel Castillo-Minjarez\*, Enaim Aída Vargas-León\*\*✉, Yasmín Esperanza-Lua\*\*, Francisco Javier Martínez-Valdez\*\*, Gabriela Carrillo-Sancén\*\*

Castillo-Minjarez, J. M., Vargas-León, E. A., Esperanza-Lua, Y., Martínez-Valdez, F. J., & Carrillo-Sancén, G. (2025). Capacidad captadora de radicales libres de compuestos fenólicos recuperados de residuos agroindustriales. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33(94), e4827, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2025944827>

#### RESUMEN

Los residuos agroindustriales provenientes del consumo de productos primarios representan un desafío ambiental debido a su subutilización. Particularmente los de origen vegetal son ricos en compuestos fenólicos que pueden usarse en la formulación de alimentos funcionales. Por tanto, se evaluó la capacidad captadora de radicales libres de fenoles extraídos de cáscaras de manzana, mango, rastrojos de frijol y maíz mediante extracciones con agua a dos temperaturas (25 y 90 °C) y etanol a 50%. Los extractos de mango a 90 °C tuvieron las mayores concentraciones de fenoles ( $847.00 \pm 22.64$  mg EAG/100 g), coincidiendo con el mayor abatimiento del radical DPPH ( $1532.33 \pm 9.86$  EAA/100 g) y ABTS ( $2777.33 \pm 8.02$  mg ET/100 g). Estos resultados resaltan el potencial de transformación de residuos en fuentes valiosas de compuestos bioactivos con implicaciones directas a la salud, ya que su ingesta favorece la prevención de enfermedades crónico-degenerativas, contribuyendo con esto a mejorar la gestión de este tipo de residuos.

**Palabras clave:** antioxidantes; bioactivos; extracción; frutas; rastrojos; residuos.

#### ABSTRACT

Agro-industrial waste from the consumption of primary products represents an environmental challenge due to its underuse. Particularly, those of plant origin are rich in phenolic

Recibido: 16 de noviembre de 2023 Aceptado: 30 de julio de 2024 Publicado: 31 de enero de 2025

\*División de Electromecánica Industrial, Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México-Pachuca, Km. 37.5, C. P. 55740, Predio Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, México. Correo electrónico: [jcastillom@uttecamac.edu.mx](mailto:jcastillom@uttecamac.edu.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8647-5303>

\*\*División Químico Biológicas, Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México-Pachuca, Km. 37.5, C. P. 55740, Predio Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, México. Correo electrónico: [evargasl@uttecamac.edu.mx](mailto:evargasl@uttecamac.edu.mx); [luaesperanza31@gmail.com](mailto:luaesperanza31@gmail.com); [fmartinezv@uttecamac.edu.mx](mailto:fmartinezv@uttecamac.edu.mx); [casaby@hotmail.com](mailto:casaby@hotmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3440-5981>; <https://orcid.org/0000-0002-1640-5577>; <https://orcid.org/0000-0002-2286-311X>

✉ Autor para correspondencia

compounds that can be used in the formulation of functional foods. Therefore, the free radical scavenging capacity of phenols extracted from apple, mango peels, bean and corn stubble were evaluated by extractions with water at two temperatures (25 and 90 °C) and 50% ethanol. Mango extracts at 90 °C had the highest concentrations of phenols (847.00 ± 22.64 mg EAG/100 g), coinciding with the greatest reduction of the DPPH radical (1532.33 ± 9.86 EAA/100 g) and ABTS (2777.33 ± 8.02 mg ET/100g). These results highlight the potential for transforming waste into valuable sources of bioactive compounds with direct implications for health since their intake favors the prevention of chronic-degenerative diseases, thereby contributing to improving the management of this type of waste.

**Keywords:** antioxidants; bioactives; extraction; fruit; stubble; waste.

## INTRODUCCIÓN

En los procesos de obtención de los productos principales de la industria alimentaria y del sector agroindustrial se generan diversos subproductos y residuos en grandes cantidades, capaces de contaminar aguas y suelos, poniendo en riesgo la salud humana, animal y vegetal (Vargas y Vargas, Figueroa Brito, Tamayo Cortez, Toledo López, & Moo Huchin, 2019). En México se producen anualmente alrededor de 76 millones de toneladas de residuos constituidos por frutas o verduras inadecuadas para el consumo o proceso, semillas, cáscaras, hojas, raíces, tallos, bagazo, rastrojos, etc. (González-Sánchez, Pérez-Fabiél, Wong-Villarreal, Bello-Mendoza, & Yañez-Ocampo, 2015); lo que lleva a la necesidad de buscar alternativas para su manejo y aprovechamiento. La bioconversión a través de diversas tecnologías es ideal, ya que este tipo de residuos tiene un alto contenido de biomasa lignocelulósica y lipídica que podría ser degradada a monosacáridos y ésteres más simples mediante procesos físicos, químicos o biotecnológicos (Mejías-Brizuela, Orozco-Guillen, & Galáan-Hernández, 2016).

Además, son una gran fuente de fibra, vitaminas (tocoferol, riboflavina, ácido ascórbico, piridoxina, tiamina, riboflavina), minerales (manganeso, magnesio, hierro, calcio, potasio), azúcares (sacarosa, glucosa, fructosa, sorbitol), ácidos orgánicos, proteína, pectina y compuestos bioactivos aprovechables. Por tanto, se pueden generar subproductos que puedan incorporarse a otros procesos industriales y a la obtención de productos de consumo humano o animal, lo que aportaría ingreso económico extra a la propia empresa generadora, o bien, a pequeñas y medianas empresas (Vargas y Vargas et al., 2019). Los compuestos bioactivos extraídos de diversas especies vegetales han tomado relevancia, ya que han demostrado tener una diversidad de efectos benéficos a la salud, asociados con su capacidad para evitar el daño por radicales libres (RL) y especies reactivas de oxígeno (ERO); estas moléculas al acumularse en el organismo producen estrés oxidativo (EO), el cual está ligado con el desarrollo de algunas enfermedades crónico degenerativas (ECD) (Barba Evia, 2018).

