



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE FLORES
SILVESTRES COMESTIBLES DEL VALLE DEL MEZQUITAL

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta: **ABIGAIL ORTIZ MENDOZA**

Bajo la supervisión de:

DRA. DIANA GUERRA RAMÍREZ



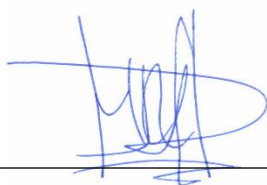
Chapingo, Estado México, mayo de 2026.

**CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE FLORES
SILVESTRES COMESTIBLES DEL VALLE DEL MEZQUITAL.**

Tesis realizada por **ABIGAIL ORTIZ MENDOZA**, bajo la supervisión del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTORA:



DRA. DIANA GUERRA RAMÍREZ

ASESORA:



DRA. MA TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESORA:



DRA. MARÍA TERESA BERYL COLINAS Y LEÓN

LECTOR (A) EXTERNO (A):



DRA. IRMA SALGADO ESCOBAR

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	vii
RESUMEN GENERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Literatura citada	7
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1 Flores comestibles como fuente de compuestos nutricionales y bioactivos.....	10
2.2 Composición proximal en flores comestibles	11
2.3 Perfil mineral en flores comestibles.....	13
2.4 Metabolitos secundarios en flores comestibles.....	15
2.5 Compuestos fenólicos totales.....	16
2.6 Flavonoides totales	18
2.7 Capacidad antioxidante en matrices vegetales.....	19
2.8 Efecto del tratamiento térmico sobre compuestos bioactivos.....	22
2.9 Antecedentes en <i>Neltuma laevigata</i> (mezquite)	23
2.10 Antecedentes en <i>Echinocereus cinerascens</i>	24
2.11 Literatura citada	26
CAPÍTULO 3. Propiedades nutrimentales y efecto del tratamiento térmico sobre el potencial nutracéutico de flores de Neltuma laevigata	31
3.1 INTRODUCCIÓN	33
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.2.1 Análisis proximal y mineral	35
3.2.2 Determinación del índice de riesgo (Hazard Quotient, HQ)	35
3.2.3 Preparación de extractos.....	36
3.2.4 Tratamiento térmico	37
3.2.5 Contenido fenólico, flavonoides y capacidad antioxidante	37
3.2.6 Análisis estadístico	38
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38

3.3.1	Análisis proximal.....	38
3.3.2	Análisis mineral.....	39
3.3.3	Índice de riesgo (Hazard Quotient, HQ) en elementos traza.....	41
3.3.4	Compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante.....	43
3.3.5	Efecto del tiempo y del tratamiento térmico sobre las propiedades antioxidantes de <i>N. laevigata</i>	43
3.4	CONCLUSIONES	45
3.5	CONFLICTO DE INTERESES.....	46
3.6	REFERENCIAS.....	46
3.7	CUADROS Y FIGURAS	51
CAPÍTULO 4. Propiedades nutricionales y estabilidad térmica de compuestos fenólicos en flores de <i>Echinocereus cinerascens</i>.....		
4.1	INTRODUCCIÓN.....	57
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
4.2.1	Análisis nutrimental.....	59
4.2.2	Obtención de extractos de diferente polaridad	59
4.2.3	Tratamiento térmico del extracto metanólico.....	59
4.2.4	Propiedades antioxidantes de los extractos metanólicos sometidos tratamientos térmicos.....	60
4.2.5	Análisis estadístico	61
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.3.1	Análisis proximal.....	61
4.3.2	Análisis mineral.....	63
4.3.3	Compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante.....	66
4.3.4	Tratamiento térmico	67
4.4	CONCLUSIONES	70
4.5	CONFLICTO DE INTERESES.....	71
4.6	LITERATURA CITADA	71
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL.....		
5.1	Literatura citada	81
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....		
		84

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

DEL CAPÍTULO 3

Cuadro 1. Comparación de la composición proximal de las flores de *N. laevigata* crudas y con tratamiento térmico (90°C/ 15 min) con otras flores comestibles reportadas de zonas áridas y semiáridas de México.

Cuadro 2. Comparación de la composición mineral de las flores de *N. laevigata* con otras flores comestibles reportadas de zonas áridas y semiáridas de México.

Cuadro 3. Concentración de elementos traza, ingesta diaria estimada (EDI) e índice de riesgo no carcinogénico (Hazard Quotient, HQ) en flores liofilizadas de *Neltuma laevigata* sin tratamiento térmico.

Figura 1. Efecto de la interacción tiempo (mín.) x temperatura (° C) sobre contenido fenólico total (CFT), flavonoides totales y capacidad antioxidante ABTS y FRAP, en flores de *Neltuma laevigata*. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

DEL CAPÍTULO 4

Cuadro 1. Composición proximal de flores de *Echinocereus cinerascens* y comparación con otras flores de cactáceas reportadas por Pensamiento-Niño et al. (2021).

Cuadro 2. Composición mineral de flores de *Echinocereus cinerascens* y su comparación con *Myrtillocactus geometrizans* y valores diarios de referencia.

Figura 1. Efecto de la interacción tiempo × temperatura sobre la concentración de (a) compuestos fenólicos totales (b) flavonoides totales y capacidad antioxidante determinada por ABTS (c) y FRAP (d).

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI, antes CONACYT), por el apoyo otorgado durante el programa de doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por permitirme formar parte de tan hermosa institución.

Al Instituto de Horticultura en el Departamento de Fitotecnia y el Laboratorio de Productos Naturales por los servicios asistenciales y el apoyo otorgado para la realización de este trabajo de investigación.

Al muy estimado Dr. Jesús Axayácatl Cuevas Sánchez por todas sus enseñanzas, por siempre compartir sus conocimientos y ser un pilar esencial en mi formación académica.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez por la aceptación de este proyecto como directora, por sus enseñanzas en laboratorio y también personales, por su disposición, paciencia y alegría.

A la Dra. Irma Salgado Escobar por formar parte esencial de este proyecto, por todas sus observaciones, enseñanzas y por tomarse el tiempo para acompañarme en el trabajo del laboratorio, por su disposición, su paciencia y por siempre ser tan atenta y amable.

A las Dras. Ma Teresa Martínez Damián y María Teresa Beryl Colinas y León por formar parte de mi comité asesor, por sus observaciones para mejorar la investigación, por su tiempo y estar presentes cuando fue necesario.

Muy especialmente, a todas las personas del Valle del Mezquital que compartieron conmigo sus conocimientos sobre el uso de la vegetación que los rodea.

A todos los compañeros que formaron parte del Laboratorio de Productos Naturales durante mi estancia ahí, ha sido un gusto conocerlos a todos.

