



Acta Botanica
Mexicana

Caracterización fitoquímica, antioxidante, nutricional y toxicidad en cinco especies comestibles de Asclepiadoideae (Apocynaceae) del noroeste de México

Phytochemical, antioxidant, nutritional, and toxicity characterization of five edible species of Asclepiadoideae (Apocynaceae) from northwestern Mexico

Alma Irene Rodríguez-Acuña^{1,6} , Gabriela López-Angulo^{2,6} , Francisco Delgado-Vargas² , Yudith Escobar-Zúñiga³ ,

Juan Fernando Pío León^{4,5,7} 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Apocynaceae es una familia altamente diversa que se caracteriza por incluir tanto a especies altamente tóxicas como medicinales y comestibles. Sin embargo, a la fecha existen muy pocos estudios que demuestren la seguridad o toxicidad del consumo de sus especies comestibles o de sus aportes nutricionales. El presente trabajo tuvo como objetivos evaluar el contenido de fitoquímicos, toxicidad, actividad antioxidante y composición proximal de frutos e inflorescencias de cinco especies de Apocynaceae del noroeste de México: *Funastrum clausum*, *F. heterophyllum*, *F. pannosum*, *Gonolobus naturalistae* y *Ruehssia tholiformis*.

Métodos: Se realizó un tamizaje fitoquímico para identificar familias de compuestos potencialmente tóxicos. La toxicidad se evaluó en modelos de *Artemia salina* y ratón. Los resultados se compararon con *Asclepias curassavica*. El contenido de fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante (ABTS, DPPH y ORAC) se evaluaron por métodos espectrofotométricos. El análisis proximal se determinó mediante las metodologías de la AOAC y para la fibra dietaria se empleó un kit comercial.

Resultados clave: A diferencia de *A. curassavica*, las especies evaluadas carecen de fitoquímicos potencialmente tóxicos (p.ej., alcaloides o antracénicos) y fueron inocuas en los dos modelos evaluados. El mayor contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante se encontró para los frutos de *Funastrum clausum* y las inflorescencias de *F. pannosum*, mientras que los menores fueron para los frutos de *R. tholiformis* y *G. naturalistae*. El porcentaje de proteína (10.74 - 14.71 b.s.), lípidos (3.97 - 7.19 b.s.) y fibra dietaria (24.15 - 36.78 b.s.) fue similar al de otras verduras como brócoli, pepino, chayote y nopal.

Conclusiones: Las especies de Apocynaceae evaluadas no presentaron indicios de toxicidad y su consumo puede contribuir significativamente con fibra dietaria y fitoquímicos antioxidantes, por lo que se respalda su uso tradicional.

Palabras clave: fibra dietaria, *Funastrum*, *Gonolobus*, *Marsdenia*, plantas silvestres comestibles, *Ruehssia*.

Abstract:

Background and Aims: The Apocynaceae family shows high diversity and includes toxic, medicinal, and edible species. However, the studies on the safety, toxicity, and nutritional value of its edible species are scarce. The objectives of this study were to evaluate the phytochemicals content, toxicity, antioxidant activity, and proximate composition of the fruits and inflorescences of five Apocynaceae species from northwestern Mexico: *Funastrum clausum*, *F. heterophyllum*, *F. pannosum*, *Gonolobus naturalistae* y *Ruehssia tholiformis*.

Methods: Phytochemical analyses were carried out to identify families of compounds with toxic potential. Toxicity was evaluated using *Artemia salina* and mouse models. The results were compared to those from *Asclepias curassavica*. Total phenolic and flavonoid contents, as well as antioxidant activity (ABTS, DPPH, and ORAC), were evaluated using spectrophotometric methods. Proximate composition was determined using AOAC methodologies, and dietary fiber was analyzed with a commercial kit.

Key results: Compared to *A. curassavica*, the evaluated species lacked potentially toxic phytochemicals (e.g., alkaloids or anthracenes) and were found to be non-toxic in both models. *Funastrum clausum* fruit and *F. pannosum* inflorescence showed the highest phenolic content and antioxidant activity, whereas the fruits of *R. tholiformis* and *G. naturalistae* had the lowest. The protein (10.74% - 14.71% d.w.), lipid (3.97% - 7.19% d.w.), and dietary fiber (24.15% - 36.78% d.w.) contents were comparable to other vegetables such as broccoli, cucumber, chayote, and *Opuntia* cladodes.

Conclusions: The studied Apocynaceae species were non-toxic, and their consumption could significantly contribute to dietary fiber intake and antioxidant phytochemicals, supporting their traditional use as food.

Key words: dietary fiber, *Funastrum*, *Gonolobus*, *Marsdenia*, *Ruehssia*, wild edible plants.

Adscripciones en la siguiente página.

*Autor para la correspondencia: d1j17kk@hotmail.com

Recibido: 14 de abril de 2025.

Revisado: 28 de mayo de 2025.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 3 de julio de 2025.

Publicado Primero en línea: 21 de agosto de 2025.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 132 (2025).

Citar como: Rodríguez-Acuña, A. I., G. López-Angulo, F. Delgado-Vargas, Y. Escobar-Zúñiga y J. F. Pío León. 2024. Caracterización fitoquímica, antioxidante, nutricional y toxicidad en cinco especies comestibles de Asclepiadoideae (Apocynaceae) del noroeste de México. Acta Botanica Mexicana 132: e2462. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm132.2025.2462>



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

La familia Apocynaceae tiene distribución cosmopolita e incluye más de 4300 especies de herbáceas perennes, arbustos, lianas y suculentas agrupadas en cinco subfamilias y alrededor de 322 géneros (Christenhusz et al., 2017). En México, esta familia ocupa el lugar número 12 en diversidad con más de 418 especies, 52 géneros y tres subfamilias: Rauvolfioideae, Apocynoideae y Asclepiadoideae, siendo esta última la más diversa con aproximadamente 75% de las especies del país (Alvarado-Cárdenas et al., 2020).

Dentro de Apocynaceae se encuentran especies de interés farmacéutico (medicamentos y compuestos tóxicos), industrial (p.ej., caucho y pigmentos) y alimenticio. Por ejemplo, del tallo y hojas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don (Rauvolfioideae) se obtienen alcaloides (vinblastina y vincristina) empleados como antineoplásicos (Bhadane et al., 2018). De especies de los géneros *Asclepias* L., *Nerium* L., *Cerbera* L., *Thevetia* L., *Strophanthus* DC. y *Apocynum* L. se han aislado cardenólidos empleados contra la insuficiencia cardíaca y compuestos tóxicos (Al-Snafi, 2015; Bhadane et al., 2018). En el género *Asclepias* se han reportado especies con alcaloides potencialmente mortales, mientras que otras son empleadas en medicina tradicional por sus propiedades analgésicas y para tratar problemas dermatológicos y respiratorios (p.ej., *A. albicans* S. Watson, *A. glaucescens* Kunth y *A. quinquedentata* A. Gray; Al-Snafi, 2015; Fernández-Brewer et al., 2008).

Por otro lado, a pesar de la gran cantidad de géneros y especies con demostrada toxicidad, quizás el uso más frecuente de especies de Apocynaceae es como alimento. Por ejemplo, la ciruela de Natal (*Carissa macrocarpa* (Eckl.) A. DC.) y otras especies africanas de *Carissa* L. producen frutos comestibles, al igual que varias especies de los géneros *Araujia* Brot. y *Gonolobus* Michx. en Sudamérica (Bayón y Arambarri, 1999; Stevens 2005; Christenhusz et al., 2017). Las raíces o bulbos de diferentes especies de *Ceropegia* L. y *Marsdenia* R. Br. también se consumen, así como las hojas

de *Dregea* E. Mey. (Christenhusz et al., 2017) y de varias *Asclepias* mexicanas (Fernández-Brewer et al., 2008; González-Elizondo et al., 2024).