Los RL son moléculas que se caracterizan por tener uno o más electrones desapareados en su orbital externo, convirtiéndolos en especies muy reactivas, capaces de unirse a constituyentes celulares, ocasionando daño o muerte celular, con consecuencias directas a la salud. Hoy día, factores medio ambientales como la radiación solar y las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos, dietas ricas en carbohidratos y grasas refinadas, el tabaquismo, el alcoholismo y el estrés ocasionado por el ritmo de vida, generan una sobreproducción de RL en el organismo, provocando que los mecanismos innatos de protección sean insuficientes para neutralizar el efecto nocivo, dando origen al EO, condición relacionada con ECD como cáncer, diabetes mellitus,

aterosclerosis, hipertensión arterial, etc. (Gujja-Poma, Inocente-Camones, Ponce-Pardo, & Zarzosa-Norabuena, 2015; Vargas León et al., 2022b). Estos padecimientos progresivos y no curables tienen una alta incidencia poblacional y una frecuencia elevada al grado de epidemia; afectando a población cada vez más joven, con impacto severo en los sistemas de salud de México y del mundo debido a los altos costos que genera su control, tratamiento y atención por complicaciones (Barba Evia, 2018).

La búsqueda de compuestos capaces de captar o abatir la acción nociva de los RL es fundamental; en este sentido, la materia vegetal por su alto contenido de compuestos fenólicos (CF) con diversos mecanismos de acción es una gran alternativa (Carvajal Carvajal, 2019). Existen numerosos estudios que han demostrado que las estructuras químicas de los CF; además de abatir RL, favorecen la capacidad de inhibir enzimas, impiden la proliferación de algunas células cancerosas, inhiben procesos inflamatorios y activan vías de señalización importantes en la prevención o reducción de enfermedades crónicas (Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2018). Las frutas, verduras, hortalizas y plantas medicinales aportan altas concentraciones de CF, ya que son metabolitos secundarios sintetizados durante su desarrollo normal como barreras al ataque de predadores; incrementando su concentración cuando la planta es sometida a condiciones de estrés como infecciones, radiación UV, deficiencia de nutrientes, estrés hídrico y a ciertos contaminantes; algunos ejemplos de este grupo de compuestos son los fenoles simples, ácidos fenólicos, cumarinas, flavonoides; siendo estos últimos los mejor estudiados; dentro de esta familia se encuentran flavonas, flavanonas, flavonoles, catequinas y antocianinas; los cuales han demostrado una gran diversidad de efectos benéficos a la salud; por ejemplo, capacidad de prevenir la agregación plaquetaria e inducir la relajación muscular; pueden aumentar la capacidad cerebral y la longevidad (Vargas y Vargas et al., 2019).

Además, tienen capacidad de inhibir a la enzima convertidora de la angiotensina, como mecanismo hipotensor y capacidad de inhibir RL como mecanismo antioxidante (Vargas-León et al., 2018). A pesar de los beneficios que tienen los CF, el consumo de las fuentes naturales suele no ser constante o en las cantidades necesarias para alcanzar la concentración que se requiere, por lo cual la extracción y recuperación de estos compuestos y sus derivados ha cobrado importancia respecto a sus aplicaciones en alimentos, incorporándolos como suplementos alimenticios o en alimentos funcionales; lo que ha incrementado la demanda y la necesidad de buscar nuevas fuentes, de bajo costo. En este sentido, al procesar los productos vegetales no se aprovechan todas las partes anatómicas, los residuos resultantes tienen presencia significativa de CF. Por ejemplo, las cáscaras de frutas contienen una variedad de ácidos hidroxicinámicos, flavan-3-oles (monoméricos y oligoméricos), flavonoles y sus conjugados, dihidroxichalconas y procianidinas (Muñoz Jáuregui, Ramos-Escudero, Alvarado Ortiz-Ureta, Castañeda Castañeda, & Lizaraso Caparó, 2009); mientras que tanto en la pared celular primaria como secundaria de las gramíneas predominan los ácidos hidroxicinámicos, como el ferúlico y el p-cumárico, generalmente unidos a la lignina por enlaces éter a través de grupos hidroxilo en el anillo aromático y enlaces éster con carbohidratos estructurales y proteínas a través de su grupo carboxilo (Vázquez-Olivo, López-Martínez, Contreras-Angulo, & Heredia, 2017).

Por tanto, el uso de este tipo de residuos como fuente de CF es una excelente opción; por un lado, se brinda valor agregado a material subutilizado y, por otro, se obtienen compuestos bioactivos para la prevención de ECD. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de captación de radicales libres de CF extraídos

de residuos de mango y manzana, así como de rastrojos de frijol y maíz, con la finalidad de conocer la concentración de compuestos antioxidantes en estos residuos y establecer su uso como materia prima en la formulación de suplementos alimenticios o alimentos funcionales con capacidad de combatir el EO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención y acondicionamiento de residuos.

Los rastrojos de frijol flor de mayo (*Phaseolus vulgaris*) (RF) y maíz blanco (*Zea mays*) (RM) fueron proporcionados por el INIFAP, Texcoco, Edo. de México, ambos cosecha 2022, se lavaron con agua corriente y se secaron a 40 °C por 24 h en una estufa con recirculación de aire (UN30plus Memmert, Alemania). Los residuos de mango manila (*Mangifera indica*) (RMn) y manzana amarilla golden (*Malus domestica*) (RMz) se recuperaron del consumo de la fruta, adquirida en un mercado municipal de Tecámac, Edo. de México, en el año 2022. De las manzanas se conservaron los corazones libres de las semillas y restos de cáscara; mientras que de mango se utilizó la cáscara; estos residuos se trocearon y se deshidrataron a 40 °C con recirculación de aire por 28 h.

Tras obtener las cuatro muestras deshidratadas se molieron en un procesador de alimentos (T-fal BLB1, China), disminuyendo el tamaño de partícula y homogeneizando con un tamiz malla 20 (850 micras de apertura) (Daigger, A.S.T.M. E-11, EE. UU.). Cada uno fue almacenado en bolsas de plástico con cierre hermético, a temperatura ambiente, hasta su uso.

