



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

**Composición fitoquímica y capacidad antioxidante de tres hierbas comestibles del
estado de Hidalgo con potencial funcional**

Para obtener el título de

Ingeniero Agroindustrial

Presenta

Mauro Antonio Granillo Pulido

Director

Dr. Yair O. Santiago Sáenz

Co directora

Dra. Xóchitl Alejandra Pérez Marroquín

Comité tutorial

Dr. César Uriel López Palestina

Dr. César Andrés Cabrera Cortés

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., México., 25 de septiembre de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 26 de septiembre de 2025.

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al egresado de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Granillo Pulido Mauro Antonio**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Composición fitoquímica y capacidad antioxidante de tres hierbas comestibles del estado de Hidalgo con potencial funcional”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

Dr. Yair Olovaldo Santiago Saenz

Dra. Xóchitl Alejandra Pérez Marroquín

Dr. César Uriel López Palestina

M.C. César Andrés Cabrera Cortés

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz
Coordinador del P.E. de Ingeniería Agroindustrial



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021
ricardo_navarro@uah.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



2025



uah.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino y que con su apoyo incondicional e hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida. En primer lugar, a mis padres, quienes con su ejemplo, esfuerzo y valores me han mostrado el verdadero significado de la perseverancia y el compromiso. Gracias por creer en mí y brindarme siempre su apoyo moral y emocional, incluso en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de grupo y a todos mis compañeros de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y desafíos que enriquecieron mi formación y que recordaré siempre con gratitud. También agradezco a mis compañeros del ICAP, quienes me acompañaron en este proceso con apoyo, consejos y muchos recuerdos invaluableles.

De manera muy especial, extiendo mi agradecimiento al Dr. Yair Olovaldo Santiago Sáenz por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su dirección, confiando en mis capacidades y orientándome con paciencia y profesionalismo, al Dr. César Uriel López Palestina, por el tiempo dedicado y por resolver todas mis dudas durante la realización de esta tesis, aportando siempre sus conocimientos y guía.

De igual forma, deseo expresar mi reconocimiento y gratitud a la Dra. Xóchitl Alejandra Pérez Marroquín, quien estuvo siempre al pendiente de mis avances, resolviendo dudas y guiándome en cada etapa del proceso. Su compromiso y apoyo constante fueron claves para el desarrollo de este trabajo.

A todos ustedes, familia, compañeros y profesores, gracias por acompañarme en este camino. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes con su apoyo y confianza me ayudaron a llegar hasta aquí.

DEDICATORIAS

A mis queridos padres,

Este trabajo está dedicado con todo mi corazón a ustedes, quienes desde siempre han sido mi guía, mi refugio y mi fuente de inspiración. Gracias por haberme permitido soñar, por alentarme a salir de la comodidad de mi hogar y aventurarme en otra ciudad para seguir mis metas. Cada sacrificio que hicieron, cada esfuerzo silencioso y cada apoyo económico brindado, se reflejan en esta tesis, que es tanto mía como de ustedes.

Gracias por cada palabra de aliento en los días de dudas, por su confianza en mis capacidades cuando yo misma titubeaba, y por recordarme con paciencia que los obstáculos son escalones que nos acercan a nuestras metas. Su amor incondicional y su ejemplo de perseverancia me enseñaron a valorar la disciplina, el esfuerzo y la resiliencia, y me impulsaron a seguir adelante incluso cuando el camino parecía difícil.

A mi hermana Stephenie,

Gracias por tu cercanía, tus palabras de ánimo y tu alegría que iluminaron momentos de cansancio. Gracias por recordarme que no estoy sola, que siempre hay alguien que cree en mí y que cada pequeño avance merece celebrarse. Tu apoyo emocional ha sido un sostén silencioso pero constante, y tu cariño un motor que me impulsó a dar lo mejor de mí.

Esta tesis es un testimonio del amor, la confianza y la motivación que ustedes me han dado. Cada página lleva consigo su esfuerzo, cada logro que refleja mi esfuerzo también refleja el suyo, y cada meta alcanzada tiene detrás el impulso de su apoyo constante. Por eso, este trabajo no es solo mío, sino nuestro; un reconocimiento a quienes hicieron posible que hoy pueda escribir estas líneas con orgullo y gratitud.

A ustedes, mis pilares, mi familia y mi inspiración, dedico este logro con todo mi cariño, respeto y agradecimiento.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo General	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3.	HIPÓTESIS	4
4.	JUSTIFICACIÓN	4
5.	MARCO TEÓRICO	5
5.1	Importancia de las plantas silvestres comestibles en la nutrición humana	5
5.1.1	Definición de plantas silvestres	5
5.1.2	Importancia nutricional a través de la historia	5
5.2	Fitoquímicos de las plantas silvestres comestibles (<i>Calandrinia micrantha</i> , <i>Porophyllum ruderale</i> y <i>Suaeda edulis</i>)	6
5.2.1	Polifenoles	7
5.2.2	Carotenoides	8
5.2.3	Terpenoides, saponinas y alcaloides	9
5.2.4	Vitaminas con actividad antioxidante	9
5.2.5	Diversidad fitoquímica en malezas comestibles locales	10
5.3	Mecanismos de acción de compuestos antioxidantes	10
5.3.1	Pérdida secuencial de protón y transferencia de electrón (SPLET)	10
5.3.2	Transferencia de átomo de hidrógeno (HAT)	11
5.3.3	Transferencia de electrón seguida de protón (SET-PT)	11
5.3.4	Quelación de metales de transición (TMC)	11
5.3.5	Relevancia fisiológica	12
5.4	Metodologías para determinar compuestos fitoquímicos y antioxidantes	12
5.4.1	Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	12
5.4.2	Capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC o ABTS)	13

5.4.3. 2,2-diphenil-1-picrilhydrazilo (DPPH)	14
5.5. Potencial agroindustrial de las hierbas silvestres comestibles	14
5.5.1 Potencial para el Desarrollo Agroindustrial	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS	15
6.1. Recolección de materia prima	15
6.2. Compuestos antioxidantes.....	15
6.3. Capacidad antioxidante	17
6.4 Análisis estadístico.....	17
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
7.1 Determinación de clorofila.....	18
7.2 Determinación de ácido ascórbico y carotenoides	19
7.3 Determinación de fenoles y flavonoides totales	21
7.4 Capacidad antioxidante.....	22
8. CONCLUSIONES.....	23
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación actual enfrenta un fuerte desafío debido a múltiples factores, entre ellos el incremento en el consumo de alimentos ultra procesados, ricos en azúcares, grasas saturadas y sodio, y una escasa ingesta de alimentos frescos y nutritivos, conllevando al desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, diabetes mellitus tipo 2 y afecciones cardiovasculares, siendo esto un factor determinante en el deterioro de la salud pública a nivel mundial, nacional y regional. En este contexto, más del 70% de la población adulta mexicana presenta sobrepeso u obesidad con alguna comorbilidad asociada (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, 2022).

Debido a esto, comunidades científicas han dirigido su interés en alternativas más saludables para su incorporación en la dieta o en diversidad de productos, tal es el caso de las plantas comestibles silvestres, las cuales históricamente han aportado nutrimentos y compuestos bioactivos beneficiosos para la salud de comunidades rurales. Entre ellas, se destacan las lengüitas, el pápalo y los romeritos. Las lengüitas (*Calandrinia micrantha*), anteriormente eran consideradas importantes en la alimentación, pero en la actualidad su acceso es limitado, sin embargo, su adaptabilidad y aporte nutricional es considerable en materia de micronutrimentos. Por otra parte, el pápalo (*Porophyllum ruderale*) ha mostrado un perfil fitoquímico alto en diferentes compuestos, asociados con el mejoramiento de la salud cardiovascular y digestiva (Casado et al., 2011). Finalmente, los romeritos (*Suaeda edulis*) presentan altos niveles de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, destacando su valor nutrimental (Costa-Becheleni, Troyo-Diéguez, Ruiz-Hernández, Ayala-Niño, Bustamante-Salazar, Medel-Narváez, et al., 2024).