En México, los frutos comestibles de diferentes especies de la subfamilia Asclepiadoideae reciben comúnmente el nombre de talayotes, e incluye especies de diferentes géneros como *Cynanchum* L., *Gonolobus*, *Polystemma* Decne. (citados como *Matelea* Aubl.), *Ruehssia* H. Karst. (citados como *Marsdenia*) y *Talayotea* L.O. Alvarado (Ávila-Uribe et al., 1994; Yetman y Van Devender, 2002; Pío-León et al., 2017; Alvarado-Cárdenas, 2021; Sandoval-Ortega et al., 2023). Estos frutos se consumen crudos directamente de la planta cuando son tiernos o asados, o hervidos en agua con sal en etapas de maduración intermedia. De manera similar, de las inflorescencias y los frutos tiernos de especies de *Funastrum* E. Fourn. se ha reportado su consumo como quelites en el noroeste de México, principalmente entre las comunidades nativas de Sonora (Hodgson, 2001). Sin embargo, a pesar de la amplia tradición en el consumo de talayotes en México y de los potenciales efectos tóxicos que existen en la familia Apocynaceae, no existen estudios sobre la composición nutricional, fitoquímica o posible toxicidad de estas especies para recomendar o advertir sobre su consumo.

En el presente trabajo se analiza la composición nutricional, fitoquímica, antioxidante y toxicidad de cinco especies de la subfamilia Asclepiadoideae (Apocynaceae) del noroeste de México, con el propósito de contribuir al conocimiento sobre los aportes a la nutrición o posibles efectos perjudiciales de su consumo.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se estudiaron los frutos de *Funastrum clausum* (Jacq.) Schltr., *Funastrum heterophyllum* (Engelm. ex Torr.) Standl., *Gonolobus naturalistae* M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado y *Ruehssia tholiformis* (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado)

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Programa de Maestría en Ciencias Biomédicas, Ciudad Universitaria, Avenida de las Américas y Boulevard Universitarios, 80013 Culiacán, Sinaloa, México.

²Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Ciudad Universitaria, Avenida de las Américas y Josefa Ortiz, 80040 Culiacán, Sinaloa, México.

³Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciudad Universitaria, Avenida de

de las Américas y Boulevard Universitarios, 80013 Culiacán, Sinaloa, México.

⁴Instituto de Ecología, A.C., Red de Biodiversidad y Sistemática, carretera antigua a Coatepec 351, Col. El Haya, 91073 Xalapa, Veracruz, México.

⁵Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Sigma 119, Col. 20 de Noviembre II, 34234 Victoria de Durango, Durango, México.

⁶Igual contribución.



L.O. Alvarado, así como inflorescencias de *Funastrum clausum*, *F. heterophyllum* y *F. pannosum* (Decne.) Schltr. (Fig. 1). Los materiales se recolectaron del medio silvestre en di-

ferentes municipios de Sinaloa, México (Cuadro 1). Los frutos se cosecharon en madurez comercial, de acuerdo con sus recomendaciones de consumo que, para estas espe-

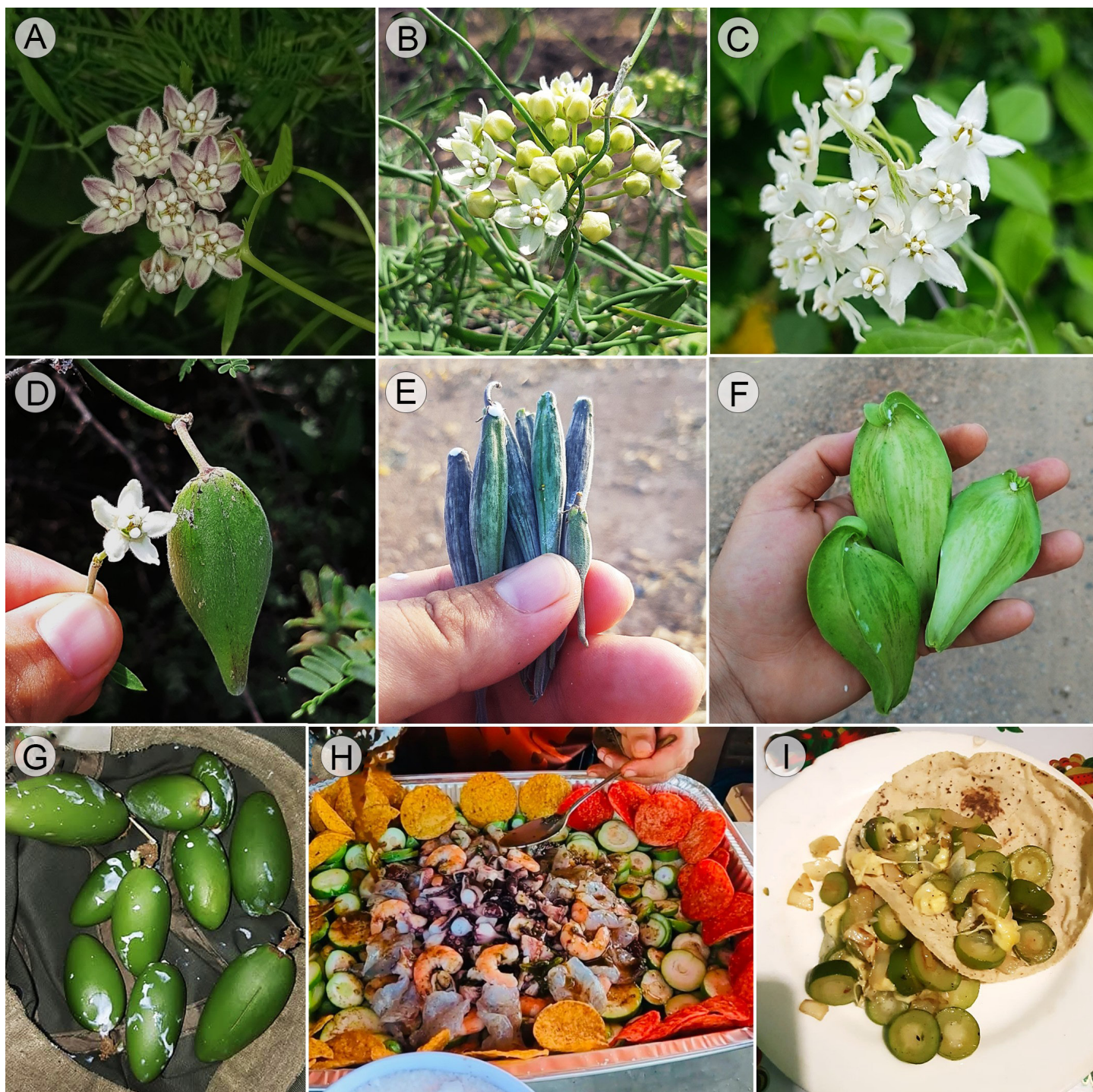


Figura 1: Especies de Asclepiadoideae evaluadas en el presente estudio. A, E. *Funastrum heterophyllum* (Engelm. ex Torr.) Standl.; B, D. *Funastrum clausum* (Jacq.) Schltr.; C. *Funastrum pannosum* (Decne.) Schltr.; F. *Gonolobus naturalistae* M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado; G. *Ruehssia tholiformis* (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado; H, I. Diferentes formas de preparación para consumo de los frutos de *Ruehssia tholiformis* y otras especies de *Ruehssia* en Sinaloa, México. Fotos de Juan Fernando Pío León (A-F, G, I) y Gabriela López Angulo (H).

Cuadro 1: Localidades y fecha de colecta de las especies comestibles de Asclepiadoideae empleadas en este estudio.