### Extracción de compuestos fenólicos

La extracción de los CF se realizó conforme a la metodología reportada por Vargas-León et al. (2018), se usó una relación 1:10 p/v (g de residuo por ml de disolvente), usando como disolventes de extracción agua a temperatura ambiente ( $A_{25^{\circ}\text{C}}$ ), agua a temperatura de ebullición ( $A_{90^{\circ}\text{C}}$ ) y etanol diluido 1:1 ( $E_{50\%}$ ) (25 °C). Se pesó el residuo en un tubo Falcon y se agregó el disolvente, se agitó y se dejó macerar por 15 min; en el caso de los extractos con  $A_{90^{\circ}\text{C}}$ , los 15 min fueron en baño María a 90 °C. Transcurrido este tiempo, las muestras se centrifugaron a 8000 r. p. m. durante 25 min en una centrifuga (Thermo scientific, Megafuge 40, EE. UU.), el sobrenadante se vertió en un matraz aforado de 10 ml, se aforó con el disolvente de extracción, posteriormente los extractos se almacenaron en contenedores opacos en refrigeración (6 °C).

### Cuantificación de fenoles totales

Para la cuantificación de fenoles totales (FT) se partió de la metodología reportada por Pękal y Pyrzynska (2014), con modificaciones de Vargas-León et al. (2018) respecto a los volúmenes usados para la determinación, usando una curva de calibración de 0 a 100 ppm de ácido gálico ( $\geq 98\%$ , Merck, Alemania). En tubos Eppendorf se colocaron 200  $\mu\text{L}$  de cada una de las disoluciones de las distintas concentraciones usadas para la curva, mientras que para las muestras a analizar se colocaron 50  $\mu\text{L}$  de extracto y 250  $\mu\text{L}$  de agua destilada. En seguida se agregaron 500  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin-Ciocalteu a 10%, se dejó reaccionar por 5 min, finalmente se agregaron 400  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a 7.5%, la mezcla se agitó y se dejó reaccionar por 5 min más. La formación de un complejo azul indicó la presencia de compuestos fenólicos, la absorbancia de dicho complejo se midió a una longitud de 759 nm en un espectrofotómetro UV/VIS (Perkin Elmer, Lambda 35, EE. UU.). Posteriormente, se

generó la regresión lineal de los datos y la concentración de FT se obtuvo en mg Equivalentes de Ácido Gálico por cada 100 g de residuo (mg EAG/100 g).

### **Cuantificación de flavonoides**

Para la cuantificación de flavonoides totales se consideraron dos grupos de esta familia (flavanoles y flavonoles) partiendo de las metodologías descritas por Pękal y Pyrzynska (2014) y Vargas-León et al. (2018). Los flavonoides totales se obtuvieron a partir de la sumatoria de ambos grupos, reportándolos como mg totales por cada 100 g de residuo (mg/100 g).

**Flavanoles.** Se usó una curva de calibración de 0 a 80 ppm del estándar de catequina ( $\geq 97\%$ , Merck, Alemania). En tubos Eppendorf se colocaron 1000  $\mu\text{L}$  de cada una de las disoluciones de las concentraciones usadas para la curva, en tanto que para analizar las muestras se colocaron 500  $\mu\text{L}$  de extracto y 500  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Se agregaron 180  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$  al 5%, se agitó y reaccionó por 5 min, enseguida se agregaron 180  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  al 10%, repitiendo el procedimiento del paso anterior, finalmente se agregaron 200  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaOH}$  1 M, tras 5 min de reacción, la formación de un complejo naranja fue indicativo de la presencia de flavanoles, la absorbancia del complejo se midió a 496 nm. Al obtener la regresión lineal la concentración se expresó como mg Equivalentes de Catequina por cada 100 g de residuo (mg CE/100 g).

**Flavonoles.** Para la cuantificación se usó una curva de 0 a 50 ppm del estándar de quercetina ( $\geq 95\%$ , Merck, Alemania). En tubos Eppendorf se colocaron 1000  $\mu\text{L}$  de cada una de las disoluciones de las diferentes concentraciones usadas para la curva; mientras que para el análisis de las muestras se colocaron 500  $\mu\text{L}$  de extracto y 500  $\mu\text{L}$  de agua destilada, enseguida se agregaron 125  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  a 10%, se agitaron y se dejaron reaccionar por 2 min. La formación de un complejo amarillo indicó la presencia de flavonoles, la absorbancia de dicho complejo se midió a 430 nm. Tras obtener la regresión lineal, la concentración se expresó como mg Equivalentes de Quercetina por cada 100 g de residuo (mg EQ/100 g).

### **Capacidad captadora de radicales libres. La capacidad captadora de radicales libres (CCRL) se midió empleando los radicales DPPH y ABTS**

**Radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH).** Para evaluar la actividad frente a este radical se tomó como punto de partida la metodología descrita por Re et al. (1999), considerando los ajustes de Vargas-León et al. (2018), tomando como referencia una curva del estándar de 0 a 160 ppm de L-ácido ascórbico ( $\geq 99\%$ , Merck, Alemania). En tubos Eppendorf se colocaron 50  $\mu\text{L}$  de cada extracto o de las disoluciones de las concentraciones usadas para la curva, enseguida se adicionaron 1050  $\mu\text{L}$  del radical DPPH (Merck, Alemania) disuelto en metanol a una concentración 60  $\mu\text{M}$ , con una absorbancia de 0.85 unidades a una longitud de onda de 515 nm y una coloración violeta característica de su forma activa; los tubos se agitaron y la mezcla se dejó reaccionar por 5 min, al mezclarse el radical con compuestos antioxidantes éstos donan un protón al RL, formando el compuesto DPPH-H reducido (color amarillo). Enseguida se midió la absorbancia de cada muestra a 515 nm. El decaimiento de la absorbancia indicó la neutralización del RL por el antioxidante de referencia o por los extractos. La actividad se reportó como mg equivalentes de ácido ascórbico por cada 100 g de residuo (mg EAA/100 g).