Estudios recientes, evaluaron el extracto hidroetanólico de *P. ruderale* el cual presentó alta actividad antioxidante en ensayos FRAP, DPPH y ABTS, además de mostrar efectos nefroprotectores en un modelo animal; entre los compuestos identificados destacan ácidos cafeoilquínicos (CQA) y ácido ferúlico, así como glucósidos de quercetina y kaempferol, los cuales probablemente estarían asociados a la protección del daño renal (Vázquez-Atanacio et al., 2022a). En

contraste, *Porophyllum ruderale* ha sido objeto de estudio en virtud de su capacidad antioxidante y efecto protector sobre los riñones (Vázquez-Atanacio et al., 2022b). Un estudio realizado en Hidalgo demostró que un extracto hidroalcohólico de *P. ruderale* produjo inhibición de radicales DPPH, ABTS y capacidad de reducción de hierro (FRAP), con valores del 63%, 32.96 %, y 69.04 %, respectivamente (Vázquez-Atanacio et al., 2022c). Asimismo, en análisis fitoquímicos se identificaron compuestos como los ácidos 5-O-cafeoilquínico y 4-O-cafeoilquínico, ácido ferúlico, glucósido de quercetina y glucósido de kaempferol, todos asociados con actividad antioxidante y antiinflamatoria, esto sugiere que *P. ruderale* no solo tiene valor como alimento tradicional sino también como ingrediente funcional en alimentos o productos nutraceuticos (2022c)

En cuanto a los romeritos, los halófitos *Suaeda edulis* y *Suaeda esteroa* han sido evaluados recientemente mediante digestión *in vitro* para determinar la bioaccesibilidad de sus compuestos fenólicos. En el estudio, *S. esteroa* mostró un contenido de fenoles totales y flavonoides totales superior al de *S. edulis*, así como mayor capacidad antioxidante medida mediante DPPH y TEAC en la fase intestinal de la digestión (Costa-Becheleni et al., 2024). Se identificaron además ácidos fenólicos como ferúlico, *p*-cumárico y gálico, flavonoides como catequina, miricetina, rutina, naringenina y naringina. Estos resultados indican que los romeritos no solo contienen altos niveles de compuestos antioxidantes, sino que muchos de esos compuestos son bioaccesibles tras el proceso digestivo, lo que aumenta su valor funcional (Costa-Becheleni, Troyo-Diéquez, Ruiz-Hernández, Ayala-Niño, Bustamante-Salazar, Salazar-López, et al., 2024).

Respecto a *Calandrinia micrantha*, existe poca literatura reciente que documente su composición fitoquímica y capacidad antioxidante, por lo que su inclusión en esta investigación se vuelve especialmente importante. Dado que otras especies del género *Calandrinia* o géneros afines en portulacáceas tienen reportes de contenido significativo de antioxidantes, vitaminas y minerales, es plausible que *C. micrantha* también posea propiedades funcionales relevantes, aunque esto aún requiere validación experimental.

Existen muchas alternativas para una alimentación saludable en Hidalgo, pero pocas personas conocen el potencial de las plantas silvestres. Por ende, el presente estudio justifica no solo la necesidad de documentar científicamente estas especies, sino la urgencia de revalorizar las especies endémicas de la región, ya que a partir de esto se podrán establecer estrategias futuras encaminadas a mejorar el estado nutricional de los pobladores locales, aportar alternativas saludables para comunidades con acceso limitado a productos de alto costo, y ofrecer insumos valiosos para la agroindustria local que promuevan la elaboración de productos artesanales y el diseño de alimentos funcionales.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar la composición fitoquímica y evaluar la capacidad antioxidante de tres hierbas comestibles, mediante la cuantificación de clorofila, ácido ascórbico, carotenoides, fenoles totales, flavonoides totales y los ensayos DPPH, ABTS y FRAP, con el fin de valorar su potencial como fuente de compuestos bioactivos con importancia para la nutrición humana.

2.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el contenido de clorofila a, b y total, ácido ascórbico, carotenoides, fenoles y flavonoides totales de tres hierbas silvestres comestibles para valorar su potencial antioxidante y nutricional.
- Evaluar la capacidad antioxidante de tres hierbas silvestres comestibles mediante los ensayos ABTS, DPPH y FRAP para valorar su potencial antioxidante y nutricional.

3. HIPÓTESIS

La composición fitoquímica de las plantas silvestres evaluadas influirá en la capacidad antioxidante mostrando su relevancia para la nutrición humana y como ingrediente funcional.

4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, las Lengüitas (*Calandrinia micrantha*), Pápalo (*Porophyllum ruderale*) y Romeritos (*Suaeda edulis*) han despertado un interés creciente debido a su riqueza nutricional y a su presencia en diversas zonas del estado de Hidalgo, donde forman parte de la gastronomía y saberes locales. Así mismo, surge de la necesidad de destacar y documentar el potencial fitoquímico y la actividad antioxidante de hierbas comestibles que, por generaciones, han formado parte tanto de la alimentación como de la medicina tradicional en distintas culturas. Aunque su uso es común en entornos rurales y comunitarios, la información científica disponible sobre sus propiedades sigue siendo limitada.

Esta investigación contribuirá a generar evidencia científica actualizada sobre la composición fitoquímica y la capacidad antioxidante de estas especies, lo que permitirá valorarlas como posibles alimentos funcionales y coadyuvantes en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Además, sus resultados podrán fomentar su consumo responsable, la conservación de saberes tradicionales y la revaloración de las plantas silvestres locales dentro de estrategias para una alimentación saludable y sostenible.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Importancia de las plantas silvestres comestibles en la nutrición humana

Desde la antigüedad las plantas silvestres comestibles han formado un papel fundamental en la nutrición de diversas culturas alrededor del mundo. Su consumo, es a menudo vinculado a la tradición gastronómica de la región, no solo provee energía y nutrientes esenciales, sino que también aportan compuestos bioactivos los cuales pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Khapte et al., 2022).

Actualmente, su estudio ha cobrado interés por su potencial como alimentos funcionales y su papel en la seguridad alimentaria, dado que muchas de estas especies poseen perfiles fitoquímicos con propiedades antioxidantes y beneficios para la salud (Grivetti & Ogle, 2000). Además, las plantas silvestres suelen crecer en condiciones adversas, lo que estimula la síntesis de metabolitos secundarios de interés nutricional, como polifenoles y carotenoides (Grivetti & Ogle, 2000).

5.1.1 Definición de plantas silvestres

Se denominan plantas silvestres comestibles (WEPs. por sus siglas en inglés) a aquellas especies nativas que crecen y se reproducen de forma natural en su hábitat sin necesidad de intervención humana o cultivo sistemático y que presentan al menos un órgano (hoja, raíz, fruto, etc.) y es apto para el consumo humano.

Estas plantas son fuentes naturales de proteínas, fibras, vitaminas y compuestos antioxidantes que fortalecen la dieta tradicional. El concepto de “planta silvestre comestible” no solo se limita a la botánica, sino que incorpora dimensiones culturales y sociales, ya que su consumo está profundamente ligado a la identidad de pueblos originarios y a prácticas culinarias que han persistido por siglos. Su estudio actual las posiciona como alternativas sostenibles frente a la homogeneización de la dieta moderna (Parada et al., 2021).

5.1.2 Importancia nutricional a través de la historia

En tiempos de vulnerabilidad alimentaria, las plantas silvestres se han mostrado como una opción fiable capaz de brindar macronutrientes esenciales y compuestos

bioactivos (Shirsat & Koche, 2024). Hallazgos en los Andes refuerzan esta perspectiva a revelar que entre los años 9000 y 6500 años atrás los recolectores se alimentaban en un 80% vegetales y plantas silvestres (Duguma, 2020).

En Mesoamérica, los quelites acompañaron el sistema alimentario basado en el maíz, frijol y calabaza, aportando nutrientes esenciales como hierro, calcio, vitamina C y β -caroteno (Bojórquez-Quintal et al., 2020). Durante épocas de sequía o crisis alimentarias, estas especies representaron una alternativa accesible y resiliente gracias a su capacidad de crecer en condiciones adversas. Sin embargo, con la industrialización y la expansión de monocultivos, su consumo se redujo notablemente, lo que contribuyó a la pérdida de diversidad dietética (Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2016)

Por otra parte, con el paso de los años se han adquirido conocimientos sobre la nutrición funcional y la seguridad alimentaria de las plantas silvestres comestibles por lo que en la actualidad son reconocidas como recursos nutricionales esenciales. Estudios recientes indican que una ingesta diaria (100–200 g) puede aportar hasta el 50 % de la ingesta recomendada de fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos como antioxidantes (Clemente-Villalba et al., 2023).

5.2 Fitoquímicos de las plantas silvestres comestibles (*Calandrinia micrantha*, *Porophyllum ruderale* y *Suaeda edulis*).