A mis compañeritos que se volvieron mis amigos, Jhusua y Camilo por siempre alentarme con este proceso, por sus consejos, ayuda y apoyo recibido durante los años que compartimos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Abigail Ortiz Mendoza

Fecha de nacimiento: 26 de diciembre de 1989

Lugar de nacimiento: Actopan, Hidalgo, México.

CURP: OIMA891226MHGRNB09



Desarrollo académico

Licenciatura 2008-2013: Ingeniera en Biotecnología

Universidad Politécnica de Pachuca

Posgrado 2015-2016: Maestría en Ciencias en Horticultura

Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE FLORES SILVESTRES COMESTIBLES DEL VALLE DEL MEZQUITAL¹

Las flores comestibles de la familia Cactaceae forman parte del patrimonio alimentario biocultural de diversas comunidades del Valle del Mezquital, Hidalgo, México; sin embargo, su composición nutricional, así como el potencial nutraceutico después de someterse a tratamientos térmicos ha sido poco documentada. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar las características nutricionales de flores comestibles de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*, así como analizar el efecto del tratamiento térmico sobre sus compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Las flores fueron recolectadas en los municipios de Actopan y Santiago de Anaya, Hidalgo, zonas pertenecientes al Valle del Mezquital. Posteriormente, fueron liofilizadas y molidas. Para determinar su composición nutrimental se hicieron análisis de su composición proximal y contenido mineral. Asimismo, se evaluó el efecto de distintas combinaciones de tiempo y temperatura sobre los extractos metanólicos, con la finalidad de estimar la estabilidad de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante frente a condiciones térmicas asociadas al procesamiento culinario. Los resultados mostraron que ambas especies poseen componentes nutricionales relevantes, particularmente proteína, fibra, cenizas y minerales. *Neltuma laevigata* destacó por su aporte de minerales como potasio, fósforo, magnesio y hierro. En ambas especies se identificó la presencia de compuestos fenólicos, que fueron correlacionados con la capacidad antioxidante determinada por ABTS y FRAP. El tratamiento térmico modificó el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los extractos evaluados. De manera general, las condiciones de mayor temperatura y tiempo propiciaron una reducción en el contenido fenólico y la capacidad antioxidante. Estos resultados sugieren que el procesamiento térmico influye en la conservación del potencial nutraceutico, por lo que las formas tradicionales de preparación y consumo deben considerarse al valorar su aporte funcional. Esta investigación aporta evidencia científica sobre el valor nutricional y antioxidante de flores comestibles de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*. Los resultados contribuyen a su revaloración como recursos fitogenéticos bioculturales locales con potencial alimentario y nutraceutico.

Palabras clave: flores comestibles; *Neltuma laevigata*; *Echinocereus cinerascens*; Valle del Mezquital; compuestos fenólicos; capacidad antioxidante; tratamiento térmico.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

Autora: Abigail Ortiz Mendoza

Directora de tesis: Dra. Diana Guerra Ramírez

GENERAL ABSTRACT

NUTRITIONAL AND NUTRACEUTICAL CHARACTERISTICS OF WILD EDIBLE FLOWERS FROM THE MEZQUITAL VALLEY²

Edible flowers from the Cactaceae family are part of the biocultural food heritage of various communities in the Mezquital Valley, Hidalgo, Mexico; however, their nutritional composition, as well as their nutraceutical potential after being subjected to thermal treatments, has been scarcely documented. In this context, the objective of the present research was to evaluate the nutritional characteristics of edible flowers of *Neltuma laevigata* and *Echinocereus cinerascens*, as well as to analyze the effect of thermal treatment on their phenolic compounds and antioxidant capacity. The flowers were collected in the municipalities of Actopan and Santiago de Anaya, Hidalgo, areas belonging to the Mezquital Valley. Subsequently, they were lyophilized and ground. To determine their nutritional composition, proximal composition and mineral content analyses were performed. Likewise, the effect of different combinations of time and temperature on methanolic extracts was evaluated in order to estimate the stability of phenolic compounds and antioxidant capacity under thermal conditions associated with culinary processing. The results showed that both species possess relevant nutritional components, particularly protein, fiber, ash, and minerals. *Neltuma laevigata* stood out for its contribution of minerals such as potassium, phosphorus, magnesium, and iron. In both species, the presence of phenolic compounds was identified, which were correlated with antioxidant capacity determined by ABTS and FRAP. Thermal treatment modified the content of bioactive compounds and the antioxidant capacity of the evaluated extracts. In general, higher temperature and longer time conditions led to a reduction in phenolic content and antioxidant capacity. These results suggest that thermal processing influences the preservation of nutraceutical potential; therefore, traditional forms of preparation and consumption should be considered when evaluating their functional contribution. This research provides scientific evidence regarding the nutritional and antioxidant value of edible flowers of *Neltuma laevigata* and *Echinocereus cinerascens*. The results contribute to their revaluation as local biocultural phytochemical resources with food and nutraceutical potential.

Keywords: edible flowers; *Neltuma laevigata*; *Echinocereus cinerascens*; Mezquital Valley; phenolic compounds; antioxidant capacity; thermal treatment.

²Thesis of Doctor in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Abigail Ortiz Mendoza

Advisor: Dra. Diana Guerra Ramírez

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las flores comestibles han formado parte de la alimentación humana desde tiempos antiguos y constituyen recursos vegetales de importancia cultural, nutricional y biocultural. Su consumo se ha documentado en diferentes regiones del mundo, tanto en sistemas alimentarios tradicionales como en propuestas gastronómicas contemporáneas. Además de aportar color, aroma, textura y sabor a los alimentos, diversas flores contienen componentes de interés nutricional y nutracéutico, entre ellos proteínas, fibra, minerales, vitaminas, compuestos fenólicos y flavonoides asociados con capacidad antioxidante (Fernandes et al., 2017; Hasler, 1998; Rop et al., 2012).

Desde el punto de vista alimentario, las flores comestibles pueden contribuir a la diversificación de la dieta, especialmente en regiones donde forman parte de los recursos locales disponibles de manera estacional. Su aprovechamiento permite ampliar la variedad de alimentos de origen vegetal y mantener prácticas culinarias vinculadas con el conocimiento tradicional. En las últimas décadas, el estudio de alimentos tradicionales ha cobrado mayor relevancia debido a los cambios en los patrones alimentarios. En México, la transición nutricional se ha asociado con el aumento del consumo de alimentos de alta densidad energética y con el desplazamiento paulatino de dietas tradicionales que incluían productos vegetales locales, estacionales y de bajo procesamiento (Ramírez Mayans et al., 2003; Rivera et al., 2004; Rodríguez-Ramírez et al., 2020). En este contexto, el estudio de flores comestibles silvestres contribuye a generar evidencia sobre especies subutilizadas, promueve la revaloración de alimentos tradicionales y permite fortalecer el conocimiento sobre la biodiversidad alimentaria local.