	Especies	Municipios de colecta	Coordenadas	Fecha de colecta	No. de colecta/ obs. en iNaturalistMX
Frutos	<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado	San Ignacio Elota	24.0867, -106.6439 23.4078, -106.5219	21.IX.2021 25.VII.2021	Pío-León 356 CIIDIR/ 115820617
	<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado	Mazatlán	23.5256, -106.2712	3.X.2021	Pío-León 246, CIIDIR
	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	Elota	23.8517, -106.8517	21.VI.2021	115820609
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	Elota	23.8978, -106.9174	19.VII.2021	Pío-León 378 CIIDIR/ 115820620
Inflorescencias	<i>Funastum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	Elota	23.8517, -106.8517	21.VI.2021	115820609
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	Elota	23.8978, -106.9174	19.VII.2021	Pío-León 378 CIIDIR/ 115820620
	<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.	Elota	23.3080, -106.4857	20.VIII.2021	Pío-León 229 CIIDIR/ 57867302
Parte aérea	<i>Asclepias curassavica</i> L.	Culiacán	24.8137, -106.3905	12.VIII.2021	294398591
		Elota	24.0959, -106.6768	14.VIII.2021	291292300

cies, es previo a la madurez fisiológica. Para las inflorescencias se seleccionaron tanto botones como flores en anthesis. De los frutos se recolectaron aproximadamente 2 kg y de las inflorescencias 1 kg. En cada caso, los materiales recolectados se trasladaron inmediatamente al laboratorio de la Facultad de Ciencias Químico-Biológica de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde se lavaron en agua corriente, se cortaron en rodajas de 1 cm de ancho (frutos) y se congelaron a -70 °C (ThermoScientific TS series, Thermo Fisher Scientific Inc., Massachusetts, EUA) para liofilización y posteriormente a -20 °C (CH-25, Torrey, Nuevo León, México) hasta su posterior uso. El material para el análisis proximal se procesó mediante las metodologías señaladas para cada componente, mientras que para el resto de análisis se emplearon extractos metanólicos.

Para cada especie se prepararon especímenes que se depositaron en los herbarios CIIDIR y MEXU, así como registros fotográficos en la plataforma iNaturalistMX: *Funastrum heterophyllum* (iNaturalistMX, 2024a), *Funastrum clausum* (Pío-León 378, CIIDIR!, iNaturalistMX, 2024b), *Funastrum pannosum* (Pío-León 229, CIIDIR!, iNaturalistMX, 2024c),

Gonolobus naturalistae (Pío-León 246, CIIDIR!) y *Ruehssia tholiformis* (Pío-León 356, CIIDIR!, iNaturalistMX, 2024d). Adicionalmente, para el tamizaje fitoquímico y pruebas de toxicidad se emplearon las partes aéreas de *Asclepias curassavica* L. (iNaturalistMX, 2020e, f) como control positivo.

Preparación de extractos metanólicos (EM)

El material vegetal fue liofilizado, molido y tamizado por una malla número 40 para obtener la harina correspondiente. Posteriormente, la harina y el metanol se mezclaron en proporción 1:20 p/v, cambiando el disolvente cada 24 horas. Al final todas las fases de metanol fueron mezcladas y concentradas por evaporación del solvente en un rotavapor (Buchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza). Los EM se almacenaron a -20 °C en condiciones de oscuridad hasta su uso.

Análisis fitoquímico cualitativo

La presencia o ausencia de las principales familias de fitoquímicos se determinó por ensayos colorimétricos y de precipitación, así como por cromatografía en capa fina (Har-



bone, 1984): hidrólisis ácida y revelación en capa fina con vainillina y UV a 253 para fenólicos; reacción de Salkowski para terpenos y esteroides; prueba de Shinoda para flavonoides; reacción con solución de gelatina al 1% y solución de sulfato de quinina con FeCl_3 para taninos; formación de espuma para saponinas; fluorescencia amarilla por reacción de NaOH para cumarinas; reacción de Bornträger por antracénicos para la detección de quinonas; reactivos de Dragendorff, Mayer y Wagner para la identificación de alcaloides; y reactivos de Baljet, Raymond-Marthoud, Keller-Killiari, Lieberman-Burchard y Salkowski para cardiotónicos. Los resultados de cada reacción se expresaron en términos cualitativos de acuerdo con la intensidad de la reacción observada: - = ausente, + = presente, ++ = abundante, +++ = muy abundante.

Toxicidad en *Artemia salina*

Se utilizó la metodología descrita por Meyer et al. (1982) con algunas modificaciones. Los EM se disolvieron en DMSO al 10% en solución salina para obtener una solución concentrada de 2000 $\mu\text{g/ml}$. La evaluación se realizó por triplicado en tubos de ensayo y se empleó DMSO al 10% v/v como control negativo. De resultar tóxicos, cada EM se evaluó a concentraciones en el rango de 10 a 1500 $\mu\text{g/ml}$. El nivel de toxicidad se estableció con la escala de CYTED (Meyer et al., 1982; Navarro et al., 2010): extremadamente tóxico (1-10 $\mu\text{g/ml}$), altamente tóxico (10-100 $\mu\text{g/ml}$), moderadamente tóxico (100-500 $\mu\text{g/ml}$), ligeramente tóxico (500-1000 $\mu\text{g/ml}$), prácticamente no tóxico (1000-1500 $\mu\text{g/ml}$) y relativamente inocuo (>1500 $\mu\text{g/ml}$).

Toxicidad aguda en modelo de ratón

Este ensayo se realizó siguiendo el método establecido por la OECD (2002), aprobado por el comité de ética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (protocolo 33/0521). Se emplearon ratones balb/c hembras de entre 8 y 12 semanas de edad y con un peso promedio de 24 a 28 g. Los animales se mantuvieron en el bioterio de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, a 25 °C, ciclos de luz/oscuridad de 12 h y agua y dieta *ad libitum*. Los ratones fueron distribuidos de manera aleatoria en 8 grupos ($n = 3$) y un grupo para el control negativo. Los extrac-

tos homogenizados en Tween 80 al 10% en agua destilada fueron administrados por vía intragástrica en dosis única (2000 mg/kg p.c.). Al grupo control negativo se le administró solo el Tween 80. Los animales fueron tratados bajo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana para el Uso y Bienestar de los Animales de Laboratorio (DOF, 2021).

Después de administrar la dosis, cada ratón fue monitoreado de manera individual y continua durante los primeros 30 min, posteriormente cada 30 min hasta las 4 h y enseguida cada 24 h durante 15 días. El peso de los animales se registró antes de administrarles las dosis y en el día 30 antes del sacrificio. Los animales fueron sedados y sacrificados por dislocación cervical, posteriormente a sus órganos se les hizo un análisis macroscópico.

Fenólicos totales

Los fenólicos totales se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rosi, 1965). Se prepararon soluciones de 5 y 10 mg/ml de los extractos metanólicos en metanol. Las muestras se colocaron en una microplaca de 96 pocillos para medir la absorbancia a 765 nm en un lector Synergy HTX (Agilent, Santa Clara, California, EUA). Para el blanco se utilizó metanol puro. Para la cuantificación se elaboró una curva de calibración con ácido gálico (0-500 $\mu\text{g/ml}$) y los resultados se expresaron como microgramos Equivalentes de Ácido Gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g b.s.).

Flavonoides totales

Los flavonoides totales se analizaron en microplaca siguiendo la metodología de Quettier-Deleu et al. (2000). Los extractos metanólicos se evaluaron a 5 y 20 mg/ml. En la cuantificación se empleó una curva de calibración con quercetina (0-500 mg/ml), midiendo la absorbancia a 405 nm en el lector de microplacas Synergy HTX y registrando los resultados como Equivalentes de Quercetina (mg EQ/g b.s.).

Taninos condensados

Para la cuantificación de taninos totales se prepararon soluciones de vainillina al 0.5% y de HCl al 4% como lo describe la metodología de Price et al. (1978). El extracto metanólico (10 mg) se disolvió en 1 ml de metanol y se homogenizó



en vórtex; para el blanco se empleó metanol. El ensayo se realizó en microplaca de 96 pocillos y se leyó a una absorbancia de 500 nm en el lector Synergy HTX. El contenido de taninos totales se determinó empleando una curva de calibración de catequina (0-200 µg/ml en metanol) y se expresó como µg Equivalentes de Catequina por mg de harina en peso seco (mg EC/g b.s.).