Los fitoquímicos son compuestos bioactivos de origen vegetal, generalmente no considerados nutrientes esenciales, pero que desempeñan un papel importante en la protección de la salud humana. Estas moléculas participan en la defensa natural de las plantas contra plagas, radiación UV o condiciones ambientales adversas. Sin embargo, en los seres humanos muestran efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos y cardioprotectores, desde el punto de vista químico, se agrupan principalmente en polifenoles (flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, lignanos), terpenoides, alcaloides, glucosinolatos y compuestos azufrados (Melini & Ruzzi, 2025). En las plantas silvestres comestibles como *Calandrinia micrantha* (lengüitas), *Porophyllum ruderale* (pápalo) y *Suaeda edulis* (romeritos), estos compuestos se encuentran en concentraciones elevadas debido a su exposición a condiciones de

estrés ambiental, como radiación solar intensa, sequía o suelos con alta salinidad (Almaraz-Abarca et al., 2020).

De acuerdo con Patra et al. (2021) y Lalitha (2025) los fitoquímicos presentes en plantas con actividad biológica pueden ser variables, entre estos se pueden encontrar polifenoles, carotenoides, terpenoides, saponinas, y alcaloides.

5.2.1 Polifenoles

Las plantas sintetizan una gran variedad de metabolitos secundarios que contienen en su estructura un grupo fenol (anillo aromático con grupo hidroxilo), las cuales de manera genética reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides. A estos compuestos se les ha asociado con la asimilación de nutrientes, síntesis proteica, actividad enzimática, fotosíntesis, formación de componentes estructurales y la defensa ante los factores adversos del ambiente como la agresión por patógenos e insectos (Valencia-Avilés et al., 2017).

Los fenoles, son compuestos orgánicos que se caracterizan por poseer un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo (-OH). Esta estructura química es la responsable de su capacidad para actuar como donadores de hidrógeno y electrones, lo que les confiere una destacada función antioxidante. De manera general, los fenoles pueden clasificarse en simples (como el ácido gálico y el ácido cafeico) y en polifenoles cuando contienen múltiples unidades fenólicas unidas en su estructura, como ocurre en los flavonoides, lignanos, taninos y estilbenos (Cheynier, 2012).

Por otro lado, se pueden identificar a los flavonoides, una vasta clase de polifenoles vegetales con un esqueleto C6–C3–C6, formado por dos anillos bencénicos (anillos A y B) unidos por una cadena de tres carbonos que conforma un anillo heterocíclico (anillo C). Su biosíntesis se inicia en la vía del fenilpropanoide a partir del aminoácido aromático fenilalanina (y en algunos monocotiledóneos puede intervenir tirosina) (Panche, Diwan, & Chandra, 2016; Liu et al., 2021).

En *Calandrinia micrantha*, estudios han mostrado que la acumulación de fenoles totales es considerable, en parte debido a su adaptación a suelos pobres y

exposición directa al sol, lo que estimula la síntesis de flavonoides y ácidos fenólicos (Chen et al., 2021); en *Porophyllum ruderale*, se ha encontrado un alto contenido de compuestos fenólicos relacionados con propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas, posicionándolo como un ingrediente de interés nutracéutico (Vargas-Madriz et al., 2023a). Por su parte, *Suaeda edulis*, al crecer en suelos salinos, sintetiza cantidades importantes de polifenoles como respuesta a estrés osmótico, lo que incrementa su capacidad antioxidante (Shuyskaya et al., 2018).

5.2.2. Carotenoides

Son lípidos responsables de la pigmentación en animales, plantas y microorganismos, pero también desempeñan funciones importantes, a menudo críticas, en los sistemas biológicos, y además forman parte de la dieta diaria de los humanos.

Existen dos tipos de carotenoides, los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales y las xantofilas que si los tienen; son hidrocarburos que contienen generalmente 40 carbonos con un extenso sistema de dobles enlaces conjugados. Algunos carotenoides pueden tener 30 y 50 carbonos cuando estos son producidos por ciertas bacterias con diferentes vías intermediarias (Ribeiro et al., 2018).

En el caso de las plantas silvestres estudiadas, se observa una acumulación diferenciada de carotenoides. *Calandrinia micrantha* presenta contenidos significativos de β -caroteno y luteína, lo que la convierte en una fuente potencial para combatir deficiencias nutricionales en comunidades rurales (Lin et al., 2016). *Porophyllum ruderale* ha mostrado niveles elevados de carotenoides asociados a su adaptación a condiciones de alta radiación solar, los cuales además contribuyen a su característico aroma y sabor por su interacción con otros metabolitos como terpenoides (Vargas-Madriz et al., 2023a). Por su parte, *Suaeda edulis*, como halófito, sintetiza carotenoides en respuesta al estrés salino, con reportes de incrementos en luteína y β -caroteno en especies del mismo género (*Suaeda*) expuestas a ambientes hipersalinos, lo que refleja su capacidad de modular compuestos antioxidantes como defensa contra la salinidad (Lysenko & E.A., 2021).

5.2.3. Terpenoides, saponinas y alcaloides

Los terpenoides, saponinas y alcaloides constituyen tres de los grupos de metabolitos secundarios más relevantes dentro de las plantas silvestres comestibles, tanto por sus funciones ecológicas como por sus aplicaciones nutricionales y farmacológicas. Los terpenoides, también llamados isoprenoides, comprenden una amplia familia de compuestos derivados de la unidad de isopreno que participan en la defensa de la planta contra patógenos y herbívoros, así como en la interacción con el ambiente. Además, muchos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas de interés para la salud humana (Pichersky & Raguso, 2018). En el *Porophyllum ruderale* se han identificado terpenoides responsables de su aroma característico, que además presentan actividades biológicas relevantes, lo que explica su uso tradicional en la medicina popular (Morteza-Semnani, 2006).

5.2.4. Vitaminas con actividad antioxidante

Además de los metabolitos secundarios, muchas especies silvestres presentan vitaminas antioxidantes como la vitamina C (ácido ascórbico), la vitamina E (tocoferoles) y la vitamina A derivada de carotenoides. Estos micronutrientes, al interactuar con los fitoquímicos antes mencionados, potencian la capacidad del organismo para contrarrestar el daño oxidativo, reforzando la homeostasis celular (Olatunde et al., 2023).

La relevancia de estas vitaminas en las plantas silvestres no solo radica en su contribución directa a la nutrición humana, sino también en su sinergia con otros fitoquímicos como fenoles y carotenoides. Esta interacción potencia el efecto antioxidante total, convirtiendo a estas especies en alimentos funcionales con un impacto positivo en la salud pública. Además, su consumo regular puede representar una estrategia accesible y sostenible para combatir deficiencias nutricionales en comunidades rurales donde el acceso a suplementos vitamínicos es limitado (Pisoschi & Pop, 2015).

5.2.5 Diversidad fitoquímica en malezas comestibles locales

Estudios recientes en malezas comestibles y vegetación silvestre han reportado la presencia de fenoles, aceites esenciales, aminoácidos, péptidos, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales. Esta diversidad fitoquímica confiere a las especies silvestres una alta capacidad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticancerígena, lo que las posiciona como una alternativa viable en el desarrollo de productos agroindustriales funcionales y en la promoción de dietas más saludables y sostenibles (Gündüz & Karabıyıklı, 2024).

Es importante comentar que especies como *Calandrinia micrantha* (lengüitas), *Porophyllum ruderale* (pápalo) y *Suaeda edulis* (romeritos) forman parte del grupo de quelites, ampliamente consumidos por comunidades rurales e indígenas, y caracterizados por su elevado contenido de fenoles, flavonoides, carotenoides, vitaminas y metabolitos secundarios diversos (Bojórquez-Quintal et al., 2020).

5.3. Mecanismos de acción de compuestos antioxidantes

Los mecanismos de acción de los compuestos antioxidantes hacen referencia a los procesos bioquímicos y moleculares mediante los cuales estas moléculas neutralizan o reducen el daño causado por especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (RNS) en los sistemas biológicos. Dichas especies, comúnmente conocidas como radicales libres, generan estrés oxidativo, condición asociada con el envejecimiento celular y con enfermedades crónicas como cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Saini et al., 2022).

Estas rutas incluyen principalmente la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT), la transferencia de electrones seguida de protones (SET-PT), la transferencia secuencial de protones y electrones (SPLET) y la quelación de metales de transición (TMC) (Tumilaar et al., 2024).

5.3.1. Pérdida secuencial de protón y transferencia de electrón (SPLET)

El mecanismo SPLET es particularmente relevante en condiciones fisiológicas y medios acuosos. En este proceso, el antioxidante pierde primero un protón, generando un anión (ArO^-) que posteriormente dona un electrón al radical libre.

Este mecanismo está controlado por dos parámetros termodinámicos: la afinidad protónica (PA) y la entalpía de transferencia electrónica (ETE). El SPLET es característico de polifenoles con grupos hidroxilo ácidos y alta estabilidad de su forma aniónica, como el ácido cafeico o el ácido ferúlico (Zhang et al., 2022).