**Radical ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzofiazolin-6-sulfónico) (ABTS).** Para la actividad frente a este radical, se tomó como principio la metodología descrita por Brand-Williams, Cuvelier, y Berset (1995), con las modificaciones de Vargas-León et al. (2018), partiendo de una curva de un análogo de 0 a 160 ppm de la vitamina E (Trolox) ( $\geq 97\%$ , Merck, Alemania). En tubos Eppendorf se colocaron 50  $\mu\text{L}$  de cada extracto o de las disoluciones de las concentraciones preparadas para la curva, enseguida se adicionaron 1050  $\mu\text{L}$  de la solución del radical ABTS diluida en etanol, con una absorbancia de 0.80 unidades a una longitud de onda de 753 nm y una coloración verde esmeralda, característica de su forma activa (la solución stock fue preparada 16 h previas a su uso a una concentración 7 mM con  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  0.45 mM), los tubos se agitaron y se dejaron reaccionar por 10 min. Enseguida se midió la absorbancia de cada muestra a 753 nm. El decaimiento de la absorbancia indicó la neutralización del RL por el antioxidante de referencia o por los extractos. La actividad se reportó como mg Equivalentes de Trolox por cada 100 g de residuo (mg TE/100 g).

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el Software STATISTICA versión 8.0. Cada determinación se realizó por triplicado, los resultados se expresaron como la media  $\pm$  la desviación estándar (DE) y se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los resultados ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Cuantificación de fenoles totales

De forma general, con todos los disolventes de extracción propuestos se obtuvieron CF a partir de los residuos usados (tabla 1); en la figura 1 se pueden observar los cambios de color de los extractos respecto a la concentración de CF extraídos, conforme a su afinidad por disolvente; aquellos extractos con mayores concentraciones tienen tonalidades más intensas ( $\text{Et}_{50\%}$  y  $\text{A}_{90^\circ\text{C}}$ ).

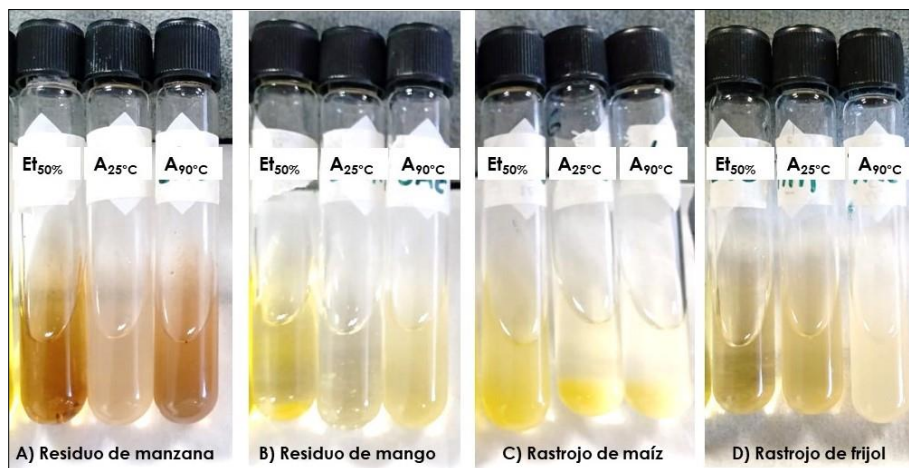


Figura 1. Extractos de residuos agroindustriales ricos en compuestos fenólicos con capacidad captadora de radicales libres. Fotografía del equipo de investigación.

### Disolventes de extracción: agua a temperatura ambiente ( $\text{A}_{25^\circ\text{C}}$ ), agua a temperatura de ebullición ( $\text{A}_{90^\circ\text{C}}$ ) y etanol diluido 1:1 ( $\text{E}_{50\%}$ )

En el caso de RMn, las concentraciones obtenidas de los extractos con  $\text{E}_{50\%}$  y  $\text{A}_{90^\circ\text{C}}$  fueron  $817.33 \pm 9.01$  y  $847.00 \pm 8.14$  mg EAG/100 g, respectivamente; fueron las más altas en comparación con lo obtenido con RMz, RF y RM. En el caso del RMz no se encontró

diferencia significativa entre usar  $A_{25^{\circ}\text{C}}$  o  $A_{90^{\circ}\text{C}}$ , generando  $353.00 \pm 9.53$  y  $352.66 \pm 15.17$  mg EAG/100 g, respectivamente. Tampoco se encontró diferencia estadística comparando con las concentraciones de los extractos  $A_{25^{\circ}\text{C}}$  y  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  del RF, y con la concentración del extracto  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  de RM. Las concentraciones más bajas de FT, con excepción de RMn, se encontraron con  $E_{50\%}$ , particularmente en RF ( $81.33 \pm 2.08$  mg EAG/100 g, respectivamente); por otra parte, en RMz y RM ( $279.66 \pm 13.79$  y  $248.33 \pm 20.31$  mg EAG/100 g, respectivamente) sin diferencia significativa.