Actividad antioxidante in vitro

Método DPPH

El método mide la capacidad de las sustancias para donar electrones al radical 1,1-difenil-picrilhidrazilo (DPPH) (Brand-Williams et al., 1995). Las muestras se disolvieron en DMSO (20 mg/ml) y 50 µl se mezclaron con 150 µl de metanol para obtener una concentración de 5 mg/ml. Como blanco y para la corrección de color se utilizó metanol. En la cuantificación se utilizó una curva de calibración con soluciones de Trolox (0-200 µg/ml), procesándose de la misma manera que las muestras. El ensayo se realizó en microplaca y se registró la absorbancia a 515 nm obtenida en lector Synergy HTX. La actividad antioxidante fue expresada en micromoles Equivalentes de Trolox (µmol ET/g de EM).

Método ABTS

Este método colorimétrico se basa en la oxidación del reactivo ABTS (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); el radical formado es inactivado por antioxidantes mediante la transferencia de electrones o átomos de hidrógeno (Re et al., 1999). El ABTS^{•+} se preparó mezclando 5 ml de reactivo ABTS 7 mM y 88 µl de persulfato de potasio 140 mM y la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 12-16 h a 25 °C. El radical ABTS^{•+} fue diluido en una solución tampón de fosfato (PBS) (7 mM, pH 7.4) para obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.020 a 734 nm. Las muestras fueron preparadas de la misma manera que en el ensayo por DPPH. Para el llenado de la placa, a cada pozo se añadieron 25 µl de la muestra y 175 µl de la solución de ABTS^{•+}; como blanco se utilizó ABTS^{•+}. La placa fue incubada en oscuridad a 37 °C durante 10 min y se registró la absorbancia a 734 nm en el lector Synergy HTX. Para la cuantificación se preparó una curva de calibración de Trolox (0-200 µg/ml) y la

actividad antioxidante fue expresada en micromoles Equivalentes de Trolox (µmol ET/g g.s.).

Método ORAC

Este método mide la inactivación de radicales peroxilo a través de una disminución de fluorescencia (Huang et al., 2022; Prior et al., 2005). Las muestras se prepararon a una concentración 1:20 v/v en PBS (75 mM, pH 7.4). Posteriormente, en una microplaca negra de 96 pocillos se añadieron 25 µl de muestra, 25 µl de PBS como blanco o 25 µl de Trolox (25-125 µM). La microplaca se colocó en el lector Synergy HTX que automáticamente añadió 200 µl de fluoresceína (0.96 µM) y 75 µl de APPH (95.8 mM). Las longitudes de onda empleadas en la medición de la fluorescencia fueron 485 nm (ex) y 525 nm (em); las lecturas se tomaron cada minuto hasta los 75 min. La actividad antioxidante fue determinada contrastando el área bajo la curva obtenida con Trolox y la obtenida con la muestra. Los resultados son expresados como micromoles Equivalentes de Trolox (µmol TE/g b.s.).

Composición proximal

El análisis proximal se basó en las metodologías de la AOAC (1999): Kjeldahl (960.52) para proteínas, Soxhlet (945.16) para lípidos, cenizas por calcinación (940.26), humedad (925.09) y fibra cruda (985.29). La fibra dietaria se determinó empleando el paquete comercial Total Dietary Fiber Assay Kit y siguiendo las especificaciones de Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA). Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia de peso y el contenido calórico se calculó considerando 9 kcal/g de lípido y 4 kcal/g de proteína o carbohidrato.

Análisis estadísticos

Los datos de análisis proximal, cuantificación fitoquímica y capacidad antioxidante se evaluaron mediante ANDEVA de una sola vía y las medias se compararon por la prueba de Fisher ($\alpha = 0.05$). En el estudio *in vivo* se realizó la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Los datos no normales fueron contrastados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y los datos normales fueron analizados por ANDEVA de una sola vía; las medias se compararon



por la prueba de Dunnet ($\alpha = 0.05$). Las muestras se analizaron en al menos dos experimentos independientes por triplicado. Para determinar las pruebas fueron empleados los softwares Microsoft Excel v. 2019 (Microsoft Corporation, 2019), Minitab v. 2019, Statgraphics Centurion v. 16.1 (Statgraphics, 2019) e IBM SPSS Statistics v. 28.0.1.0. (IBM, 2021). La matriz de correlación se construyó mediante el software Microsoft Excel empleando la función coeficiente de correlación del menú análisis de datos.

Resultados

Caracterización fitoquímica

Todas las inflorescencias y frutos evaluados fueron positivos para fenólicos, flavonoides y triterpenos, pero negativas para alcaloides y saponinas, a excepción de *Asclepias curassavica* (Cuadro 2). La mayoría de los materiales contienen cardiotónicos, excepto las inflorescencias de *Funastrum pannosum* y los frutos de *Gonolobus natura-*

listae. Los flavonoides mostraron reacciones más intensas que los compuestos fenólicos en cinco de las ocho muestras evaluadas.

Toxicidad en *Artemia salina*

Las inflorescencias y frutos de las especies comestibles de talayotes fueron inocuas contra *Artemia salina* (L., 1758), 1758 ($CL_{50} > 2000$ ppm). En contraste, el extracto de *Asclepias curassavica* indujo parálisis a 2000 ppm, que se considera un signo de toxicidad positiva de acuerdo con el criterio de Schmidt (1985).

Toxicidad en modelo de ratón

En concordancia con los resultados del ensayo en *Artemia*, las especies comestibles también fueron inocuas en el estudio *in vivo* de toxicidad aguda ($DL_{50} > 2000$ mg/kg p.c.) (OECD, 2002). Los ratones tratados mostraron comportamiento y características normales hasta el día 30 de obser-

Cuadro 2: Caracterización fitoquímica de los extractos metanólicos de inflorescencias y frutos de especies comestibles de Asclepiadoideae. Abundancia relativa: += presente; ++= abundante; +++= muy abundante; -= no detectado.

Metabolitos secundarios	Especies							
	Inflorescencias				Frutos		Parte aérea	
	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.	<i>Funastrum heterophyllum</i> Engelm. ex Torr.) Standl.	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado	<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado	<i>Asclepias curassavica</i> L.
Fenólicos	++	++	++	+	+	+	++	+
Saponinas	-	-	-	-	-	-	-	++
Flavonoides	+++	++	+++	++	+	++	+	+++
Alcaloides	-	-	-	-	-	-	-	+
Triterpenos	+	+	+	++	+	+	+	+
Cumarinas	-	++	-	+++	+	+	+	++
Antracénicos	-	-	-	-	-	-	-	+
Cardiotónicos	+	+	-	+	+	+	-	++
Azúcares reductores	-	+	+	-	+	+	++	+

vación, similar al exhibido por los animales del grupo control (Tween 80 al 10%). La ganancia de peso de los ratones y el peso de sus órganos no presentó diferencias significativas comparadas entre los grupos evaluados con el grupo control (**Cuadro 3**). La observación macroscópica de los órganos también mostró características normales (**Apéndice**). La toxicidad *in vivo* en ratones del extracto de *Asclepias curassavica* no se evaluó debido a los resultados del análisis fitoquímico (presencia de alcaloides), toxicidad en *Artemia salina* y los reportes publicados de toxicidad (**Rodrigues-Maciel et al., 2019; Alonso-Castro et al., 2021**).