En México, el consumo de flores comestibles tiene una amplia tradición histórica y biocultural. Diversas fuentes etnohistóricas señalan que algunas flores ya eran utilizadas antes de la llegada de los españoles, tanto con fines alimentarios como medicinales, ceremoniales, ornamentales y para la obtención de colorantes. Fray Bernardino de Sahagún, en la Historia General de las cosas de Nueva España, así como el Códice Florentino y el Códice de la Cruz-Badiano, documentaron el uso de distintas especies vegetales, incluidas flores, dentro de la vida cotidiana de los pueblos mesoamericanos (Figueredo-Urbina et al., 2019; Velázquez Soto, 2001). Este uso se ha mantenido en

distintas regiones del país mediante prácticas culinarias tradicionales, donde algunas flores son consumidas como ingredientes principales o complementarios en guisos, sopas, caldos, tortitas, tamales, quesadillas, ensaladas o preparaciones fritas. Entre las especies más conocidas se encuentran la flor de calabaza, la flor de izote o yuca, el colorín, el huauzontle, las flores de maguey, garambullo, nopal, sotol, lechuguilla, mezquite y biznaga, entre otras. Su disponibilidad suele ser estacional, por lo que muchas de ellas forman parte de ciclos alimentarios asociados con la recolección, el autoconsumo y la venta en mercados locales (Lara-Cortés et al., 2013; Martínez Salvador, 2013; Velázquez Soto, 2001).

Las zonas áridas y semiáridas de México albergan una alta diversidad de especies vegetales nativas que forman parte del matorral xerófilo y que han sido aprovechadas históricamente por comunidades locales como recursos alimentarios, medicinales, ornamentales y culturales. El Valle del Mezquital constituye una región de importancia ecológica, histórica y biocultural, cuya delimitación responde a criterios geográficos, culturales e históricos, y se encuentra asociada con la presencia del grupo Hñähñu, también conocido como otomí (López Aguilar et al., 1998). Esta región se caracteriza por condiciones de baja precipitación, elevada radiación solar y suelos pedregosos, factores que favorecen la presencia de especies vegetales adaptadas al estrés hídrico y a ambientes semiáridos. Desde el punto de vista ambiental, una parte importante del Valle del Mezquital presenta vegetación de matorral xerófilo, uno de los tipos de vegetación más extensos de México, desarrollado en regiones con precipitación escasa e irregular y con predominio de climas secos, principalmente de tipo desértico y estepario, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (Rzedowski, 2006).

Estas condiciones ecológicas han influido en las estrategias alimentarias de las comunidades locales. Históricamente, los habitantes del Valle del Mezquital han complementado la agricultura de temporal con la recolección y aprovechamiento de especies nativas disponibles de manera estacional. Diversas fuentes etnohistóricas señalan que la dieta tradicional Hñähñu se ha basado en el sistema agrícola de milpa, complementado con productos obtenidos del entorno, como flores, frutos, insectos comestibles, pequeños animales y derivados del maguey (Martínez Salvador, 2013; Torquemada, 1975). El aprovechamiento de los recursos vegetales en esta región no se

limita al uso alimentario, ya que diversas especies nativas también han sido empleadas con fines medicinales, forrajeros, textiles, combustibles, constructivos y ornamentales. En este sentido, el Valle del Mezquital puede entenderse como una región biocultural, en la que la biodiversidad local y el conocimiento tradicional se relacionan estrechamente con las prácticas alimentarias.

Entre los recursos vegetales asociados a este contexto destacan *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*, especies nativas vinculadas con el matorral xerófilo y con sistemas locales de aprovechamiento de plantas silvestres comestibles. *Neltuma laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis, conocida comúnmente como mezquite, fue tratada botánicamente dentro del género *Prosopis* como *Prosopis laevigata*; sin embargo, actualizaciones taxonómicas recientes reconocen el género *Neltuma* para diversas especies americanas de mezquite. Esta especie se distribuye ampliamente en regiones áridas y semiáridas de México, principalmente asociada con comunidades de matorral xerófilo, donde representa un recurso vegetal relevante para las comunidades humanas y los ecosistemas locales.

Desde el punto de vista ecológico, los árboles de mezquite contribuyen a la conservación del suelo, la fijación de nitrógeno y la modificación de las condiciones microambientales bajo su dosel. Estas funciones favorecen la acumulación de materia orgánica, la regulación de la temperatura superficial y la disponibilidad de nutrimentos en su entorno, por lo que el mezquite puede influir en la estructura y dinámica de los ecosistemas donde se establece (Fontana et al., 2020; García-Sánchez et al., 2012; Torabian et al., 2019). Además de su importancia ecológica, el mezquite ha sido aprovechado históricamente como recurso forestal multipropósito. Sus diferentes órganos han sido utilizados con fines alimentarios, forrajeros, medicinales, combustibles y maderables; en particular, las vainas, semillas y flores han sido empleadas como alimento humano o animal, lo que evidencia su relevancia dentro de las estrategias de aprovechamiento de especies nativas en zonas áridas y semiáridas (García-Andrade et al., 2013; Henciya et al., 2017; Puppo & Felker, 2021).

Por su parte, *Echinocereus cinerascens* (DC.) Lem. es una cactácea nativa del centro de México, registrada en el estado de Hidalgo y presente en ambientes semiáridos asociados al matorral xerófilo. En el Valle del Mezquital y regiones cercanas, esta especie forma

parte de comunidades vegetales adaptadas a condiciones de baja disponibilidad hídrica, alta radiación y suelos someros o pedregosos. Desde una perspectiva etnobotánica, *E. cinerascens* forma parte del conocimiento tradicional asociado al aprovechamiento de cactáceas en comunidades Hñähñu del estado de Hidalgo. En la comunidad otomí de El Alberto, Ixmiquilpan, se ha documentado el uso de diversas cactáceas con fines alimentarios, ornamentales, medicinales y otros usos locales. En particular, *E. cinerascens* ha sido reportada como una especie empleada en la preparación de salsas y bebidas, además de usos medicinales populares relacionados con la disminución de fiebre (Munguía-Vázquez et al., 2018). El carácter comestible de esta especie también ha sido registrado en otros estudios sobre plantas útiles de Hidalgo, donde se reportó como una cactácea útil de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, con usos comestible y ornamental (Villavicencio-Nieto et al., 2015). Asimismo, en el Valle del Mezquital esta cactácea es conocida localmente como cohúa, pitaya o biznaga y sus flores (como sus frutos) forman parte del consumo tradicional, ya sea guisadas o fritas con aceite, cebolla y sal, o bien añadidas durante el último hervor de los frijoles por aproximadamente 15 min.