5.3.2. Transferencia de átomo de hidrógeno (HAT)

El mecanismo de HAT consiste en que el antioxidante dona directamente un átomo de hidrógeno ($H\bullet$), que incluye simultáneamente un electrón y un protón, a la especie radicalaria. Este proceso genera un radical antioxidante más estable y menos reactivo, interrumpiendo así la cadena de reacciones de oxidación.

En el caso de los polifenoles, como flavonoides y ácidos fenólicos, la capacidad de donar hidrógeno depende principalmente de la energía de disociación del enlace O–H (BDE): cuanto menor es esta energía, más fácilmente el hidrógeno es transferido (Pham-Huy et al., 2020).

5.3.3. Transferencia de electrón seguida de protón (SET-PT)

En el mecanismo SET-PT, el antioxidante primero transfiere un electrón al radical libre, reduciéndolo y generando un radical catión del antioxidante. Este radical catión pierde posteriormente un protón para estabilizarse. La efectividad de este proceso se asocia con la energía de ionización (IP), conociendo que antioxidantes con baja IP pueden donar electrones de manera más eficiente. Este mecanismo es más frecuente en medios polares y puede ser determinante en la actividad antioxidante de compuestos como catequinas y antocianinas (Li et al., 2023).

5.3.4. Quelación de metales de transición (TMC)

Este mecanismo no actúa directamente sobre radicales libres, sino que previene su formación. Los metales de transición, como el hierro y el cobre, pueden catalizar la producción de radicales hidroxilos mediante reacciones tipo Fenton. Los antioxidantes con grupos funcionales capaces de unirse a estos metales (catecoles, carbonilos, grupos carboxilatos) los inactivan, reduciendo así la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Este proceso es fundamental en la protección

frente a daño oxidativo en tejidos con alta concentración de hierro, como el hígado (Martínez et al., 2021).

5.3.5. Relevancia fisiológica

En organismos vivos, los antioxidantes suelen actuar mediante una combinación de estos mecanismos, dependiendo de su estructura y del entorno celular. Por ejemplo, un flavonoide puede donar hidrógeno (HAT), transferir electrones (SET-PT) y al mismo tiempo tomar metales de transición (TMC), ofreciendo así una protección multifacética frente al daño oxidativo (Lobo et al., 2010).

Este conocimiento es crucial para comprender la función de los compuestos bioactivos presentes en *Calandrinia micrantha*, *Porophyllum ruderale* y *Suaeda edulis*, y evaluar su potencial como ingredientes funcionales.

5.4. Metodologías para determinar compuestos fitoquímicos y antioxidantes

La evaluación de la actividad antioxidante es esencial para comprender el potencial terapéutico y funcional de compuestos bioactivos presentes en alimentos, plantas medicinales y suplementos. Diversas metodologías han sido desarrolladas para cuantificar esta actividad, cada una con principios y aplicaciones específicas. Los métodos analíticos se clasifican en tres categorías principales: espectrofotometría, ensayos electroquímicos y cromatografía (Munteanu et al.2021). El presente estudio se enfocó en el análisis espectrofotométrico.

5.4.1. Poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

La prueba FRAP es un método típico basado en SET que mide la reducción del complejo de iones férricos (Fe^{3+}) ligando al complejo ferroso intensamente azul (Fe^{2+}), por medio de antioxidantes en entornos ácidos. La actividad antioxidante se determina como un aumento en la absorbancia a 593 nm, y los resultados se expresan como micromoles equivalentes de Fe^{2+} o en relación con un antioxidante estándar (Antolovich et al., 2002).

La prueba FRAP ha adoptado recientemente técnicas de detección electroquímica para una mejor sensibilidad, precisión y reproducibilidad. Se desarrolló un nuevo método de titulación colorimétrico para determinar el valor FRAP de diferentes

materiales antioxidantes (Ziyatdinova et al., 2014). En este método FRAP modificado, el antioxidante reacciona con los titulantes colorimétricos (iones ferricianuro electrogenerados) y la cantidad de energía eléctrica consumida para la titulación hasta el punto final (cuando se reanuda la corriente inicial) sirve como indicador de la reducción del poder antioxidante. La prueba FRAP por titulación colorimétrica se destaca por ser extremadamente sensible, confiable y simple en la evaluación del poder reductor (Ziyatdinova et al., 2014).

En estudios con especies tradicionales mexicanas, como los quelites, se ha observado que valores altos de FRAP se correlacionan con un mayor contenido de flavonoides y ácidos fenólicos, lo que confirma la relevancia de este método para la caracterización de plantas como *Porophyllum ruderale* (Vargas-Madriz et al., 2023b)

5.4.2. Capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC o ABTS)

La prueba TEAC fue desarrollada por primera vez por Miller y su equipo en 1993 como un método simple y conveniente usado para medir la capacidad antioxidante total. La prueba mide la capacidad de los antioxidantes para neutralizar el catión radical estable 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico). El radical (ABTS), un cromóforo azul-verde de máxima absorción a 734 nm, cuya intensidad disminuye en presencia de antioxidantes, puede generarse a partir del reactivo ABTS en presencia de poderosos agentes antioxidantes. El grado de decoloración del color azul-verde, cuantificado como una caída repentina en la absorbancia a 734 nm, depende de la duración de la reacción, la actividad antioxidante intrínseca y la concentración de la muestra (Aitken et al., 2024).

Este ensayo es versátil (Almaraz-Abarca et al., 2020), ya que puede aplicarse tanto en compuestos hidrofílicos como lipofílicos, lo que lo hace particularmente útil en plantas con perfiles fitoquímicos diversos como *Suaeda edulis*, que contiene carotenoides y polifenoles solubles. Investigaciones recientes muestran que extractos de quelites presentan valores de ABTS superiores a vegetales convencionales, reforzando su papel como alimentos funcionales (Almaraz-Abarca et al., 2020).

5.4.3. 2,2-diphenil-1-picrilhydrazilo (DPPH)

El radical libre DPPH, que se usa ampliamente para evaluar la capacidad de los compuestos funcionales como captadores de radicales libres y proveedores de hidrógeno, es un método rápido, simple y económico para probar las capacidades antioxidantes. Se basa en la eliminación de DPPH, un radical libre estabilizado. De hecho, este radical, es un compuesto cristalino de color oscuro formado por partículas de radicales libres que son estables. En particular, es un radical bien conocido y una prueba antioxidante popular. Una vez reducido y transformado en DPPH-H, el radical presenta un tono púrpura oscuro en solución, pero cuando se reduce y se transforma en DPPH-H, se vuelve incoloro o amarillo claro (Sridhar & Charles, 2019).

En este contexto, las pruebas DPPH, TEAC y FRAP son tres de los primeros conjuntos de experimentos relacionados con la eliminación de electrones o radicales, y funcionan con base en el proceso de reducción.

5.5. Potencial agroindustrial de las hierbas silvestres comestibles

La diversidad de hierbas silvestres comestibles en México es notable, tal es el caso de la comunidad de San Miguel Tlaxcaltepec ubicada en el municipio de Amealco estado de Querétaro, se han identificado 119 especies comestibles pertenecientes a 82 géneros y 41 familias botánicas. Algunos ejemplos de estas especies son: *Amaranthus cruentus* L. (Quelite morado, quelitillo colorado, quelite rojo), *Chenopodium berlandieri* Moq (Quelite cenizo), *Porophyllum linaria* (Cav.) DC (Hierba del venado), *Portulaca oleracea* L (verdolagas), entre otras. Estas especies se consumen en diversas formas, incluyendo frescas, cocidas, en conservas o como ingredientes en productos procesados (Hernández-Puente et al., 2025).

5.5.1 Potencial para el Desarrollo Agroindustrial

A nivel nacional, México alberga entre 25,000 y 30,000 especies vegetales, de las cuales al menos 2,168 son consideradas comestibles. Muchas de estas plantas y flores comestibles poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, que pueden ser consideradas en la creación de productos bioactivos para la industria alimentaria, nutracéutica y farmacéutica, representando

un gran potencial agroindustrial (Chuck & Escalante, 2025). En ese contexto, las hierbas silvestres comestibles ofrecen oportunidades no solo de aprovechar los recursos propios de la región para obtener sus beneficios mediante la dieta, si no su potencial como ingredientes funcionales para el desarrollo de productos innovadores y sostenibles. Es por ello, que el potencial agroindustrial de las plantas silvestres comestibles se basa principalmente en su aporte nutricional, su contenido de compuestos bioactivos y adicionalmente de su capacidad de adaptarse a condiciones climáticas adversas, generando insumos fáciles de obtener y de bajo costo para la población y para la industria alimentaria (Flowers & Colmer, 2015).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Recolección de materia prima

Las lengüitas (*Calandrinia micrantha*), pápalo (*Porophyllum ruderale*) y romeritos (*Suaeda edulis*) se obtuvieron de productores locales de la región del valle de Tulancingo. Las muestras libres de pudrición y plagas fueron seleccionadas y lavadas. Posteriormente, las muestras se secaron en condiciones de sombra a una temperatura entre 20-22 °C durante una semana. Después, se trituraron en un molino de cuchillas (Haan®, RTSCH GM 200, Alemania) a 9000 rpm durante 60 segundos. Finalmente, las muestras se empacaron en bolsas negras herméticas y se almacenaron a 5 °C hasta su análisis.