Contenido de fenólicos y flavonoides totales

El contenido de fenólicos totales varió desde nulo o escaso para *Ruehssia tholiformis* hasta 19.45 mg EAG/100 g para los frutos de *Funastrum clausum* (**Cuadro 4**). La con-

centración de flavonoides fue considerablemente mayor en las inflorescencias (14.82-17.49 mg EQ/100 g) que en los frutos (1.42-2.72 mg EQ/100 g). Ninguno de los materiales presentó taninos cuantificables por el método empleado.

Actividad antioxidante

La mayor actividad antioxidante por los tres métodos se encontró en las inflorescencias de *Funastrum pannosum* y los frutos de *Funastrum clausum*, mientras que las menores fueron registradas para los frutos de *Gobolobus naturalistae*, *Funastrum heterophyllum* y *Ruehssia tholiformis* (**Cuadro 4**). El contenido de fenólicos totales mostró correlación alta con los tres métodos antioxidantes (0.835-0.896), mientras que para el contenido de flavonoides fue moderada (0.500-0.707) (**Cuadro 5**).

Cuadro 3: Evaluación de toxicidad *in vivo* de los extractos metanólicos de especies comestibles de Asclepiadoideae en ratones Balb/c. Los resultados están expresados como media $\pm$ DE del peso relativo de órganos ($n = 3$). En datos con distribución normal (pulmón, LSD = 0.06) se empleó ANDEVA de una vía, seguido de comparación múltiples de medias (Fischer, $P < 0.05$). En datos no paramétricos (ganancia de peso, hígado, riñón, bazo y corazón) se empleó Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Letras superíndice diferentes en una misma columna indican que son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tejido	Especies	Ganancia de peso (g)	Peso relativo de órganos (g/100 g de peso corporal)				
			Hígado	Riñón	Bazo	Corazón	Pulmón
Frutos	Control	4.97 $\pm$ 1.16 ^a	5.66 $\pm$ 0.89 ^a	1.29 $\pm$ 0.07 ^a	0.43 $\pm$ 0.09 ^a	0.51 $\pm$ 0.02 ^a	0.72 $\pm$ 0.09 ^a
	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	4.77 $\pm$ 0.61 ^a	5.14 $\pm$ 0.34 ^a	1.28 $\pm$ 0.08 ^a	0.40 $\pm$ 0.09 ^a	0.60 $\pm$ 0.15 ^a	0.61 $\pm$ 0.07 ^a
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	6.00 $\pm$ 4.27 ^a	4.57 $\pm$ 1.08 ^a	1.26 $\pm$ 0.10 ^a	0.32 $\pm$ 0.03 ^a	0.54 $\pm$ 0.07 ^a	0.75 $\pm$ 0.12 ^a
	<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado	5.57 $\pm$ 3.33 ^a	4.72 $\pm$ 0.21 ^a	1.39 $\pm$ 0.03 ^a	0.34 $\pm$ 0.04 ^a	0.49 $\pm$ 0.01 ^a	0.64 $\pm$ 0.16 ^a
	<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado	7.80 $\pm$ 4.37 ^a	5.18 $\pm$ 0.38 ^a	1.26 $\pm$ 0.05 ^a	0.42 $\pm$ 0.12 ^a	0.50 $\pm$ 0.06 ^a	0.63 $\pm$ 0.08 ^a
Inflorescencias	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	5.93 $\pm$ 2.44 ^a	5.26 $\pm$ 0.22 ^a	1.25 $\pm$ 0.12 ^a	0.42 $\pm$ 0.07 ^a	0.49 $\pm$ 0.06 ^a	0.72 $\pm$ 0.10 ^a
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	7.93 $\pm$ 1.25 ^a	5.68 $\pm$ 0.70 ^a	1.38 $\pm$ 0.08 ^a	0.37 $\pm$ 0.07 ^a	0.50 $\pm$ 0.01 ^a	0.76 $\pm$ 0.18 ^a
	<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.	4.77 $\pm$ 1.37 ^a	4.61 $\pm$ 0.23 ^a	1.29 $\pm$ 0.06 ^a	0.39 $\pm$ 0.04 ^a	0.50 $\pm$ 0.07 ^a	0.70 $\pm$ 0.06 ^a



Cuadro 4: Contenido en fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante por tres métodos (DPPH, ABTS y ORAC) en inflorescencias y frutos de especies comestibles de Asclepiadoideae. Los resultados son expresados como media ± DE del porcentaje en base seca (*n* = 3). Para el análisis de los datos se empleó ANDEVA de una vía, seguido de comparación múltiple de medias (Fischer, *P*<0.05). Letras superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas. Donde: EM= extracto metanólico; EAG= equivalentes de ácido gálico; EQ= equivalentes de quercetina; ET= equivalentes de Trolox; LSD= LSD de Fisher o diferencia mínima significativa, por sus siglas en inglés.

Especies		Fenólicos totales (µg EAG/g b.s.)	Flavonoides totales (µg EQ/g b.s.)	Actividad antioxidante (µmol ET/g b.s.)		
				DPPH	ABTS	ORAC
Frutos	<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado	-	2.72±0.29 ^d	30.90±2.49 ^c	98.66±9.32 ^e	50.73±4.21 ^d
	<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado	8.52±1.09 ^{d, e}	2.48±0.54 ^d	26.29±1.01 ^d	94.92±6.63 ^e	32.01±2.07 ^e
	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	7.05±0.51 ^e	1.33±0.32 ^d	31.05±1.18 ^c	94.54±1.71 ^e	48.17±4.02 ^d
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	19.45±2.15 ^a	1.42±0.41 ^d	51.86±1.94 ^a	284.18±5.95 ^a	202.77±6.54 ^a
Inflorescencias	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	9.82±0.2 ^d	14.82±1.78 ^b	29.53 ±1.45 ^c	206.38±6.94 ^d	126.02±8.80 ^c
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	12.37±0.40 ^c	11.45±0.90 ^c	36.99±1.86 ^b	220.77±6.08 ^c	183.86±0.01 ^b
	<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.	15.48±1.46 ^b	17.89±1.60 ^a	51.03±0.54 ^a	262.39±5.27 ^b	193.52±6.27 ^a
	<i>LSD</i>	1.91	1.79	2.38	11.12	9.30

Cuadro 5: Análisis de correlación entre el contenido de fenólicos y flavonoides totales con la actividad antioxidante evaluada por tres métodos en especies comestibles de Asclepiadoideae. Donde: DPPH = 2,2-difenil-1-picrilhidrazil; ABTS = ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); ORAC = capacidad de absorción de radicales de oxígeno, por sus siglas en inglés.

	Fenólicos totales	Flavonoides totales	DPPH	ABTS	ORAC
Fenólicos totales	1				
Flavonoides totales	0.475	1			
DPPH	0.835	0.500	1		
ABTS	0.896	0.707	0.860	1	
ORAC	0.881	0.677	0.870	0.983	1

Análisis proximal

Los principales componentes en las inflorescencias y frutos de todas las especies evaluadas fueron los carbohidratos (40.41-58.10%), seguido de fibra dietaria (24.15-41.04%)

y proteínas (10.74-13.45%) (Cuadro 6). El mayor contenido de proteínas se encontró para las inflorescencias de *Funastrum pannosum* y el de fibra dietaria para los frutos de *Funastrum heterophyllum*. Los lípidos fueron los macronutrientes de menor concentración, con valores desde 3.97% (inflorescencias de *Funastrum heterophyllum*) a 7.19% (frutos de *Funastrum heterophyllum*).

Discusión

A diferencia de *Asclepias curassavica*, ninguna de las inflorescencias o frutos de las especies evaluadas mostraron presencia de compuestos potencialmente tóxicos como alcaloides, saponinas o antracénicos (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en ambos estudios de toxicidad y avalan a estas especies como potencialmente inocuas y aptas para el consumo, mientras que ya existen reportes de la toxicidad de *Asclepias curassavica* (Rodríguez-Maciel et al., 2019; Alonso-Castro et al., 2021). Este trabajo demostró la presencia de más de un tipo de fitoquímico potencialmente



Cuadro 6: Composición proximal (% base seca) y contenido calórico en especies comestibles de especies de Asclepiadoideae. Los resultados son expresados como media $\pm$ DE del porcentaje en base seca ($n = 3$). Para el análisis de los datos se empleó ANDEVA de una vía, seguido de comparación múltiple de medias (Fischer, $P < 0.05$). Letras superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas. Donde: *LSD* = *LSD* de Fisher o diferencia mínima significativa, por sus siglas en inglés.