El interés científico por estas especies se relaciona con el concepto de alimento funcional y con sus posibles características nutraceuticas. Un alimento funcional puede entenderse como aquel alimento semejante en apariencia física al alimento convencional, consumido como parte de la dieta diaria, pero capaz de producir efectos metabólicos o fisiológicos favorables, además de sus funciones nutricionales básicas (Schärer & Fenton, 1998). De acuerdo con el proyecto FUFOSE (Functional Food Science in Europe), un alimento funcional puede ser natural, modificado o enriquecido mediante la adición, eliminación o modificación de uno o más de sus componentes, o mediante cambios en su biodisponibilidad (Diplock et al., 1999). En síntesis, los alimentos funcionales son alimentos naturales o procesados que, además de su contenido nutritivo, contienen componentes capaces de desempeñar una actividad específica en funciones fisiológicas del organismo humano (Ferreira Montero & Luengo Fernández, 2007); El término nutraceutico fue acuñado por Stephen De Felice en 1989 para referirse a cualquier alimento o parte de un alimento que proporciona beneficios para la salud, incluyendo la prevención o tratamiento de enfermedades (Pérez Leonard, 2006). Los nutraceuticos

también han sido definidos como componentes de los alimentos que aportan un beneficio añadido a la salud, particularmente cuando contienen sustancias bioactivas que pueden presentarse en forma concentrada o ser adicionadas a alimentos naturales para incrementar sus propiedades funcionales (Basdevant et al., 2000; Kalra, 2003). Asimismo, se ha señalado que los nutraceuticos corresponden a sustancias químicas o biológicas contenidas en plantas o materiales de origen natural, capaces de aportar beneficios adicionales al contenido nutricional y de contribuir a la disminución del riesgo de enfermedades crónico-degenerativas o a la mejora de funciones fisiológicas del organismo (Ferreira Montero & Luengo Fernández, 2007; Lockwood, 2007; Sloan, 1996). Entre los productos nutraceuticos de mayor interés destacan aquellos asociados con capacidad antioxidante, debido a su potencial para neutralizar radicales libres y prevenir daños relacionados con el estrés oxidativo en membranas celulares y ADN (Shahidi, 2012).

Por otro lado, a pesar de la importancia ecológica, alimentaria y cultural de *N. laevigata* y *E. cinerascens*, muchas especies nativas del matorral xerófilo continúan siendo poco estudiadas desde una perspectiva nutricional, funcional y nutraceutica. Aunque ambas especies presentan potencial como recursos alimentarios tradicionales, aún es limitada la información sobre la composición proximal, mineral, concentración de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante de sus flores. Esta falta de información representa una limitante para valorar de manera integral su posible contribución como recursos vegetales de interés alimentario en regiones semiáridas.

Además, las flores comestibles suelen consumirse en preparaciones culinarias que implican calentamiento o cocción, por lo que el tratamiento térmico puede modificar la concentración y estabilidad de sus compuestos bioactivos y, en consecuencia, su capacidad antioxidante. Por ello, no basta con conocer su composición en estado inicial, sino también su comportamiento después del procesamiento. La evaluación del efecto térmico permite conocer si las condiciones de temperatura y tiempo de exposición favorecen la conservación, degradación, liberación o transformación de los compuestos fenólicos y flavonoides presentes en estas matrices vegetales.

Con base en lo anterior, el estudio de las flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* resulta relevante para generar evidencia científica sobre recursos vegetales

nativos del Valle del Mezquital, contribuir a su valorización alimentaria, funcional y biocultural, y fortalecer el conocimiento sobre especies silvestres comestibles del matorral xerófilo. Se plantea que las flores comestibles de ambas especies presentan componentes nutricionales, minerales y nutraceuticos relevantes; sin embargo, el tratamiento térmico modifica el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante, con efectos asociados principalmente a la temperatura y al tiempo de exposición. Por lo tanto, esta investigación aportará información útil para sustentar su posible aprovechamiento como recursos vegetales comestibles de interés funcional, nutricional y nutraceutico, así como para futuras estrategias de aprovechamiento sustentable de especies nativas de zonas áridas y semiáridas de México.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la composición proximal y mineral de las flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*, así como cuantificar la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de sus extractos metanólicos mediante los métodos ABTS y FRAP. Además, se evaluó el efecto del tratamiento térmico sobre la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, con el propósito de valorar el potencial de ambas especies como alimentos funcionales provenientes de recursos vegetales nativos del Valle del Mezquital, Hidalgo.

El presente documento se organiza en cinco capítulos. El Capítulo 1 corresponde a la introducción general, en la cual se contextualiza la importancia de las flores comestibles, el valor biocultural de los recursos vegetales del Valle del Mezquital y el planteamiento general de la investigación; además, se presentan el objetivo y la literatura citada correspondiente. El Capítulo 2 integra la revisión de literatura, donde se abordan los antecedentes relacionados con las flores comestibles como fuente de compuestos nutricionales y bioactivos, su composición proximal, perfil mineral, metabolitos secundarios, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y el efecto del tratamiento térmico sobre la estabilidad de estos compuestos. Los capítulos 3 y 4 son la parte experimental, presentan los estudios realizados en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*, respectivamente, incluyendo la evaluación de su composición nutrimental, así como la respuesta de sus extractos metanólicos ante distintas condiciones de temperatura y tiempo. El Capítulo 5 corresponde a la discusión general, en la cual se

integran y contrastan los principales hallazgos obtenidos, finalmente, el Capítulo 6 está constituido por las conclusiones generales de este estudio.