6.2. Compuestos antioxidantes

6.2.1. Ácido ascórbico (Vitamina C)

El contenido de ácido ascórbico fue determinado de acuerdo con Dürüst (1997). El solvente usado para la preparación de la muestra fue ácido tricloroacético al 10%. La absorbancia fue medida a 760nm (Jenway, 6715, EUA) Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico (mg AA) /g de peso seco (PS)

6.2.2. Fenoles totales

La determinación de fenoles totales se llevó a cabo por el método Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). El solvente utilizado para la extracción fue etanol al 80%. La

absorbancia se midió a 725 nm (Jenway, 6715, EUA), Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG) /g PS.

6.2.3 Flavonoides totales

Para la determinación de flavonoides totales se empleó la metodología propuesta por M.A Rosales et al. (2011). Se utilizaron los mismos solventes descritos para fenoles totales. Adicionalmente se utilizó nitrito de sodio, aluminio tricloruro e hidróxido de sodio. La formación del complejo se cuantificó mediante espectrofotometría, registrando la absorbancia a 415 nm (Jenway, 6715, EUA). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina (mg EQ) /g PS.

6.2.4. Clorofila a, b y total.

En la determinación de Clorofila A, B y totales se utilizó el método Arnon (1949) en el cual se pesó tejido vegetal fresco y se maceraron en acetona al 80 % en condiciones de oscuridad, posteriormente la mezcla se centrifugó para eliminar residuos sólidos y obtener el extracto. Se midió su absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis (Jenway, 6715, EUA), a las longitudes de onda específicas de 663 nm (clorofila a) y 645 nm (clorofila b), para la clorofila total se calculó sumando los resultados de clorofila a + b. Los resultados se expresaron en mg de clorofila/g PS.

6.2.5. Carotenoides totales

En la obtención de carotenoides totales se utilizó el método Lichtenthaler & Wellburn (1983). Se pesó una muestra conocida de tejido fresco y se maceraron en acetona al 80% en mortero protegido de la luz para cuidar su degradación. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 5,000 rpm durante 10 min para eliminar los residuos sólidos. Su absorbancia fue medida en espectrofotómetro UV-Vis a 470 nm (Jenway, 6715, EUA). Los resultados fueron expresados como mg de carotenoides totales/g PS.

6.3. Capacidad antioxidante

6.3.1. DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

Para su determinación se utilizó el método de Brand-Williams et al. (1995). Se preparó una solución 0.1 mM de DPPH en metanol, posteriormente se estabilizó el radical a una absorbancia de 0.70 ± 0.02 a 734 nm. Después, se tomaron 3.9 mL del radical estabilizado y se mezclaron con 100 μ L del extracto. La lectura se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis (Jenway, 6715, EUA) a 517 nm. Los resultados se reportaron como μ M equivalentes de Trolox (μ M ET) /g PS.

6.3.2. ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)

Para su determinación se utiliza el método de Re et al. (1999). Se incubaron 7 mM de ABTS y 2.45 mM de persulfato de potasio durante 16 h, posteriormente se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia de 0.70 ± 0.02 a 734 nm. Se tomó una muestra conocida del extracto y se añadieron 3.9 mL de ABTS previamente estabilizado. La lectura se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis (Jenway, 6715, EUA) a 734 nm. Los resultados se reportaron como μ M equivalentes de Trolox (μ M ET) /g PS.

6.3.3. FRAP (Poder antioxidante reductor férrico)

Para la determinación de FRAP se utilizó el método de Benzie y Strain (1996). Se preparó una solución de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) y se mezcló con el extracto. Se incubó la mezcla durante 4-10 min, posteriormente se sometió a una lectura en espectrofotómetro UV-Vis (Jenway, 6715, EUA) a 593 nm. Los resultados se reportaron como μ M equivalentes de Trolox (μ M ET) /g PS.

6.4 Análisis estadístico

Todos los resultados se notificaron como media $\pm$ DE, cada uno con tres réplicas. Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analyses System, 2002). Se comprobó la significación de las comparaciones entre las medias de los tratamientos, utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey a un nivel de significación $p < 0,05$.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Determinación de clorofila

En la figura 1 se muestran los resultados de clorofila a, b y total. La planta romerito exhibió mayor concentración en estos parámetros en comparación con la planta lengüita existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Las halófitas como *Suaeda* (Romerito) acumulan altos niveles de nitrógeno foliar, lo que favorece la síntesis de clorofila (Hawas et al., 2022). Aunado a ello, el nitrógeno juega un papel importante en la formación de los anillos tetrapirrólicos de la clorofila, y las especies salinas como *Suaeda* se benefician de su acumulación en suelos ricos en sales (Hawas et al., 2022). Esto concuerda con los resultados presentados en esta investigación donde el tratamiento de romeritos exhibió el mayor contenido de clorofila A, B y total.

Por el contrario, la planta de lengüitas presentó el valor menor para los parámetros antes mencionados. En previas investigaciones realizadas por Cakaj et al. (2023), reportaron una concentración de clorofila total para lengüitas en un rango de 4-15 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ valor tres veces menor al que se reporta en esta investigación. Esto puede deberse a diferentes factores como, el suelo donde se cosechó, así como el crecimiento en sombra o luz directa (Cakaj et al., 2023). Así mismo, el contenido de clorofila tiende a ser más bajo en comparación con especies halófitas, debido a que crecen en suelos ácidos y pobres en nutrientes. Este tipo de ambiente limita la síntesis de clorofila, en contraste con las especies salinas que prosperan en suelos ricos en nitrógeno (Yang et al., 2021).

En relación con el pápalo, los valores que presentó podrían estar vinculados a la exposición solar elevada que favorece la síntesis de clorofila, debido a que la intensidad lumínica es un factor determinante en la biosíntesis de pigmentos fotosintéticos. Esto se sustenta en estudios que demuestran cómo la disponibilidad de luz regula el contenido de clorofila y la capacidad fotosintética en plantas herbáceas como *Salvia officinalis* (Rezai et al., 2018). Por otro lado, en revisiones se destaca el papel de la radiación solar en la regulación del crecimiento y la pigmentación vegetal (Wu et al., 2025; Yue et al., 2021). Además, las hojas jóvenes,

al estar sometidas a intensas condiciones lumínicas, tienden a acumular más clorofila debido a su alta actividad fotosintética.

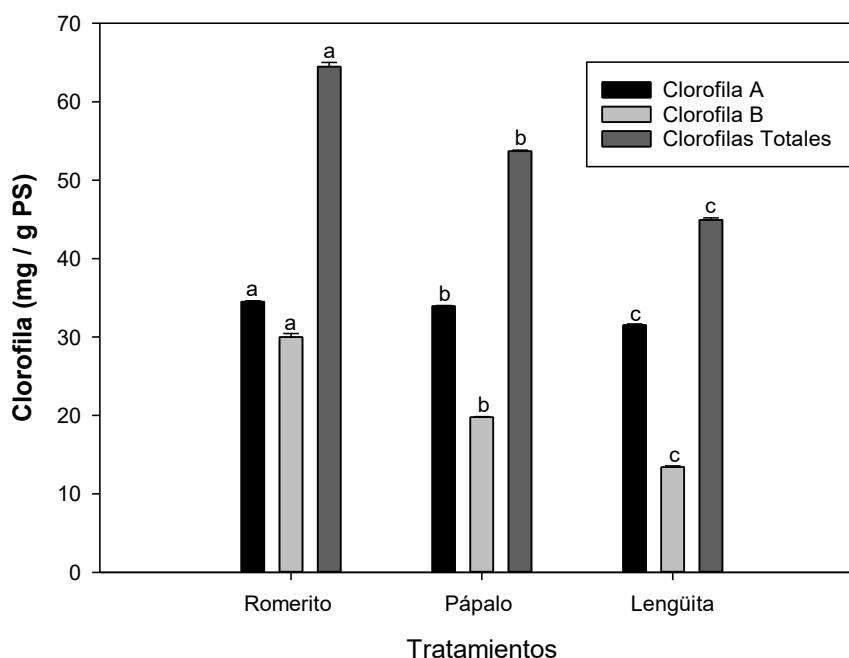


Figura 1. Contenido de clorofila a, b y total en tres variedades de plantas silvestres. Diferentes letras representan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$