Especies		Lípidos	Proteínas	Cenizas	Fibra dietaria total	Carbohidratos	Kcal/ 100 g
Frutos	<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado	4.71±1.22 ^e	10.85±0.24 ^a	7.65±0.37 ^c	35.66±0.23 ^b	45.81±0.77 ^b	269.0
	<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado	4.81±0.03 ^f	11.12±0.23 ^a	6.81±0.74 ^d	29.77±0.16 ^c	52.22±0.66 ^a	276.7
	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	7.19±0.18 ^d	12.11±2.70 ^{a,b}	6.85±0.17 ^d	41.04±0.92 ^a	40.41±2.66 ^c	274.8
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	8.30±0.21 ^b	11.76±0.63 ^{a,b}	5.20±0.12 ^e	24.15±1.78 ^d	58.10±1.33 ^a	354.1
Inflorescencias	<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.	3.97±0.01 ^c	14.31±0.21 ^c	11.15±0.23 ^a	32.62±0.91 ^c	42.40±0.59 ^b	264.2
	<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.	5.43±0.07 ^b	10.74±1.20 ^a	9.37±0.13 ^b	36.78±8.33 ^c	47.37±3.20 ^b	281.3
	<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.	4.98±0.04 ^a	13.45±0.07 ^{b,c}	9.82±0.67 ^b	29.20±5.48 ^c	45.94±4.66 ^b	282.4
	<i>LSD</i>	0.35	2.01	0.74	3.49	4.33	

tóxico en el extracto de *Asclepias curassavica* y la inducción de parálisis en el ensayo de *Artemia salina*. Las familias de fitoquímicos detectadas en las especies de *Funastrum* coinciden con la reportadas por Beltrán-Villanueva et al. (2013), quienes tampoco encontraron alcaloides, cumarinas o saponinas, pero sí antracénicos en hojas de *Funastrum clausum* (reportado como *Sarcostemma clausum* (Jacq.) Schult.).

Con excepción de los frutos de *Funastrum clausum*, la concentración de fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante fue mayor en las inflorescencias que en los frutos de las especies evaluadas (Cuadro 4). El contenido de fenólicos totales en las inflorescencias (9.82-15.48 mg EAG/g) estuvo dentro del rango reportado para otras flores o inflorescencias ampliamente consumidas en México, como las de *Yucca filifera* Chabaud (10-14 mg EAG/g) o

Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck (12-16 mg EAG/g), pero inferior a las de *Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa (39-59 mg EAG/g) (Marcos-Gómez et al., 2024). La concentración de flavonoides fue considerablemente superior a la de *Yucca filifera* o *Agave salmiana* (1.3-4.3 mg EQ/g) y similar al de *Diphysa americana* (11-24 mg EQ/g). En cuanto a los frutos, excepto el de *Ruehssia tholiformis*, el contenido de compuestos fenólicos (7.05-19.45 mg EAG/g) fue similar o ligeramente superior al de verduras ampliamente consumidas y con usos culinarios similares como brócoli, zanahoria, chayote, pepino o nopales, cuyos valores oscilan aproximadamente entre 4 y 9 mg/g en base seca (b.s.) (Kaur y Kapor, 2002; Astello-García et al., 2015; Peña-Galván et al., 2017; Díaz-de-Cerio et al., 2019). Por el contrario, el contenido de flavonoides en chayote (~38 mg EQ/g b.s.) fue considera-



blemente superior al de todos los materiales evaluados en el presente trabajo (Peña-Galván et al., 2017), donde también coincidió que éstos fueran superiores a los fenólicos. Todas estas verduras, incluidas los talayotes, poseen sabores suaves y son poco o nada astringentes o ácidos. Estas son características opuestas a las registradas para frutos con alto contenido en compuestos fenólicos como los de los géneros *Rubus* L., *Vitis* L., *Vaccinium* L. o *Fragaria* L., cuyos valores en base fresca superan los 100 mg/g (Paredes-López et al., 2010).

Dos de las muestras evaluadas (frutos de *Ruehssia tholiformis* e inflorescencias de *Funastrum heterophyllum*) presentaron valores de flavonoides ligeramente superior al de fenólicos totales. Si bien los flavonoides son un tipo de compuesto fenólico y se esperaría que los primeros siempre sean inferiores a los segundos, esto no siempre se cumple debido a la no especificidad de los métodos (Pinedo-Espinosa et al., 2020). El método de Folin-Coicalteu puede ser poco o nada sensible a la presencia de flavonas que carecen de grupos hidroxilo libres, mientras que la reacción con $AlCl_3$ para flavonoides es especialmente sensible a flavonoides de tipo flavonas (Pękal y Pyrzyńska, 2014; Pérez et al., 2023). Por lo tanto, una posible explicación es que los compuestos fenólicos mayoritarios en los frutos de *Ruehssia tholiformis* e inflorescencias de *Funastrum heterophyllum* sean flavonoides de tipo flavonas con grupos hidroxilos sustituidos o ausentes. Lo anterior también se justifica en parte por los resultados del análisis fitoquímico cualitativo, donde la reacción para flavonoides fue de mayor intensidad relativa que la de fenólicos.

Los tres métodos antioxidantes evaluados mostraron alta correlación entre sí (0.86-0.98) (Cuadro 5), lo que sugiere que los compuestos antioxidantes de los materiales evaluados están actuando principalmente a través de la transferencia de átomos de hidrógeno (Prior et al., 2005). Considerando el método DPPH (Cuadro 4), los valores mostrados por los frutos e inflorescencias de las especies evaluadas (26.29-51.03 $\mu\text{mol ET/g}$) estuvieron dentro del rango obtenido para flores e inflorescencias comúnmente consumidas en Oaxaca, como *Yucca filifera*, *Agave salmiana*, *Diphysa americana* y *Chamaedorea tepejilote* Liebm. (14-185 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) (Marcos-Gómez et al., 2024). Sin embargo, estuvieron muy por debajo si se compara con fru-

tos del género *Rubus*, cuyos valores superan los 25 $\mu\text{mol ET/g b.f.}$, equivalente a aproximadamente 250 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$, considerando un aproximado de 90% de humedad (Paredes-López et al., 2010). No obstante, los valores obtenidos para ORAC (32.01-202.77 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) y ABTS (94.54-284.18 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) sí llegaron a ser similares a los reportados para frutos de los géneros *Rubus*, *Vaccinium* o *Fragaria* (ORAC = ~ 310 -440 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$; ABTS = ~ 120 -140 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) (Paredes-López et al., 2010), principalmente los de las inflorescencias de *Funastrum pannosum* y frutos de *Funastrum clausum*.

El contenido de fibra dietaria en los frutos de los talayotes (24 - 41% b.s.) (Cuadro 6) fue superior al de algunas de las verduras mayormente consumidas en México, como brócoli (12.5% b.s.), chayote (16.7% b.s.), calabacita criolla (17.8% b.s.) o pepino (18.75% b.s.), resultando comparable al de los nopales (35% b.s.) (Ledesma-Solano et al., 2010). Por su parte, las inflorescencias mostraron contenidos de fibra superior al de las flores de calabazas (9.8% b.s.) y similares al de las espinacas (33% b.s.). En cuanto a proteínas, los valores encontrados para todas las muestras (10-12% b.s.) fueron inferiores a los del brócoli, calabacita y chayote (23-32% b.s.), similar al del pepino (12.3% b.s.) y superior a los del chayote (8.7% b.s.) (Ledesma-Solano et al., 2010). El porcentaje de lípidos y carbohidratos fue similar al de estos mismos productos, excepto en el caso del contenido de lípidos en los frutos de *Funastrum heterophyllum* y *Funastrum clausum* que fue aproximadamente el doble (Ledesma-Solano et al., 2010).