1.1 Literatura citada

- Basdevant, A., Cudennec, C. A., & Lehner, J. P. (2000). Health foods: Definitions, status, public health. Round table no. 4. XV. *Thérapie*, 55(4), 555–560.
- Diplock, A. T., Aggett, P. J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E. B., & Roberfroid, M. B. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus document. *British Journal of Nutrition*, 81(S1), S1–S27. <https://doi.org/10.1017/S0007114599000471>
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017>
- Ferreira Montero, I. J., & Luengo Fernández, E. (2007). La dieta como concepto terapéutico. Conceptos de alimento funcional y de nutraceutico. Situación actual de los alimentos funcionales y nutraceuticos. Aspectos legales. En E. Luengo Fernández (Coord.), *Alimentos funcionales y nutraceuticos* (pp. 1–11). Sociedad Española de Cardiología.
- Figueredo-Urbina, C. J., Aguilar-Palma, O., & Pulido-Silva, M. T. (2019). Flores comestibles como acervo cultural mexicano. *Ciencia y Desarrollo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). https://www.researchgate.net/publication/338816686_Flores_comestibles_como_acervo_cultural_mexicano
- Fontana, M. L., Pérez, V. R., & Luna, C. V. (2020). Efecto de la procedencia sobre el comportamiento productivo de *Prosopis alba* en plantación. *Acta Agronómica*, 69(1), 68–74. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79711>
- García-Andrade, M., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Rosales-Castro, M., & Medina-Torres, L. (2013). Mesquite leaves (*Prosopis laevigata*), a natural resource with antioxidant capacity and cardioprotection potential. *Industrial Crops and Products*, 44, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.030>
- García-Sánchez, R., Camargo-Ricalde, S. L., García-Moya, E., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., & Montaña, N. M. (2012). *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae), jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 87–103.
- Hasler, C. M. (1998). Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology*, 52(11), 63–70. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=1623727>

- Henciya, S., Seturaman, P., James, A. R., Tsai, Y. H., Nikam, R., Wu, Y. C., Dahms, H. U., & Chang, F. R. (2017). Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae, Leguminosae). *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.001>
- Kalra, E. K. (2003). Nutraceutical—Definition and introduction. *AAPS PharmSci*, 5(3), Article 25. <https://doi.org/10.1208/ps050325>
- Lara-Cortés, E., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparicio, A., & Bautista-Baños, S. (2013). Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(3), 197–208.
- Lockwood, B. (2007). *Nutraceuticals: A guide for healthcare professionals* (2nd ed.). Pharmaceutical Press.
- López Aguilar, F., Solar Valverde, L., & Vilanova de Allende, R. (1998). El Valle del Mezquital. Encrucijadas en la historia de los asentamientos humanos en un espacio discontinuo. *Arqueología*, (20), 21–40.
- Martínez Salvador, M. (Ed.). (2013). *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México* (Folleto técnico No. 5). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Munguía-Vázquez, A., Cárdenas-Camargo, I., & Rangel-Villafranco, M. (2018). Uso y conocimiento de cactáceas en la comunidad otomí de El Alberto, en Ixmiquilpan (Hidalgo, México). *Ambiente y Desarrollo*, 22(43). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.uccc>
- Pérez Leonard, H. (2006). Nutracéuticos: Componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(3), 20–28.
- Puppo, M. C., & Felker, P. (Eds.). (2021). *Prosopis as a heat tolerant nitrogen fixing desert food legume: Prospects for economic development in arid lands*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-00062-9>
- Ramírez Mayans, J. A., García Campos, M., Cervantes Bustamante, R., Mata Rivera, N., Zárate Mondragón, F., Mason Cordero, T., & Villarreal Espinosa, A. (2003). Transición alimentaria en México. *Anales de Pediatría*, 58(6), 568–573. [https://doi.org/10.1016/S1695-4033\(03\)78123-5](https://doi.org/10.1016/S1695-4033(03)78123-5)
- Rivera, J. A., Barquera, S., González-Cossío, T., Olaiz, G., & Sepúlveda, J. (2004). Nutrition transition in Mexico and in other Latin American countries. *Nutrition Reviews*, 62(7, Pt. 2), S149–S157. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2004.tb00086.x>
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Kim-Herrera, E. Y., Valdez-Sánchez, A., Medina-Zacarías, M. C., Ramírez-Silva, I., & Shamah-Levy, T. (2020). Consumo de grupos de alimentos y su asociación con características sociodemográficas en población mexicana. Ensanut 2018-19. *Salud Pública de México*, 62(6), 693–703. <https://doi.org/10.21149/11529>

- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., & Vabkova, J. (2012). Edible flowers—A new promising source of mineral elements in human nutrition. *Molecules*, 17(6), 6672–6683. <https://doi.org/10.3390/molecules17066672>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1.^a ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Schärer, M. R., & Fenton, A. (Eds.). (1998). *Food and material culture: Proceedings of the Fourth Symposium of the International Commission for Research into European Food History*. Tuckwell Press; Alimentarium; European Ethnological Research Centre.
- Shahidi, F. (2012). Nutraceuticals, functional foods and dietary supplements in health and disease. *Journal of Food and Drug Analysis*, 20(Suppl. 1), 226–230. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2144>
- Sloan, A. E. (1996). America's appetite '96: The top 10 trends to watch and work on. *Food Technology*, 50(7), 55–71.
- Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Denton, M. D. (2019). Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, 185, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>
- Torquemada, J. de. (1975). *Monarquía indiana* (Vol. 2, 3.^a ed., 1.^a ed. UNAM). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.
- Velázquez Soto, I. (2001). Flores e insectos en la dieta prehispánica y actual de México. *Rev. Entomología.Net*. <https://www.geocities.ws/comemoscas/ivs.pdf>
- Villavicencio-Nieto, M. Á., Pérez-Escandón, B. E., & López-Gutiérrez, B. N. (2015). Plantas útiles de tres municipios (Metztitlán, Atotonilco el Grande y Huasca de Ocampo) de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. En G. Pulido-Flores, S. Monks, & M. López-Herrera (Eds.), *Estudios en biodiversidad* (Vol. I, pp. 173–179). Zea Books.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Flores comestibles como fuente de compuestos nutricionales y bioactivos

Las flores comestibles han sido objeto de creciente interés debido a su potencial como fuente de compuestos nutricionales y bioactivos. Aunque su consumo forma parte de distintas tradiciones alimentarias, la información científica disponible sobre flores silvestres comestibles aún es limitada y se encuentra concentrada en un número reducido de especies. Algunos estudios han señalado que hojas y flores de plantas silvestres pueden presentar contenidos relevantes de proteínas y otros componentes de interés para la alimentación humana (Mavengahama et al., 2013; Penafiel et al., 2011; Sloan, 1996).

Desde el punto de vista nutricional, las flores comestibles están constituidas principalmente por agua, pero también pueden aportar carbohidratos, proteínas, lípidos, almidones, aminoácidos, fibra dietética, vitaminas y minerales como fósforo, calcio, hierro, potasio, magnesio y zinc. Además, algunos pétalos contienen pigmentos naturales como carotenoides y antocianinas, responsables de la coloración floral y asociados con propiedades bioactivas (Fernandes et al., 2017; Pires et al., 2018).