### Cuantificación de flavonoides

Al igual que en el caso de los FT, las concentraciones más altas de flavonoides se obtuvieron a partir de los residuos de fruta (tabla 1), particularmente en el RMn con  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  ( $569.00 \pm 30.51$  mg/100 g); mientras que en todos los extractos  $A_{25^{\circ}\text{C}}$ , las concentraciones no tuvieron diferencia estadística significativa; no obstante, sí existió con los extractos  $E_{50\%}$ . En el caso de los rastrojos las concentraciones más altas estuvieron en RM con  $A_{25^{\circ}\text{C}}$  y  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  ( $223.00 \pm 3.61$  y  $202.33 \pm 2.08$  mg/100 g, respectivamente). Al analizar de forma independiente los dos grupos de flavonoides se encontró que los flavanoles fueron el grupo más abundante en todas las muestras analizadas, con un comportamiento semejante al de los flavonoides totales, teniendo la concentración más alta en RMn ( $562.66 \pm 30.85$  mg CE/100 g), no hubo diferencia estadística significativa entre el resto de extractos; en el caso de los rastrojos, los extractos acuosos de maíz tuvieron las mayores concentraciones ( $223.00 \pm 3.61$  y  $184.33 \pm 0.58$  mg CE/100 g, respectivamente). Con los flavanoles se pudo observar que las concentraciones fueron mucho menores respecto a los flavanoles, inclusive en los extractos  $E_{50\%}$  y  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  de RMz, no se detectaron; mientras que en RMn, la mayor concentración fue con  $E_{50\%}$ , obteniéndose únicamente,  $20.33 \pm 2.30$  mg EQ/100 g; en RF la mayor concentración fue  $22 \pm 2.65$  mg EQ/100 g, también con el extracto  $E_{50\%}$ ; en RM con  $A_{90^{\circ}\text{C}}$  se extrajeron  $18.00 \pm 1.73$  mg EQ/100 g, sin tener diferencia estadística significativa con el extracto  $A_{25^{\circ}\text{C}}$  de RMz ( $18.33 \pm 1.52$  mg EQ/100 g).

Tabla 1  
Contenido de compuestos fenólicos en los extractos de residuos agroindustriales

Residuo	Extracto	Fenoles totales (mg EAG/100 g)	Flavonoides		
			Flavanoles (mg EC/100 g)	Flavonoles (mg EQ/100 g)	Totales (mg/100 g)
Manzana (RMz)	$E_{50\%}$	$279.66 \pm 13.79$ b	$229.00 \pm 8.54$ f	ND	$229.00 \pm 8.54$ f
	$A_{25^{\circ}\text{C}}$	$353.00 \pm 9.53$ c	$255.66 \pm 12.50$ g	$18.33 \pm 1.52$ d	$274.00 \pm 11.15$ fg
	$A_{90^{\circ}\text{C}}$	$352.66 \pm 15.17$ c	$257.33 \pm 16.50$ g	ND	$257.33 \pm 16.50$ fg
Mango (RMn)	$E_{50\%}$	$817.33 \pm 9.01$ e	$259.43 \pm 7.46$ g	$20.33 \pm 2.30$ d	$279.76 \pm 6.36$ g
	$A_{25^{\circ}\text{C}}$	$568.33 \pm 14.46$ d	$229.33 \pm 11.54$ g	$4.00 \pm 0.59$ b	$233.33 \pm 14.18$ f
	$A_{90^{\circ}\text{C}}$	$847.00 \pm 8.14$ e	$562.66 \pm 30.85$ h	$6.33 \pm 0.76$ bc	$569.00 \pm 30.51$ h
Frijol (RF)	$E_{50\%}$	$81.33 \pm 2.08$ a	$22.33 \pm 2.89$ a	$22 \pm 2.65$ d	$44.33 \pm 3.51$ a
	$A_{25^{\circ}\text{C}}$	$345.33 \pm 41.28$ c	$165.33 \pm 4.04$ d	$7.00 \pm 0.78$ c	$172.33 \pm 4.73$ d
	$A_{90^{\circ}\text{C}}$	$334.67 \pm 14.15$ c	$73.33 \pm 1.15$ b	$5.67 \pm 0.58$ bc	$79.00 \pm 1.00$ b
Maíz (RM)	$E_{50\%}$	$248.33 \pm 20.31$ b	$97.33 \pm 2.08$ c	$2.33 \pm 0.63$ ab	$99.67 \pm 3.21$ c
	$A_{25^{\circ}\text{C}}$	$223.33 \pm 11.02$ b	$223.00 \pm 3.61$ f	ND	$223.00 \pm 3.61$ f
	$A_{90^{\circ}\text{C}}$	$385.33 \pm 11.24$ c	$184.33 \pm 0.58$ e	$18.00 \pm 1.73$ d	$202.33 \pm 2.08$ e

Nota: Los valores se expresan como la media  $\pm$  desviación estándar (n= 3).

Valores en la misma columna con letras diferentes muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

ND= No detectado.

Elaboración propia.

### Capacidad captadora de radicales libres

En general, tras analizar la capacidad captadora de radicales libres (CCRL) de los extractos (tabla 2) para el radical DPPH, los extractos de residuos de fruta, en particular RMn, tuvieron las capacidades más altas. Al observar el efecto del disolvente la mayor capacidad se produjo con los extractos obtenidos con A<sub>90°C</sub>, sin diferencia estadística significativa entre RMz y RMn (1502.33 ± 8.86 y 1532.33 ± 9.86 mg EAA/100 g, respectivamente); su mayor actividad se asocia con las altas concentraciones de CF. En el caso de los rastrojos el mayor abatimiento del radical se produjo con los extractos RM A<sub>90°C</sub> y RF E<sub>50%</sub> (186.67 ± 6.43 y 134.33 ± 8.08 mg EAA/100 g, respectivamente). No muchos autores han investigado la capacidad de los rastrojos, ya que por su naturaleza las concentraciones se infiere no son altas.

En lo que respecta al radical ABTS, se observó un comportamiento semejante al del DPPH, teniendo las capacidades más altas en los extractos de residuos de fruta. Con el extracto A<sub>90°C</sub> RMn se produjo el abatimiento más alto con 2808 ± 10.39 mg ET/100 g, sin diferencia estadística con los extractos acuosos. Con los extractos acuosos de RF no se detectó abatimiento del radical; por el contrario, con el E<sub>50%</sub> se tuvo un abatimiento de 1729.67 ± 48.6 mg ET/100 g, valor incluso mayor al más alto observado en RM con el extracto A<sub>90°C</sub> (1600.33 ± 40.28 mg ET/100 g).