7.2 Determinación de ácido ascórbico y carotenoides

En la figura 2 se muestran los resultados del contenido de ácido ascórbico y carotenoides totales. La planta de pápalo presentó la mayor concentración de ácido ascórbico, en comparación con la planta de lengüita. Previas investigaciones realizadas por Ceccanti (2020) reportan valores similares a los obtenidos en esta investigación. En su estudio utilizó muestra fresca reportando valores cercanos a 4 mg de ácido ascórbico/g PS durante los primeros tres días de almacenamiento, mientras que al día 6 su concentración aumentó a 7 mg de ácido ascórbico/g PS. Por otro lado, referente a los valores del romerito, este comportamiento estaría justificado por lo que describe Oueslati (2012) donde reporta que las especies de *Suaeda* acumulan vitamina C para mitigar los efectos del estrés oxidativo provocado por la salinidad, esta estrategia es común en plantas halófitas, que utilizan los compuestos bioactivos para enfrentar el ambiente salino. De igual manera, las hojas

frescas de pápalo contienen niveles elevados de ácido ascórbico, especialmente en hojas jóvenes, debido a su actividad fotosintética y exposición a la luz solar, por otro lado, el ácido ascórbico actúa como un antioxidante primario en plantas expuestas a radiación (Dzigbor et al., 2025). Por ende, el comportamiento de las muestras se puede justificar por qué el ácido ascórbico actúa como un antioxidante primario en plantas expuestas a radiación, como es el caso de las plantas de este estudio donde crecieron de manera silvestre (Wu et al., 2025; Yue et al., 2021).

Referente al contenido de carotenoides, el pápalo presento una buena concentración, lo cual es comparable a lo reportado en otras plantas ricas en este compuesto como verdolaga (*Portulaca oleracea*) (Nemzer et al., 2021). Es importante comentar que los resultados pueden variar por distintas cuestiones, como lo es la especie y diferencias genéticas que determinan la capacidad biosintética de carotenoides. Por otro lado, algunos estudios muestran variación inter-específica marcada (Sun et al., 2022).

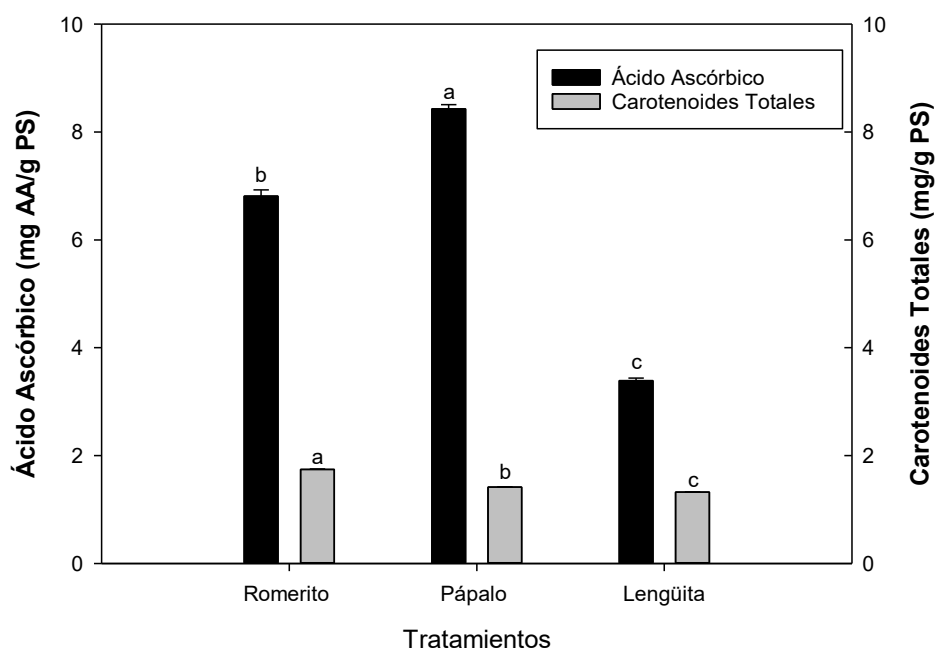


Figura 2. Contenido de ácido ascórbico y carotenoides totales en tres variedades de plantas silvestres. Diferentes letras representan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

7.3 Determinación de fenoles y flavonoides totales

En la figura 3 se muestran los resultados para fenoles y flavonoides totales. En fenoles totales la mayor concentración fue exhibida por el pápalo y en menor concentración la planta lengüitas.

Sin embargo, en los flavonoides totales se obtuvo que pápalo y lengüitas no presentaron diferencia estadística, manteniéndose como las plantas con mayor concentración de flavonoides dentro del análisis. En previas investigaciones sobre plantas silvestres comestibles se han reportado valores en un rango de 9.608 a 14.772 mg EAG/g PS (Dzigbor et al., 2025). La diferencia entre los resultados estaría relacionada con la parte de la planta y donde fueron tomadas las muestras para su análisis, ya que las hojas y partes generativas de las plantas suelen mostrar de 3 a 7 veces mayor concentración en comparación con el tallo o raíz. En el estudio realizado por (Costa-Becheleni et al., 2021) analizaron dos plantas de la familia *Suaeda* de las cuales se obtuvieron datos similares a los obtenidos en este estudio en fenoles totales con un resultado de casi 16 mg GAG/ g Ps. Sin embargo, en flavonoides totales se encontró una diferencia significativa con un valor de casi 39 mg GAE/ g PS. En el caso del pápalo, una mayor exposición solar y un ambiente con estrés moderado (como déficit hídrico o suelos pobres) pueden inducir la acumulación de fenoles, ya que estos compuestos funcionan como mecanismos de defensa frente al estrés oxidativo. Por el contrario, en ambientes más estables, húmedos y con alta disponibilidad de nutrientes, la planta puede mostrar una menor acumulación de fenoles porque no requiere activar en exceso estas rutas defensivas. (Lattanzio, 2013)

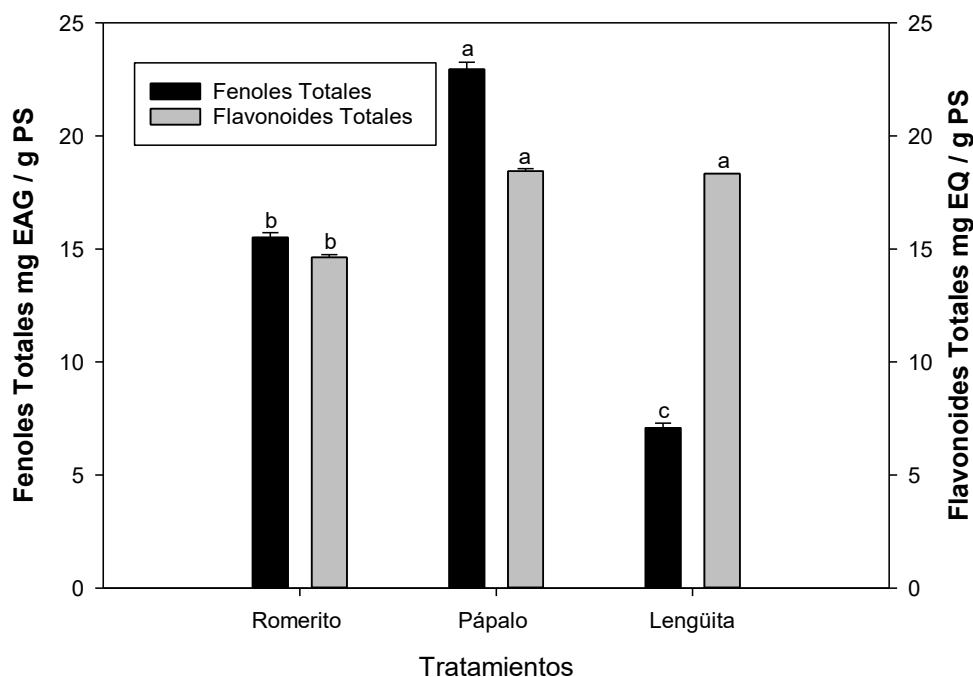


Figura 3. Contenido de fenoles y flavonoides totales en tres plantas silvestres. Diferentes letras representan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

7.4 Capacidad antioxidante

En la tabla 1 se muestran los resultados para los ensayos de ABTS, DPPH y FRAP. La planta lengüita mostró mayor capacidad antioxidante ante el pápalo y romerito en los tres métodos mencionados. En la investigación realizada por Ibraheem et al. (2022), se encontraron valores menores en *Calandrinia micrantha* en comparación a esta investigación. Por otro lado, la planta de pápalo en comparación con la investigación realizada por Atanacio et al. (2022) obtuvo mayor capacidad antioxidante.