Además de su composición nutricional, las flores comestibles contienen metabolitos secundarios de interés, entre ellos compuestos fenólicos, flavonoides, betalaínas y otros polifenoles. Estos compuestos cumplen funciones importantes en las plantas, relacionadas con la protección frente al estrés ambiental, la pigmentación y la defensa química; desde el punto de vista alimentario, se han asociado con capacidad antioxidante y con posibles efectos benéficos para la salud (García-Cruz et al., 2012; Padrón Pereira & Moreno Álvarez, 2010; Pires et al., 2018; Rivas-García et al., 2021).

El interés por las flores comestibles también se relaciona con su posible aplicación como ingredientes en alimentos funcionales o productos nutraceuticos. Debido a su contenido de compuestos bioactivos, diversas investigaciones han propuesto que estas estructuras vegetales pueden representar una fuente prometedora de antioxidantes naturales y otros metabolitos con actividad biológica (Chandrasekhar et al., 2015; Mulík & Ozuna, 2020).

No obstante, a pesar de estos antecedentes, el conocimiento sobre la composición nutricional y bioactiva de muchas flores silvestres continúa siendo limitado. Esta situación resalta la necesidad de ampliar su estudio, particularmente en especies nativas de zonas áridas y semiáridas, donde estos recursos forman parte del aprovechamiento tradicional de las comunidades locales y pueden representar alternativas alimentarias con potencial funcional.

2.2 Composición proximal en flores comestibles

La composición proximal constituye una herramienta básica para evaluar el valor alimentario de una matriz vegetal, ya que permite estimar sus principales componentes nutricionales: humedad, cenizas, proteínas, extracto etéreo, fibra cruda y carbohidratos. En el caso de las flores comestibles, este análisis resulta relevante porque permite conocer su aporte nutricional general y establecer comparaciones entre especies utilizadas tradicionalmente como alimento.

De manera general, las flores comestibles se caracterizan por presentar un alto contenido de humedad, lo cual se relaciona con su naturaleza perecedera y con la necesidad de consumirse frescas o someterse a procesos de conservación. Se ha reportado que muchas flores pueden contener entre 70 y 95 % de agua, aunque esta proporción varía de acuerdo con la especie, el estado de madurez, la parte floral analizada y las condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta (Fernandes et al., 2017).

En cuanto a la fracción orgánica de la materia seca, los carbohidratos suelen representar uno de los componentes principales en muchas flores comestibles. Estos compuestos contribuyen al aporte energético de la matriz vegetal y pueden variar ampliamente entre especies. Por su parte, el contenido de proteína también es variable, aunque algunos estudios han señalado que hojas y flores de plantas silvestres pueden presentar cantidades relevantes de este componente, lo que incrementa su interés como recursos alimentarios alternativos o complementarios (Mavengahama et al., 2013; Penafiel et al., 2011; Sloan, 1996).

El extracto etéreo, asociado principalmente con la fracción lipídica, suele encontrarse en bajas proporciones en flores comestibles en comparación con otros órganos vegetales como semillas o frutos oleaginosos. Sin embargo, su determinación es importante porque permite completar la caracterización proximal y estimar la contribución energética de los lípidos presentes en la muestra.

La fibra cruda representa otro componente relevante dentro del análisis proximal, ya que aporta información sobre la fracción estructural de la matriz vegetal. Su presencia puede contribuir al valor nutricional de las flores comestibles y permite compararlas con otros alimentos vegetales utilizados en la dieta. No obstante, su concentración depende de factores como la especie, el desarrollo del tejido floral y las condiciones de crecimiento.

Las cenizas corresponden a la fracción inorgánica total de la muestra y funcionan como un primer indicador del contenido mineral. Aunque no permiten identificar la concentración específica de elementos como calcio, potasio, magnesio, fósforo, hierro o zinc, sí aportan una estimación general del material mineral presente en la flor.

En México, diversos estudios han evaluado la composición proximal de flores comestibles silvestres y tradicionales. Por ejemplo, se han analizado flores de especies como *Agave salmiana*, *Aloe vera*, *Erythrina americana*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Cucurbita pepo* y *Yucca filifera*, entre otras, reportando variaciones importantes en el contenido de proteínas, carbohidratos, fibra y cenizas según la especie estudiada (Pinedo-Espinoza et al., 2020; Sotelo et al., 2007). Estos antecedentes muestran que las flores comestibles no constituyen un grupo homogéneo desde el punto de vista nutricional, sino que su composición depende de la identidad botánica y de las condiciones de crecimiento.

Por lo anterior, la determinación de la composición proximal en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* permite generar información básica sobre su contenido de humedad, cenizas, proteínas, extracto etéreo, fibra cruda y carbohidratos. Esta información constituye un primer paso para valorar su potencial alimentario y sirve como base para complementar otros análisis, como el perfil mineral, la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante.

2.3 Perfil mineral en flores comestibles

El perfil mineral constituye un componente importante en la valoración nutricional de las flores comestibles, ya que permite identificar la presencia y concentración de elementos esenciales para el organismo humano. A diferencia del contenido de cenizas obtenido mediante el análisis proximal, el perfil mineral permite conocer de manera específica qué elementos se encuentran presentes en la matriz vegetal y en qué proporción. Esta información resulta relevante para estimar el posible aporte de las flores como recursos alimentarios y para compararlas con otros alimentos de origen vegetal.

Los minerales desempeñan funciones fisiológicas esenciales y participan en procesos estructurales, metabólicos y enzimáticos. Entre los macroelementos de mayor importancia nutricional se encuentran potasio, fósforo, magnesio, calcio y sodio, mientras que entre los microelementos destacan hierro, zinc, manganeso, cobre y selenio. El potasio participa en la función muscular y nerviosa; el fósforo forma parte de estructuras óseas y moléculas involucradas en el metabolismo energético; el magnesio interviene como cofactor en numerosas reacciones enzimáticas; y el calcio es esencial para la formación ósea, la contracción muscular y la señalización celular. Por su parte, microelementos como hierro, zinc, manganeso y selenio participan en funciones relacionadas con transporte de oxígeno, actividad enzimática, metabolismo celular y sistemas antioxidantes (Gharibzahedi & Jafari, 2017).

En flores comestibles se ha reportado la presencia de minerales en concentraciones variables, dependiendo de la especie, el órgano floral analizado, el estado de desarrollo, las condiciones edafoclimáticas y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Esta variabilidad es particularmente importante en especies silvestres, debido a que crecen bajo condiciones ambientales menos controladas que los cultivos convencionales. Por ello, el análisis mineral permite conocer no solo su posible valor nutricional, sino también la influencia del ambiente sobre la acumulación de elementos en los tejidos florales.