Los principales macronutrientes que aportan las especies evaluadas fueron carbohidratos (40.41-58.10% b.s.) y fibra dietaria (24.15-41.04% b.s.) (Cuadro 6). El consumo de 100 g de producto seco cubriría prácticamente el 100% de la ingesta diaria recomendada de fibra dietaria para hombres (38 g/d) y mujeres (25 g/d) adultos, mientras que si se considera un estimado de 90% de humedad, el aporte por 100 g de producto fresco contribuiría con aproximadamente el 10 y el 15% de los requerimientos de hombres y mujeres, respectivamente (USDA, 2020), por lo que aún se considerarían una buena fuente. Por su parte, el contenido de lípidos y proteínas de estas especies sería insuficiente para cubrir los requerimientos dietarios. Sin embargo, la inclusión de estas especies en la dieta puede



aportar cantidades significativas de fibra dietaria y ser bajas en calorías, lo que sería adecuado para tratamientos de reducción de peso y grasa corporal, así como para mejorar el tránsito gastrointestinal. El aporte calórico de las especies evaluadas (~26-33 kcal/100 g de producto fresco) es similar al de verduras ampliamente consumidas en México como brócoli, calabacitas, chayote, pepinos o nopales, cuyos valores oscilan entre 26 y 34 kcal/100 g de producto fresco (Ledesma-Solano et al., 2010).

Conclusiones

Las especies comestibles de la subfamilia Asclepiadoideae evaluadas carecen de fitoquímicos potencialmente tóxicos y fueron inocuas, lo que justifica su consumo por habitantes de las comunidades locales. Comparado con la composición de la mayoría de verduras que comúnmente se consumen en México, el contenido de fibra dietaria de las especies analizadas es superior, pero similar al de los nopales; mientras que el contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y macronutrientes resultó similar. La inclusión de estas especies a la dieta local puede aportar beneficios a la salud, principalmente por su alto aporte en fibra dietaria y bajo contenido calórico.

Contribución de los autores

Conceptualización: AIRA, JFPL, FDV, GLA; Trabajo de campo: AIRA, JFPL; Análisis formal: AIRA, GLA, YEZ; Redacción - borrador original: AIRA, JFPL; Redacción - revisión y edición: FDV, GLA, YEZ.

Financiamiento

El Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e innovación (SECIHTI), otorgó una beca a AIRA para sus estudios de maestría.

Agradecimientos

A Leonardo O. Alvarado-Cárdenas por la ayuda en la identificación de la especie *Ruehssia tholiformis*. A Maritza Zata-rain Irigoyen y Hugo Enrique Aguirre Madrigal por el apoyo técnico durante la realización de algunos de los experimentos. A Rosendo Castro Amarillas por su guía y apoyo para

la recolección en campo de algunas de las especies. A los revisores anónimos y el equipo editorial de *Acta Botanica Mexicana* cuyas observaciones contribuyeron a mejorar sustancialmente a mejorar el contenido del manuscrito.

Literatura citada

- Al-Snafi, E. A. 2015. Chemical constituents and pharmacological effects of *Asclepias curassavica* – A review. *Asian Journal of Pharmaceutical Research* 5(2): 83-87.
- Alonso-Castro, A. J., V. Arana-Argáez, E. Yáñez-Barrientos, J. C. Torres-Romero, R. J. Chable-Cetz, K. Worbel, A. J. Euan-Canto, K. Wrobel, A. González-Ibarra, C. R. Solorio-Alvarado y M. C. Juárez-Vázquez. 2021. Pharmacological activities of *Asclepias curassavica* L. (Apocynaceae) aerial parts. *Journal of Ethnopharmacology* 281: 114554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114554>
- Alvarado-Cárdenas, L. O. 2021. *Talayotea* (Apocynaceae: Asclepiadoideae, Gonolobineae), un género nuevo y endémico de México. *Phytoneuron* 62: 1-18.
- Alvarado-Cárdenas, L. O., L. Lozada-Pérez, C. S. Islas-Hernández, E. B. Cortez, K. G. Maya-Mandujano y M. G. Chávez-Hernández. 2020. Apocináceas de ayer y hoy. Conocimiento histórico y reevaluación de la diversidad y distribución de Apocynaceae en México. *Botanical Sciences* 98(2): 393-416. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2525>
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 16th Edition, 5th Revision. Washington DC., USA. 1200 pp.
- Astello-García, M. G., I. Cervantes, V. Nair, M. S. Santos-Díaz, A. Reyes-Agüero, F. Guéraud, A. Negre-Salvayre, M. Rossignol, L. Cisneros-Zevallos y A. P. Barba-de La Rosa. 2015. Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis* 43: 119-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.016>
- Ávila Uribe, M., M. L. Suárez Soto y F. J. Díaz Perea. 1994. Campesinos Tének en una comunidad campesina rural de la Huasteca Potosina complementan su dieta básica con plantas locales. *Botanical Sciences* 54: 3-15. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1425>
- Bayón, N. D. y A. M. Arambarri. 1999. Anatomía y etnobotánica de las especies medicinales de la Provincia Pampeana:



- Asclepiadaceae. *Acta Farmacéutica Bonaerense* 18(1): 23-31.
- Beltrán-Villanueva, C. E., F. Díaz-Castillo y H. Gómez-Estrada. 2013. Preliminary phytochemical screening of promising plant species of the Colombian Atlantic coast. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 18(4): 619-631.
- Bhadane, B. S., M. P. Patil, V. L. Maheshwari y R. H. Patil. 2018. Ethnopharmacology, phytochemistry, and biotechnological advances of family Apocynaceae: A review. *Phytotherapy Research* 32(7): 1181-1210. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6066>
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier y C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28(1): 25-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Christenhusz, M. J. M., M. F. Fay y M. W. Chase. 2017. *Plants of the word: an illustrated encyclopedia of vascular plants*. Kew Publishing & Chicago University Press. Kew, UK-Chicago, USA. 792 pp.
- Díaz-de-Cerio, E., V. Verardo, A. Fernández-Gutiérrez y A. M. Gómez-Caravaca. 2019. New insight into phenolic composition of chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). *Food Chemistry* 295: 514-519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.146>
- DOF. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=762506&fecha=22/08/2001#gsc.tab=0 (consultado junio de 2021).
- Fernández-Brewer, A. M., V. Juárez-Jaimes y L. Cortés-Zárraga. 2008. Uses of the genus *Asclepias* L. (Apocynaceae, Asclepiadoideae), information from the National Herbarium of Mexico, MEXU. *Polibotánica* 25: 155-171.
- González-Elizondo, M. G., H. González-Ávila, N. L. Piedra-Leandro, A. Castro-Castro, M. S. González-Elizondo y U. Luna-Vargas. 2024. Quelites del Gran Nayar, un acercamiento. *Etnobiología* 22(3): 24-45.
- Harborne, J. B. 1984. *Phytochemical methods. A guide to modern techniques of plant analysis*. Springer Dordrecht. Dordrecht, Netherlands. 288 pp.
- Hodgson, W. C. 2001. *Food plants of the Sonoran Desert*. University of Arizona Press. Oakland, USA. 313 pp.
- Huang, D., B. Ou, M. Hampsch-Woodill, J. A. Flanagan y R. L. Prior. 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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(16): 4437-4444. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0201529>
- IBM. 2021. IBM SPSS Statistics v. 28.0.1.0. International Business Machines Corporation (IBM). Armonk, United States. <https://www.ibm.com/mx-es> (consultado marzo de 2022).
- iNaturalistMX. 2024a. *Funastrum heterophyllum*, observación 115820609. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/115820609> (consultado mayo de 2021).
- iNaturalistMX. 2024b. *Funastrum clausum*, observación 115820620. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/115820620> (consultado mayo de 2021).
- iNaturalistMX. 2024c. *Funastrum pannosum*, observación 57867302. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/57867302> (consultado mayo de 2021).
- iNaturalistMX. 2024d. *Ruehssia tholiformis*, observación 115820617. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/115820617> (consultado mayo de 2022).
- iNaturalistMX. 2024e. *Asclepias curassavica*, observación 294398591. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/294398591> (consultado julio de 2025).
- iNaturalistMX. 2024f. *Asclepias curassavica*, observación 291292300. Transformación, Arte y Educación (TAE). Mérida, México. <https://mexico.inaturalist.org/observations/291292300> (consultado julio de 2025).
- Kaur, C. y H. C. Kapoor. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *International Journal of Food Science and Technology* 37(2): 153-161. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00552.x>
- Ledesma-Solano, J. A., A. Chávez-Villasana, F. Pérez-Gil-Romo, E. Mendoza-Martínez y C. Calvo-Carrillo. 2010. *Composición de alimentos Miriam Muñoz de Chávez. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo*. MacGraw-Hill Interamericana. México, D.F., México. 365 pp.