Tabla 2  
*Capacidad captadora de radicales libres de los extractos de residuos*

Residuo	Extracto	DPPH (mg EAA/100 g)	ABTS (mg ET/100 g)
Manzana (RMz)	E <sub>50%</sub>	454±27.51 f	2249.33±18.4 f
	A <sub>25°C</sub>	348±22.51 f	2091±17.69 e
	A <sub>90°C</sub>	1502.33±8.86 h	2651.33±53.5 g
Mango (RMn)	E <sub>50%</sub>	1474.66±97.75 g	2808±10.39 h
	A <sub>25°C</sub>	1417.66±15.17 g	2793.66±6.02 h
	A <sub>90°C</sub>	1532.33±9.86 h	2777.33±8.02 h
Frijol (RF)	E <sub>50%</sub>	186.67±6.43 e	1729.67±48.6 d
	A <sub>25°C</sub>	47.33±3.79 a	ND
	A <sub>90°C</sub>	101.67±6.66 c	ND
Maíz (RM)	E <sub>50%</sub>	101.37±3.51 c	790.33±2.31 b
	A <sub>25°C</sub>	76±7.94 b	384.33±7.77 a
	A <sub>90°C</sub>	134.33±8.08 d	1600.33±40.28 c

Nota: Los valores se expresan como la media ± desviación estándar (n= 3).

Valores en la misma columna con letras diferentes muestran diferencias significativas (p < 0,05).

ND= No detectado.

Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Los residuos agroindustriales son un recurso abundante, día a día se producen miles de toneladas y son poco valorizados, en su mayoría terminan en tiraderos a cielo abierto o terrenos para su descomposición; sin embargo, la acumulación en grandes cantidades de esta biomasa origina contaminación y pérdida de material valioso que, mediante un tratamiento adecuado, podría utilizarse para obtener productos de valor agregado, como alimentos, piensos, combustibles, enzimas, etc. (Azeez, Narayana, & Oberoi, 2017).

En México en 2021 se produjeron más de 631,000 t de manzana, según la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 25 de septiembre de 2022); mientras que para 2022 reportó la producción de 2,237,000 t de mango, como indica la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 4 de enero de 2024), estimando 63,100 y 59,667 t de residuos,

respectivamente, compuestas por cáscaras, semillas, corazones e inclusive fruta en descomposición o no apta para consumo. En el caso de los rastrojos conformados por tallos, hojas y otras partes no utilizadas tras la cosecha, representan alrededor de 50% del total de la planta; en el año 2021 en México se cosecharon alrededor de 27 millones de t de maíz según datos de la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 10 de marzo de 2023) y 1,173,000 t de frijol en datos de la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 27 de febrero de 2022), estimando una producción de 13,500,000 y 586,500 t de rastrojos, respectivamente. Si se analizan estas cifras, las cantidades de residuos generadas anualmente son muy elevadas y el porcentaje de aprovechamiento es bajo, por lo que es indispensable establecer estrategias para un mayor uso o mejora de disposición final. Estos residuos pueden usarse para obtener ingredientes naturales para la industria alimentaria; como aditivos, colorantes y saborizantes o pueden ser transformadas en compost y fertilizantes orgánicos para mejorar la calidad del suelo (Marquez Molina et al., 2023), asimismo, pueden ser utilizados para producir biocombustibles, como bioetanol y biogás (Cadore Favaretto et al., 2023).

Se sabe que el reino vegetal es una gran fuente de compuestos bioactivos, derivados del metabolismo secundario de las plantas, distribuidos en todas sus partes anatómicas en distinta proporción y variaciones en su perfil; particularmente se acumulan en mayor proporción en las flores y frutos. En su mayoría estos compuestos tienen capacidad antioxidante, que promueve beneficios a la salud, por lo que pueden ser aprovechados en diversas industrias como la farmacéutica, la cosmética y la alimentaria (Marquez Molina et al., 2023); siendo una fuente renovable y sostenible de estas moléculas, para el desarrollo de productos innovadores y sustentables.

En la actualidad existe una gran diversidad de técnicas reportadas para la extracción de compuestos bioactivos; sin embargo, la extracción con disolventes sigue siendo de las más comunes y económicas. La selección adecuada del disolvente de extracción es fundamental, ya que éste puede disolver o no los CF de forma selectiva (Dewi et al., 2022). Además, una mala elección podría generar riesgos a la salud, ya que estas sustancias pueden ocasionar intoxicación crónica, problemas respiratorios, de hígado y riñón; inclusive en trazas, además de que tienen capacidad de interacción con ácidos nucleicos, produciendo mutagénesis y/o carcinogénesis de manera inmediata o a largo plazo (Cárdenas-Bustamante et al., 2007). En este sentido, la selección de agua y etanol como disolventes de extracción no representa riesgos a la salud y por su alta polaridad extraen favorablemente los CF, que en su mayoría se encuentran glucosilados dentro de las vacuolas de las células (Vargas-León et al., 2022a).

La tendencia general en cuanto a la mayor concentración de FT en los residuos de fruta, particularmente en mango era algo esperado, ya que es bien sabido que los CF son necesarios para el desarrollo fisiológico de los vegetales, favoreciendo el fenómeno de polinización y protección frente a condiciones ambientales adversas y predadores; por lo que las mayores concentraciones se acumulan en las partes aéreas de la planta, como los frutos (Azeez et al., 2017). Autores como Serna Cock y Torres León (2015), trabajando con cáscaras de mango Tommy y de mango Keitt, reportaron un contenido de FT de 3587.71 y 4671.02 mg/100 g, respectivamente. A su vez, Singh Sogi, Siddiq, Greiby y Dolan (2013) reportaron en cáscaras de mango Tommy Atkins (cultivada en EE. UU.) una concentración de 3185 mg/100 g, donde la quercetina es el flavonoide más abundante (Fu et al., 2011).

Respecto a la CCRL Dorta, Lobo y González (2012) reportan altas capacidades inhibitorias del radical a partir de la extracción con etanol y etanol-agua, de cáscara de

mango deshidratada, obteniendo concentraciones equivalentes, superiores a los 10,000 mg EAA/100 g; la diferencia depende directamente de la concentración de CF. Singh Sogi et al. (2013) reportan actividad frente al radical ABTS para cáscara de mango, entre 187 y 192  $\mu\text{mol ET/g}$ ; mientras que Dorta et al. (2012) reportan capacidades entre los 25,000 y 39,000 mg ET/100 g para extracción con etanol-agua y de 11,000 a 27,000 mg ET/100 g para extracción con etanol.