Por otra parte, la actividad antioxidante de *Calandrinia micrantha* podría estar relacionada con el contenido de flavonoides como la quercetina. Investigaciones han mostrado que las plantas silvestres han mostrado mayor actividad antioxidante en ensayos como DPPH y ABTS representando de un 10 hasta un 35% más en

comparación con muestras cultivadas, debido al estrés ambiental que favorece la síntesis de estos compuestos antioxidantes lo que se deriva en una alta capacidad antioxidante (Hosni et al., 2013; Oueslati et al., 2012). En el caso del romerito se ha reportado que el estrés salino induce la producción de metabolitos reductores, responsables de su alta capacidad antioxidante (Oueslati et al., 2012)

Tabla 1. Capacidad antioxidante por método ABTS, DPPH Y FRAP.

Tratamientos	ABTS ($\mu\text{M ET/g}^{-1}\text{ PS}$)	DPPH ($\mu\text{M ET/g}^{-1}\text{ PS}$)	FRAP ($\mu\text{M ET/g}^{-1}\text{ PS}$)
Romerito	167.191 $\pm$ 4.442 ^b	74.994 $\pm$ 0.600 ^b	135.186 $\pm$ 2.024 ^b
Pápalo	113.424 $\pm$ 2.468 ^c	51.143 $\pm$ 0.261 ^c	60.499 $\pm$ 3.680 ^c
Lengüita	220.140 $\pm$ 3.933 ^a	79.776 $\pm$ 0.941 ^a	174.292 $\pm$ 2.458 ^a

Diferentes letras en cada columna representan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey $p \leq 0.05$.

8. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio indican que las plantas silvestres evaluadas tienen un patrón de perfil de compuestos bioactivos diferente. En particular, el pápalo presentó el contenido más alto de ácido ascórbico, fenoles y flavonoides totales. Por otro lado, los romeritos sobresalieron en la acumulación de clorofila, carotenoides y fenoles totales. De igual manera, los contenidos más elevados de flavonoides totales también se encontraron en lengüitas y, aunque hubo variabilidad en la actividad antioxidante, se presentaron los valores más altos en ellas, asociados posiblemente a una mayor concentración y variabilidad del contenido de flavonoides ya que estos son más potentes y versátiles en comparación con los fenoles simples y otros compuestos antioxidantes. Para concluir, los resultados actuales se alinean con evidencia que sugiere que las plantas silvestres no son solo relevantes en la dieta local, sino que también son alternativas sostenibles y funcionales que podrían usarse como ingredientes naturales en la industria alimentaria.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (Dürüst, D. Sümengen, Y. Dürüst, Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *J. Agric. Food Chem.* 45(6), 2085–2087 (1997).
2. Aitken, R. J., Wilkins, A., Harrison, N., Kobarfard, K., & Lambourne, S. (2024). Towards the Development of Novel, Point-of-Care Assays for Monitoring Different Forms of Antioxidant Activity: The RoXsta™ System. *Antioxidants*, 13(11), 1379. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX13111379/S1>
3. Almaraz-Abarca, N., et al. (2020). Phenolic compounds and antioxidant activity in edible plants with traditional use in Mexico. *Molecules*, 25(19), 4337. <https://doi.org/10.3390/molecules25194337>
4. Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1), 183–198. <https://doi.org/10.1039/B009171P>
5. Arnon, D. I. (1949). *Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
6. Cakaj, A., Lisiak-Zielińska, M., Hanć, A., Małecka, A., Borowiak, K., & Drapikowska, M. (2023). Common weeds as heavy metal bioindicators: a new approach in biomonitoring. *Scientific Reports*, 13(1), 6926. <https://doi.org/10.1038/S41598-023-34019-9>
7. Casado, R., Landa, A., Calvo, J., García-Mina, J. M., Marston, A., Hostettmann, K., & Calvo, M. I. (2011). Anti-inflammatory, antioxidant and antifungal activity of Chuquiraga spinosa. *Pharmaceutical Biology*, 49(6), 620–626. <https://doi.org/10.3109/13880209.2011.577436>
8. Ceccanti, C., Landi, M., Incrocci, L., Pardossi, A., & Guidi, L. (2020). Suitability of Hydroponically-Grown Rumex acetosa L. as Fresh-Cut Produce. *Horticulturae* 2020, Vol. 6, Page 4, 6(1), 4. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE6010004>

9. Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M. H., ElSohly, M. A., & Khan, I. A. (2014). *Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: a comparative study*. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2014, Article ID 253875. <https://doi.org/10.1155/2014/253875>
10. Chen, Y., Zhang, H., Zhang, L., Zhang, L., Cao, Q., Liu, H., & Zhang, D. (2021). Is plant life-history of biseasonal germination consistent in response to extreme precipitation? *Plants*, 10(8), 1642. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10081642/S1>
11. Cheynier, V. (2012). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews*, 11(2-3), 153–177. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>
12. Clemente-Villalba, J., Burló, F., Hernández, F., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2023). Valorization of Wild Edible Plants as Food Ingredients and Their Economic Value. *Foods*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/FOODS12051012>,
13. Costa-Becheleni, F. R., Troyo-Diéguéz, E., Nieto-Garibay, A., Bustamante-Salazar, L. A., García-Galindo, H. S., & Murillo-Amador, B. (2021). Hydro-Environmental Criteria for Introducing an Edible Halophyte from a Rainy Region to an Arid Zone: A Study Case of Suaeda spp. as a New Crop in NW México. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/PLANTS10101996>
14. Costa-Becheleni, F. R., Troyo-Diéguéz, E., Ruiz-Hernández, A. A., Ayala-Niño, F., Bustamante-Salazar, L. A., Medel-Narváez, A., Martínez-Rincón, R. O., Robles-Sánchez, R. M., Costa-Becheleni, F. R., Troyo-Diéguéz, E., Ruiz-Hernández, A. A., Ayala-Niño, F., Bustamante-Salazar, L. A., Medel-Narváez, A., Martínez-Rincón, R. O., & Robles-Sánchez, R. M. (2024b). Determination of bioactive compounds and antioxidant capacity of the halophytes *Suaeda edulis* and *Suaeda esteroa* (Chenopodiaceae): An

- option as novel healthy agro-foods. *AIMS Agriculture and Food* 2024 3:716, 9(3), 716–742. <https://doi.org/10.3934/AGRFOOD.2024039>
15. Costa-Becheleni, F. R., Troyo-Diéguez, E., Ruiz-Hernández, A. A., Ayala-Niño, F., Bustamante-Salazar, L. A., Salazar-López, N. J., & Robles-Sánchez, R. M. (2024). In vitro bioaccessibility of phenolic compounds from the halophytes *suaeda edulis* and *suaeda esteroa*: Opportunity for the development of novel foods. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 12(2), 868–886. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.12.2.31>
 16. Cristina Chuck y Anayansi Escalante. (2025). *Plantas y flores comestibles mexicanas para desarrollar productos bioactivos*.
 17. da Silva, L. A. L., Pezzini, B. R., & Soares, L. (2015). *Spectrophotometric determination of the total flavonoid content in Ocimum basilicum L. (Lamiaceae) leaves*. *Pharmacognosy Magazine*, 11(41), 96–101. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.149721>
 18. Duguma, H. T. (2020). Wild Edible Plant Nutritional Contribution and Consumer Perception in Ethiopia. *International Journal of Food Science*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2958623>,
 19. Dzigbor, A., Neglo, D., Tettey, C. O., & Alormassor, P. (2025). Total phenolic content, antioxidant activity, GC-MS characterization, and antimicrobial activity of leaf and flower extracts of *Porophyllum ruderale*. *Pharmacological Research - Natural Products*, 7, 100243. <https://doi.org/10.1016/J.PRENAP.2025.100243>
 20. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*. (s/f). Recuperado el 11 de agosto de 2025, de <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/>
 21. Feduraev, P., Chupakhina, G., Maslennikov, P., Tacenko, N., & Skrypnik, L. (2019). Variation in Phenolic Compounds Content and Antioxidant Activity of Different Plant Organs from *Rumex crispus* L. and *Rumex obtusifolius* L. at Different Growth Stages. *Antioxidants*, 8(7), 237. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX8070237>
 22. Flores-Sánchez, D., Hernández-Ruíz, A., Navarro-Garza, H., Vázquez-García, V., & Vibrans, H. (2022). Plantas silvestres en la dieta de familias