Diversos estudios han señalado que algunas flores comestibles pueden contener cantidades relevantes de minerales como potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro y zinc. En flores silvestres consumidas en regiones semiáridas de México, Pinedo-Espinoza et al.

(2020) reportaron diferencias importantes en el contenido mineral de especies como *Agave salmiana*, *Aloe vera*, *Erythrina americana* y *Myrtillocactus geometrizans*, lo que evidencia que las flores comestibles no presentan un perfil mineral homogéneo, sino que su composición depende fuertemente de la identidad botánica y de las condiciones del sitio de crecimiento.

En el caso de especies nativas de zonas áridas y semiáridas, el perfil mineral adquiere especial relevancia debido a que muchas de ellas forman parte de sistemas alimentarios locales y se consumen de manera estacional. Estas especies pueden desarrollarse en suelos con características particulares, como baja disponibilidad de agua, elevada radiación, variaciones en pH, salinidad o contenido de materia orgánica, factores que pueden influir en la absorción y acumulación de minerales. Por ello, el estudio del perfil mineral en flores silvestres permite complementar la información obtenida mediante el análisis proximal y aporta elementos para valorar su potencial como recursos alimentarios.

No obstante, la concentración total de minerales no necesariamente refleja su aprovechamiento real por el organismo, ya que la contribución nutricional de un alimento también depende de la biodisponibilidad, la forma química del elemento, la interacción con otros componentes de la matriz vegetal y las condiciones de consumo. Por esta razón, el perfil mineral debe interpretarse como una aproximación inicial al potencial nutricional, que puede complementarse con estudios posteriores sobre biodisponibilidad y seguridad alimentaria.

En este contexto, la determinación del perfil mineral en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* resulta pertinente para ampliar el conocimiento sobre su composición nutricional y valorar su posible aporte como especies alimentarias nativas del matorral xerófilo. Esta información, junto con el análisis proximal y la evaluación de compuestos bioactivos, permite construir una visión más integral de su potencial alimentario y funcional.

2.4 Metabolitos secundarios en flores comestibles

Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos producidos por las plantas que, aunque no participan directamente en procesos primarios como el crecimiento, la respiración o la reproducción celular, desempeñan funciones importantes en la adaptación, defensa y comunicación de los organismos vegetales. En las flores, estos compuestos adquieren especial relevancia debido a que participan en la coloración, aroma, protección frente a radiación, defensa contra herbívoros y patógenos, así como en la atracción de polinizadores.

El contenido y tipo de metabolitos secundarios presentes en flores comestibles puede variar ampliamente entre especies, familias botánicas, órganos florales y condiciones ambientales. Factores como la radiación solar, disponibilidad de agua, tipo de suelo, estado fenológico y estrés ambiental pueden influir en la síntesis y acumulación de estos compuestos. Asimismo, las diferencias metodológicas entre estudios, como el tipo de extracción, solvente empleado y método analítico, pueden modificar la cantidad de compuestos detectados, lo que debe considerarse al comparar resultados entre especies o sitios de colecta (Pérez-Ochoa et al., 2023).

Diversos estudios han documentado que las flores comestibles pueden presentar metabolitos secundarios con actividad biológica, entre los que destacan compuestos fenólicos, incluidos flavonoides, taninos y cumarinas, así como otros grupos como carotenoides, betalainas y saponinas (Figueredo-Urbina et al., 2019; Padrón Pereira & Moreno Álvarez, 2010; Pires et al., 2018; Rivas-García et al., 2021). Estos compuestos se han relacionado principalmente con propiedades antioxidantes y otros posibles efectos benéficos; sin embargo, su presencia en la matriz vegetal no implica necesariamente un efecto fisiológico directo en el consumidor, ya que este depende de factores como la concentración, biodisponibilidad, forma química, procesamiento y cantidad ingerida.

En México, algunas flores tradicionales han sido evaluadas desde una perspectiva fitoquímica. En flores de garambullo se ha reportado la presencia de compuestos fenólicos como flavonoides, taninos y cumarinas; en flores de maguey se han mencionado saponinas esteroidales, antocianinas y carotenoides; mientras que en flores de izote se han

identificado compuestos fenólicos y ácidos grasos de interés. Estos antecedentes evidencian la diversidad de compuestos bioactivos presentes en flores comestibles mexicanas, aunque el conocimiento disponible continúa siendo desigual entre especies (Figueredo-Urbina et al., 2019; Juárez-Trujillo et al., 2018; Ugalde-Medellín et al., 2017).

En especies nativas de zonas áridas y semiáridas, el estudio de estos metabolitos adquiere especial relevancia, ya que las condiciones ambientales restrictivas pueden favorecer la síntesis de compuestos asociados con la tolerancia al estrés. Por ello, las flores de especies silvestres del matorral xerófilo representan matrices de interés fitoquímico, ecológico y alimentario. En este contexto, estudios recientes en flores de *Neltuma laevigata* y en cactáceas como *Myrtillocactus geometrizans* han reportado compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que respalda la pertinencia de investigar especies florales nativas de ambientes semiáridos (García-Azpeitia et al., 2022; Ramírez-Moreno et al., 2025).

2.5 Compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos constituyen uno de los grupos más importantes de metabolitos secundarios en plantas. Se caracterizan por presentar uno o más grupos hidroxilo unidos a anillos aromáticos, lo que les confiere capacidad para participar en reacciones de óxido-reducción. En los tejidos vegetales, estos compuestos cumplen funciones relacionadas con la defensa frente a herbívoros y patógenos, la protección contra radiación ultravioleta, la pigmentación, la señalización y la respuesta ante condiciones de estrés ambiental (Lin et al., 2016; Singh et al., 2023). Debido a estas funciones, su presencia y concentración pueden variar ampliamente entre especies, órganos vegetales, estados fenológicos y condiciones de crecimiento.