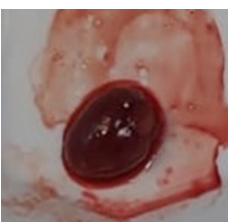
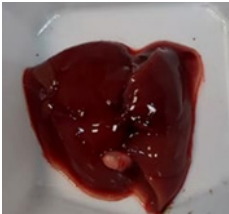
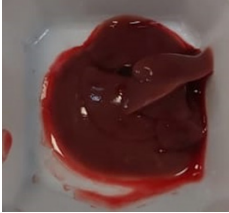
- Marcos-Gómez, R., A. M. Vera-Guzmán, M. L. Pérez-Ochoa, L. Martínez-Martínez, S. Hernández-Delgado, D. Martínez-Sánchez y J. L. Chávez-Servia. 2024. Phenolic compounds and antioxidant activity in edible flower species from Oaxaca. *Applied Sciences* 14(8): 3136. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14083136>
- Meyer, B. N., N. R. Ferigni, J. E. Putnam, L. B. Jacobsen, D. E. Nichols y J. L. McLaughlin. 1982. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituent. *Planta Medica* 45(5): 31-45.
- Minitab. 2019. Minitab Statistical Software, v. 19. Minitab, LLC. Pennsylvania, United States. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Microsoft Corporation. 2019. Excel. Microsoft Office Professional Plus 2019. Microsoft Corporation. Redmon, United States. <https://www.microsoft.com/es-mx/> (consultado febrero de 2024).
- Navarro, G., I. Ávila, P. Mollinedo, L. Vila y G. Ruiz. 2010. Valoración de la toxicidad aguda in vivo del ácido úsnico. *Revista Boliviana de Química* 27(2): 89-93.
- OECD. 2002. Test no. 423: Acute Oral toxicity - Acute Toxic Class Method. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing. Paris, Francia. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264071001-en>
- Paredes-López, O., M. L. Cervantes-Ceja, M. Vigna-Pérez y T. Hernández-Pérez. 2010. Berries: Improving human health and healthy aging, and promoting quality life-A Review. *Plant Foods for Human Nutrition* 65: 299-308. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0177-1>
- Pełka, A. y K. Pyrzynska. 2014. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods* 7: 1776-1782. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>
- Peña-Galván, M. L., M. E. Sosa-Morales y A. Cerón-García. 2017. Determinación de fenoles, flavonoides y parámetros fisicoquímicos en chayote (*Sechium edule*) procesado térmicamente. *Jóvenes en la Ciencia* 3(2): 101-106.
- Pérez, M., I. Domínguez-López y R. M. Lamuela-Raventós. 2023. The chemistry behind the Folin-Ciocalteu method for the estimation of (Poly) phenol content in food: Total phenolic intake in a mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 71(46): 17543-17553. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
- Pinedo-Espinoza, J. M., J. Gutiérrez-Tlahque, Y. O. Santiago-Saenz, C. L. Aguirre-Mancilla, M. Reyes-Fuentes y C. U. López-Palestina. 2020. Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wild edible flowers consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* 75: 413-419. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>
- Pío-León, J. F., F. Delgado-Vargas, J. L. León-de la Luz y A. Ortega-Rubio. 2017. Prioritizing Wild Edible Plants for potential new crops based on Deciduous Forest Traditional knowledge by a Rancher community. *Botanical Sciences* 95(1): 47-59. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.772>
- Price, M. L., V. S. Scoyoc y L. G. Butler. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26(5): 1214-1218. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf60219a031>
- Prior, R. L., X. Wu y L. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(10): 4290-4302. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Quettier-Deleu, C., B. Gressier, J. Vasseur, T. Dine, C. Brunet, M. Luyckx, M. Cazin, J-C. Cazin, F. Bailleul y F. Trotin. 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology* 72(1-2): 35-42. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3)
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9-10): 1231-1237. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rodrigues Maciel, L. T., F. B. Sant'Anna-Pereira, G. Akisue, F. A. da Silva-Coêlho y M. D. Gonçalves-Coêlho. 2019. Anticoccidial and toxicological activity of *Asclepias curassavica* L. and *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch decocts against *Eimeria bovis* oocysts. *Pubvet* 14(3): 1-8.
- Sandoval-Ortega, M. H., E. E. de Loera-Ávila, V. M. Martínez-Calderón y S. G. Zumaya-Mendoza. 2023. Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México, sus formas de consumo y comercialización. *Polibotánica* 55(28): 213-230. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.55.14>



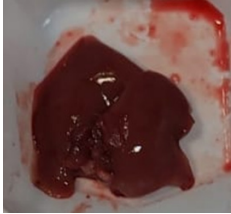
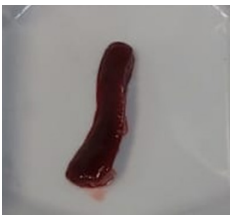
- Schmidt, R. 1985. Optical motility test for the detection of trichothecenes using brine shrimps. *Mycotoxin Research* 1(1): 25-29. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03191951>
- Singleton, V. L y J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158. DOI: <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Statgraphics. 2019. Statgraphics Centurion v. 16.1. Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, USA. <https://www.statgraphics.com/> (consultado marzo del 2022).
- Stevens, W. D. 2005. Fourteen new species of *Gonolobus* (Apocynaceae, Asclepiadoideae) from Mexico and Central America. *Novon* 15(1): 222-244.
- USDA. 2020. Dietary Guidelines for Americans, 2020-2025. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.dietaryguidelines.gov> (consultado febrero de 2025).
- Yetman, D. y T. R. Van Devender. 2002. Mayo ethnobotany: land, history, and traditional knowledge in northwest Mexico. University of California Press. London, England. 360 pp.



Apéndice: efecto de los extractos metanólicos de especies comestibles de Asclepiadoideae en ratones Balb/c.

Especies (inflorescencias)	Órganos				
	Bazo	Corazón	Hígado	Pulmón	Riñones
Control negativo					
<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.					
<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.					
<i>Funastrum pannosum</i> (Decne.) Schltr.					

Apéndice: Continuación.

Especies (frutos)	Órgano				
	Bazo	Corazón	Hígado	Pulmón	Riñones
<i>Funastrum heterophyllum</i> (Engelm. ex Torr.) Standl.					
<i>Funastrum clausum</i> (Jacq.) Schltr.					
<i>Ruehssia tholiformis</i> (Juárez-Jaimes & L.O. Alvarado) L.O. Alvarado					
<i>Gonolobus naturalistae</i> M.G. Chávez, Pío-León & L.O. Alvarado					