Masibo y He (2008) mencionan que los principales compuestos fenólicos presentes en mango con capacidad antioxidante son magniferina, catequina, epicatequina, quercetina, isoquercetina (quercetina-3-glucósido), antocianinas, fisetina, astragalina (Kaempferol-3-glucósido), ácido gálico y elágico, ácido protocatecuico y galato de propilo y metilo; por lo que la presencia de éstos en la cáscara es significativa, teniendo en cuenta que al quitarla del fruto suelen quedarse restos significativos de pulpa. Por otro lado, para manzana las concentraciones de CF fueron muy similares a la reportada por Vargas León et al. (2022b) de 327.60 mg EAG/100 g, usando orujo de manzana para la producción de botanas extrudidas de maíz amarillo, enriquecidas con este residuo, rico en flavonoides como kaemferol y quercetina (Fu et al., 2011) para la obtención de un alimento funcional, así mismo reportan respecto a la CCRL capacidad de abatimiento del radical ABTS de 3829.39  $\mu\text{M TE/100 g}$ , asociando la capacidad a los CF; Grigoras et al. (2013) mencionan que los principales CF encontrados en manzana son ácido gálico, ácido clorogénico, catequinas, rutina y floridzina, y su presencia en los residuos es considerable. En ambos casos las diferencias de concentración se relacionan directamente con la variedad del fruto, la época de cosecha, su estadio de maduración, el pretratamiento que se les da a los residuos antes de ser usados y el tipo de extracción.

Las concentraciones de CF disminuyen en tallos y raíces, ya que están constituidas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, quedando únicamente estas partes después de la cosecha, conformando los rastrojos (Azeez et al., 2017); en consecuencia, estos residuos han sido menos interesantes para ser estudiados y aprovechados para la obtención de CF; sin embargo, la diferencia en su perfil fitoquímico los hace de interés para este trabajo. Dentro de las investigaciones desarrolladas, Vázquez-Olivo et al. (2017), analizando diversas partes de la planta de maíz que componen los rastrojos, mediante una extracción con etanol al 80%, reportaron un contenido en tallo de 933.82 EAG/100 g y en hoja de 578.25 mg EAG/100 g. Por su parte, Ruiz Mondrgón, Viladomat Corona, Rivera Trejo, Ramírez Sotelo y Piña Guzmán (2014), trabajando con la vaina de frijol, mediante extracción con diferentes porcentajes de etanol (50, 60, 70 y 80) reportaron valores de 241.88, 102.51, 116.94 y 536.27 mg EAG/ml, respectivamente, observando que la variación se asocia con la parte y proporción de la planta que componen las muestras, la época de cosecha y el disolvente de extracción usado.

En el caso de su CCRL Vázquez-Olivo et al. (2017), con extractos etanólicos del tallo y de la hoja de maíz, reportaron capacidades de 175 y 605 mmol ET/100 g, estableciendo así que las diferentes partes de la planta de maíz acumulan altas concentraciones de CF, que permanecen en los rastrojos y tienen capacidad de abatir radicales. Para el caso del RF, la información respecto a su CCRL es limitada. En las plantas de maíz Vázquez Olivo (2016) reporta la presencia de ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido protocatecuico, apigenina, luteolina, quercetina, naringenina, isorhamnetina y catequina; teniendo presencia importante de CF insolubles como la lignina y el ácido ferúlico, coincidiendo algunos de estos en la planta de frijol, que cuenta con un menor número de reportes, debido a que la investigación se centra en los granos.

Los resultados de esta investigación muestran una relación proporcional entre la CCRL con el contenido de FT, teniendo que a mayor concentración de esas sustancias existe una mayor capacidad de abatimiento. En el caso de los flavonoides se ha observado que pueden dirigir fácilmente la eliminación de RL a través de la donación de átomos de hidrógeno. Con el ensayo DPPH y ABTS se puede ver que los flavonoles con grupos 4' OH y orto di-OH en el anillo B suelen ser más efectivos, coincidiendo esto con la alta CCRL producida por los extractos con altas concentraciones de flavanoles y flavonoles; además la actividad antioxidante *in vitro* depende de la disposición de los grupos hidroxilo, que afectan considerablemente la actividad, en algunos casos mediante la extracción con disolventes; se pueden generar ciertas hidroxilaciones que la favorezcan o no, teniendo la posibilidad de aumentar la actividad mediante la polimerización de monómeros de flavonoides como las proantocianidinas (polímeros de catequinas); estos polímeros son excelentes antioxidantes debido a la gran cantidad de grupos hidroxilo en sus moléculas, así mismo, la actividad puede promoverse mediante la presencia de dobles enlaces en el anillo fenólico, cadenas laterales de hidroxilo y la glicosilación de antocianidinas (Shen et al., 2022).

Cabe destacar que muchos de los compuestos fenólicos han sido estudiados a partir de diversas fuentes, demostrando una gran diversidad de efectos benéficos a la salud asociados a su actividad antioxidante, antiproliferativa, antimicrobiana, antimutagénica, antiangiogénica, neuroprotectora, hipotensante, hipolipemiente, etc. (Quirós Saucedo et al., 2017). Conociendo la importancia de la economía circular, con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede establecer que los residuos de mango y manzana, así como los rastrojos de frijol y maíz son materia prima de bajo costo para la recuperación de compuestos activos que pueden ser usados en la prevención de diversas enfermedades asociadas al EO, teniendo como metas establecer la eficiencia de la extracción y recuperación, la comerciabilidad de los extractos o componentes individuales y la viabilidad práctica al usarse en otros productos.

## CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados se pudo observar que la extracción con agua a temperatura de ebullición (92 °C) y con etanol a 50% produjo mayor recuperación de compuestos fenólicos, con alta capacidad captadora de los radicales DPPH y ABTS, teniendo que los residuos de fruta tuvieron las concentraciones más altas de CF y, por tanto, la mayor CCRL; mientras que en los rastrojos las concentraciones fueron mucho más bajas, por tanto, su CCRL fue menor; sin embargo, debido a su naturaleza puede haber variaciones en los grupos de compuestos sintetizados; lo que favorecería obtener mezclas más complejas que podrían tener sinergismo y, por ende, mayor actividad biológica.

Hoy en día el uso de compuestos fenólicos ha tomado fuerza por la gran diversidad de beneficios a la salud que representa su consumo; sin embargo, muchas fuentes como los frutos rojos son costosos y en algunos casos inaccesibles para todo el público, por lo que usar residuos agroindustriales como una fuente económica de estos compuestos es una excelente alternativa para recuperar altas concentraciones aprovechables en la formulación de alimentos funcionales o suplementos alimenticios, que favorezcan la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo. La investigación y el desarrollo de tecnologías para su aprovechamiento pueden contribuir significativamente a la sostenibilidad de la industria agroalimentaria y al desarrollo de una economía más circular, buscando prevenir enfermedades que van en aumento en poblaciones jóvenes, lo que representa un problema para el sector salud de cualquier país.

## Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Cooperación Academia Industria (CCAI) de la Universidad Tecnológica de Tecámac y al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores del Conahcyt.

## REFERENCIAS

- Azeez, S., Narayana, C. K., & Oberoi, H. S. (2017). Extraction and utilisation of bioactive compounds from agricultural waste. En Q. V. Young (Ed.), *Utilisation of bioactive compounds from agricultural and food production waste* (127-158). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315151540>
- Barba Evia, J. R. (2018). México y el reto de las enfermedades crónicas no transmisibles: El laboratorio también juega un papel importante. *Revista Latinoamericana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 65(1), 4-17. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=79689>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2018). Fruits: A source of polyphenols and health benefits. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Natural and artificial flavoring agents and food dyes* (189-228). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00007-7>
- Cadore Favaretto, D. P., Rempel, A., Lanzini, J. R., Mattana Silva, A. C., Lazzari, T., Barbizan, L. D., Brião, V. B., Colla, L. M., & Treichel, H. (2023). Fruit residues as biomass for bioethanol production using enzymatic hydrolysis as pretreatment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(6). 144. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03588-2>
- Cárdenas-Bustamante, O., Varona-Uribe, M., Patiño-Florez, R. I., Groot-Restrepo, H., Sicard-Suárez, D., Torres-Carvajal, M. M., & Pardo-Pardo, D. (2007). Exposición a solventes orgánicos y efectos genotóxicos en trabajadores de fábricas de pinturas en Bogotá. *Revista de Salud Pública*, 9(2), 275-288. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642007000200011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642007000200011)
- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100. <https://www.binasss.sa.cr/ojssalud/index.php/mlcr/article/view/116>
- Dewi, S. R., Stevens, L. A., Pearson, A. E., Ferrari, R., Irvine, D. J., & Binner, E. R. (2022). Investigating the role of solvent type and microwave selective heating on the extraction of phenolic compounds from cacao (*Theobroma cacao* L.) pod husk. *Food and Bioproducts Processing*, 134, 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.011>
- Dorta, E., Lobo, M. G., & González, M. (2012). Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>
- Fu, L., Xu, B. T., Xu, X. R., Gan, R. Y., Zhang, Y., Xia, E. Q., & Li, H. B. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129(2), 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., & Yañez-Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>

- Grigoras, C. G., Destandau, E., Fougère, L., & Elfakir, C. (2013). Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 49, 794-804. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.026>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. A., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15(1), 57-60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Masibo, M., & He, Q. (2008). Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(4), 309-319. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00047.x>
- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., & Galáan-Hernández, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41. [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num6/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N6\\_4.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num6/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N6_4.pdf)
- Marquez Molina, O., Domínguez-Avila, J. A., Lopez-Martínez, L. X., Pareek, S., Madera Santana, T. J., & González Aguilar, G. A. (2023). Valorization of tropical fruit peel powders: Physicochemical composition, techno-functional properties, and in vitro antioxidant and antidiabetic activities. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 6, 577-587. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i6.3105>
- Muñoz Jáuregui, A. M., Ramos-Escudero, F., Alvarado-Ortiz Ureta, C., Castañeda Castañeda, C. B., & Lizaraso Caparó, F. (2009). Evaluación de compuestos con actividad biológica en cáscara de camu camu (*Myrciaria dubia*), guinda (*Prunus serotina*), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) y carambola (*Averrhoa carambola* L.) cultivadas en Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(4), 431-438. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2009000400005](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2009000400005)
- Pękal, A., & Pyrzyńska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*, 7, 1776-1782. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>
- Quirós Saucedo, A. E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Wall-Medrano, A., de la Rosa, L. A., González-Aguilar, G. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2017). Biological actions of phenolic compounds. En E. M. Yahia (Ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health* (2ª ed., 125-138). <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch6>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Ruiz Mondragón, M. P., Viladomat Corona, M., Rivero Trejo, J. L., Ramírez Sotelo, G., & Piña Guzmán, A. B. (2014). Caracterización fitoquímica del extracto total de la vaina de frijol (*Phaseoli pericarpium*) y evaluación de su actividad hipoglucemiante. *XI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia* (5 pp.). [https://congresos.cio.mx/memorias\\_congreso\\_mujer/archivos/extensos/sesion1/S1-MCS31.pdf](https://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion1/S1-MCS31.pdf)
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (27 de febrero de 2022). *Estima Agricultura crecimiento de 11.4% de la producción de frijol en 2021; mantiene tendencia al alza* [Comunicado de prensa]. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/estima-agricultura-crecimiento-de-11-4-de-la-produccion-de-frijol-en-2021-mantiene-tendencia-al->



- Vazquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L., & Heredia, J. B. (2017). Antioxidant capacity of lignin and phenolic compounds from corn stover. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 95-102. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0028-5>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.