- campesinas en Tecoanapa, Guerrero. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 154–167. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.1289>
23. Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2015). Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3), 327–331. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu267>
 24. Gliszczynska-Swiglo, A. (2024). Revisión sobre FRAP como método de capacidad antioxidante: principios, pH, longitud de onda, y comparaciones. *Applied Sciences*, 15(11), 5925.
 25. Grivetti, L. E., & Ogle, B. M. (2000). Value of traditional foods in meeting macro- and micronutrient needs: the wild plant connection. *Nutrition Research Reviews*, 13(1), 31–46. <https://doi.org/10.1079/095442200108728990>
 26. Gündüz, M., & Karabıyıklı Çiçek, Ş. (2024). *Some edible weeds grown in the Black Sea Region and their bioactive properties*. Toros University Journal of Food, Nutrition and Gastronomy, 2(2), 183-195. <https://doi.org/10.58625/jfng-2321> jfng.toros.edu.tr
 27. Hawas, U.W., El-Awady, M.A., & Ali, M.A. (2022). Antioxidant and bioactive compounds of *Suaeda* species from the Red Sea coast. *Marine Drugs*, 20(2), 98. [Link](#)
 28. Hernández-Puente, K. N., Hernández-Sandoval, L., González-Santos, R., Casas, A., Martínez, M., & Steinmann, V. W. (2025). Diversity, management, and uses of edible plants in a Nãñho community of Southern Querétaro, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 21(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/S13002-025-00756-6/TABLES/5>
 29. Hosni, K., Hassen, I., Sebei, H., & Casabianca, H. (2013). Secondary metabolites from *Chrysanthemum coronarium* (Garland) flowerheads: Chemical composition and biological activities. *Industrial Crops and Products*, 44, 263–271. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.11.033>
 30. Ibraheem, F., Al-Zahrani, A., & Mosa, A. (2022). Physiological Adaptation of Three Wild Halophytic Suaeda Species: Salt Tolerance Strategies and

- Metal Accumulation Capacity. *Plants*, 11(4), 537.
<https://doi.org/10.3390/PLANTS11040537/S1>
31. Khapte, P. S., Kumar, P., Singh, A., Wakchaure, G. C., Saxena, A., & Sabatino, L. (2022). Integrative Effect of Protective Structures and Irrigation Levels on Tomato Performance in Indian Hot-Arid Region. *Plants* 2022, Vol. 11, Page 2743, 11(20), 2743.
<https://doi.org/10.3390/PLANTS11202743>
 32. Lalitha, A. (2025). Phytochemicals and health benefits. *Annals of Geriatric Education and Medical Sciences*, 11(1), 29–31.
<https://doi.org/10.18231/J.AGEMS.2024.007>
 33. Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: Introduction. In K. G. Ramawat & J.-M. Mérillon (Eds.), *Natural products* (pp. 1543–1575). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_57
 34. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). *Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents*. Biochemical Society Transactions, 11(5), 591–592.
<https://doi.org/10.1042/bst0110591>
 35. Lin, Z., Fischer, J., & Wicker, L. (2016). Intermolecular binding of blueberry pectin-rich fractions and anthocyanin. *Food Chemistry*, 194, 986–993.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.08.113>
 36. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118-126.
 37. Lysenko, & E.A. (2021). Application of fast light-readapted plants for measurement of chlorophyll fluorescence and P700 light absorption with the RLC method. <http://ps.ueb.cas.cz/doi/10.32615/ps.2021.015.html>, 59(2), 245–255. <https://doi.org/10.32615/PS.2021.015>
 38. M.A Rosales, L.M. Cervilla, E. Sánchez-Rodríguez, M.D.M. Rubio-Wilhelmi, B. Blasco, J.J. Ríos, J.M. Ruiz, The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: evaluation of two

- experimental Mediterranean greenhouses. *J. Sci. Food Agric.* **91**(1), 152–162 (2011)
39. Morteza-Semnani, K. (2006). Essential Oil Composition of *Lallemantia iberica* Fisch. et C.A. Mey. *Journal of Essential Oil Research*, *18*(2), 164–165. <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699055>
 40. Nemzer, B., et al. (2021). Extraction and Natural Bioactive Molecules ... Antioxidants. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8123472/>
 41. Oueslati, S., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Legault, J., Abdelly, C., & Ksouri, R. (2012). Evaluation of antioxidant activities of the edible and medicinal *Suaeda* species and related phenolic compounds. *Industrial Crops and Products*, *36*(1), 513–518. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2011.10.006>
 42. Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). *Flavonoids: an overview*. *Journal of Nutritional Science*, *5*, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5465813/>
 43. Parada, A., Alberto, E. E., Reyes, Á., & Santibañez, H. (2021). Factors that limit adherence to diet and quality of life in Chilean celiac patients during COVID-19. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *71*(1), 54–60. <https://doi.org/10.37527/2021.71.1.006>
 44. Patra, S., Nayak, R., Patro, S., Pradhan, B., Sahu, B., Behera, C., Bhutia, S. K., & Jena, M. (2021). Chemical diversity of dietary phytochemicals and their mode of chemoprevention. *Biotechnology Reports*, *30*, e00633. <https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2021.E00633>
 45. Pichersky, E., & Raguso, R. A. (2018). Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytologist*, *220*(3), 692–702. <https://doi.org/10.1111/NPH.14178>
 46. Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *97*, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>

47. Shirsat, R., & Koche, D. (2024). Wild Edible Plants (WEPs): A Review on Their Importance, Possible Threats, and Conservation. *Contemporary Research and Perspectives in Biological Science Vol. 2*, 97–115. <https://doi.org/10.9734/BPI/CRPBS/V2/1897>
48. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). *Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent*. In Packer, L. (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
49. Sridhar, K., & Charles, A. L. (2019). In vitro antioxidant activity of Kyoho grape extracts in DPPH and ABTS assays: Estimation methods for EC50 using advanced statistical programs. *Food Chemistry*, 275, 41–49. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.09.040>
50. Sun, T. et al. (2022). *Plant carotenoids: recent advances and future perspectives*. PMC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10515021/>
51. Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., & García-Pérez, M. E. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 109–2017.
52. Vargas-Madriz, Á. F., Luzardo-Ocampo, I., Chávez-Servín, J. L., Moreno-Celis, U., Roldán-Padrón, O., Vargas-Madriz, H., Vergara-Castañeda, H. A., & Kuri-García, A. (2023a). Comparison of Phenolic Compounds and Evaluation of Antioxidant Properties of *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass (Asteraceae) from Different Geographical Areas of Queretaro (Mexico). *Plants*, 12(20), 3569. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12203569/S1>
53. Vázquez-Atanacio, M. J., Bautista, M., González-Cortazar, M., Romero-Estrada, A., De la O-Arciniega, M., Castañeda-Ovando, A., Sosa-Gutiérrez, C. G., & Ojeda-Ramírez, D. (2022a). Nephroprotective Activity of Papaloquelite (*Porophyllum ruderale*) in Thioacetamide-Induced Injury Model. *Plants* 2022, Vol. 11, Page 3460, 11(24), 3460. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11243460>

54. Vázquez-Atanacio, M. J., Bautista, M., Ojeda, D. O., & Hernández, J. (2022). *Nephroprotective activity of papaloquelite (Porophyllum ruderale) in thioacetamide-induced injury model*. *Plants*, 11(24), 3460. <https://doi.org/10.3390/plants11243460>
55. Wu, P., Li, B., Liu, Y., Bian, Z., Xiong, J., Wang, Y., & Zhu, B. (2024). Multiple physiological and biochemical functions of ascorbic acid in plant growth, development, and abiotic stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1832. <https://doi.org/10.3390/ijms25031832>
56. Yang, X., Bai, Y., Che, L., Qiao, F., & Xie, L. (2021). Incorporating ecological constraints into urban growth boundaries: A case study of ecologically fragile areas in the Upper Yellow River. *Ecological Indicators*, 124, 107436. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.107436>
57. Yue, C. (2021). *Review: the effect of light on the key pigment compounds of photosensitive etiolated tea plant*. *Botanical Studies*, 62, 21. <https://doi.org/10.1186/s40529-021-00329-2>
PDF / PMC: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8665957/>
58. Ziyatdinova, G., Salikhova, I., & Budnikov, H. (2014). Coulometric titration with electrogenerated oxidants as a tool for evaluation of cognac and brandy antioxidant properties. *Food Chemistry*, 150, 80–86. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.10.133>