En flores comestibles, los compuestos fenólicos son de especial interés porque contribuyen tanto a las características sensoriales como al potencial bioactivo de la matriz floral. Diversos estudios han señalado que las flores pueden constituir fuentes relevantes de compuestos fenólicos, incluidos ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y otros derivados polifenólicos. Estos compuestos se han asociado con actividad antioxidante y con el posible valor funcional de algunas flores comestibles, aunque su efecto biológico

depende de factores como la concentración, biodisponibilidad, forma química y procesamiento del alimento (Kumari et al., 2021; Pires et al., 2018; Rivas-García et al., 2021). La cuantificación de compuestos fenólicos totales se utiliza como una aproximación general para estimar la cantidad global de sustancias fenólicas presentes en una muestra. En estudios de alimentos vegetales, uno de los métodos más empleados es el ensayo de Folin-Ciocalteu, originalmente descrito para la determinación colorimétrica de fenoles totales. Este método se basa en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu por compuestos con capacidad reductora, y los resultados suelen expresarse como equivalentes de ácido gálico, por ejemplo, mg EAG·g⁻¹ de muestra o extracto, dependiendo del diseño experimental (Singleton & Rossi, 1965). En flores comestibles, la concentración de compuestos fenólicos puede variar considerablemente entre especies. Por ejemplo, Pinedo-Espinoza et al. (2020) evaluaron flores silvestres comestibles consumidas en regiones semiáridas de México y reportaron diferencias amplias en el contenido de fenoles totales, con los valores más altos en flores de *Myrtillocactus geometrizans*. Además, señalaron que la actividad antioxidante de las flores estuvo relacionada principalmente con la presencia de compuestos fenólicos, lo que respalda la importancia de cuantificarlos en estudios de flores silvestres comestibles. En el caso de *Prosopis/Neltuma laevigata*, García-Azpeitia et al. (2022) reportaron que el contenido de compuestos fenólicos fue mayor en las flores que en otros órganos evaluados, como hojas y frutos. En ese mismo estudio se identificaron ácidos fenólicos como ácido 4-hidroxibenzoico, ácido p-cumárico y ácido gálico en flores, lo que muestra que las estructuras florales de esta especie pueden concentrar metabolitos secundarios de interés funcional (García-Azpeitia et al., 2022). La acumulación de compuestos fenólicos en flores puede estar influida por factores genéticos, ambientales y metodológicos. La especie vegetal, la etapa de desarrollo floral, el sitio de colecta, la disponibilidad de agua, la radiación solar, el tipo de suelo y el método de extracción pueden modificar la cantidad de compuestos detectados. Por ello, al comparar resultados entre estudios es necesario considerar no solo la especie analizada, sino también el tipo de muestra, el solvente de extracción, la forma de expresar los resultados y el método analítico empleado.

En este contexto, la determinación de compuestos fenólicos totales en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* permite generar una primera aproximación al

contenido de metabolitos secundarios con potencial bioactivo. Esta información es relevante para valorar su posible importancia funcional como flores comestibles nativas y sirve como base para interpretar posteriormente su relación con flavonoides totales, capacidad antioxidante y estabilidad frente al tratamiento térmico.

2.6 Flavonoides totales

Los flavonoides constituyen uno de los grupos más abundantes y diversos dentro de los compuestos fenólicos de origen vegetal. Estructuralmente, se caracterizan por presentar un esqueleto básico C6-C3-C6, formado por dos anillos aromáticos unidos por una cadena de tres carbonos, y se clasifican en diferentes subgrupos, entre ellos flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanoles, antocianidinas e isoflavonas. Esta diversidad estructural explica su amplia distribución en tejidos vegetales y su participación en múltiples funciones biológicas (Dias et al., 2021; Panche et al., 2016).

En las flores, los flavonoides cumplen funciones ecológicas relevantes. Participan en la pigmentación floral, contribuyen a la formación de señales visuales para la atracción de polinizadores y actúan como filtros frente a la radiación ultravioleta. Además, pueden intervenir en mecanismos de defensa ante estrés biótico y abiótico, así como en la regulación de especies reactivas de oxígeno generadas bajo condiciones ambientales adversas. Por ello, su acumulación en pétalos y otras estructuras florales puede variar de acuerdo con la especie, etapa de desarrollo, radiación, temperatura, disponibilidad hídrica y otros factores ambientales (Dudek et al., 2016; Mathesius, 2018).

Desde el punto de vista alimentario, los flavonoides presentes en flores comestibles son de interés debido a su contribución al potencial bioactivo de la matriz floral. Estos compuestos se han asociado principalmente con actividad antioxidante, debido a su capacidad para donar electrones o hidrógenos, quelar metales y modular procesos relacionados con la formación de radicales libres. Sin embargo, al igual que ocurre con otros metabolitos secundarios, su efecto biológico depende no solo de su concentración, sino también de su estructura química, biodisponibilidad, procesamiento, metabolismo y cantidad consumida.

La determinación de flavonoides totales se utiliza como una estimación global del contenido de este grupo de compuestos en extractos vegetales. Uno de los métodos colorimétricos más empleados es el ensayo con cloruro de aluminio, basado en la formación de complejos entre el aluminio y determinados grupos funcionales de los flavonoides, particularmente flavonas y flavonoles. Los resultados suelen expresarse como equivalentes de quercetina, por ejemplo, mg EQ·g⁻¹ de muestra o extracto, dependiendo del tipo de matriz y del procedimiento analítico empleado (Kubola & Siriamornpun, 2011; Shraim et al., 2021).

En flores comestibles, la concentración de flavonoides puede variar considerablemente entre especies. Esta variabilidad se relaciona con la identidad botánica, la parte floral analizada, el estado fenológico, las condiciones ambientales y el método de extracción. Estudios sobre flores comestibles han reportado que los flavonoides contribuyen de manera importante a su capacidad antioxidante y a su potencial funcional, aunque la magnitud de esta contribución depende de la composición química específica de cada especie y de la metodología utilizada para su evaluación (Chen et al., 2015; Pires et al., 2018; Rivas-García et al., 2021).

En este contexto, la cuantificación de flavonoides totales en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* permite complementar la información obtenida mediante la determinación de compuestos fenólicos totales. Su evaluación resulta pertinente porque estos metabolitos pueden contribuir a la capacidad antioxidante de las flores y a su posible valor funcional como recursos vegetales comestibles. Asimismo, conocer su concentración inicial permite interpretar posteriormente los cambios ocasionados por el tratamiento térmico y valorar la estabilidad de estos compuestos bajo condiciones de procesamiento.

2.7 Capacidad antioxidante en matrices vegetales

La capacidad antioxidante se refiere al potencial de una muestra para neutralizar, reducir o inhibir especies oxidantes mediante diferentes mecanismos químicos. En matrices vegetales, esta propiedad se relaciona con la presencia de compuestos capaces de donar electrones o átomos de hidrógeno, quelar metales o estabilizar radicales libres; por ello,

su evaluación depende del mecanismo químico considerado por cada método analítico (Huang et al., 2005; Prior et al., 2005). Entre los compuestos que pueden contribuir a esta actividad se encuentran los compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides, antocianinas, betalaínas, ácido ascórbico y otros constituyentes reductores presentes en los tejidos vegetales. Por ello, la capacidad antioxidante no depende de un solo compuesto, sino del conjunto de sustancias bioactivas presentes en la matriz y de sus posibles interacciones.

En alimentos de origen vegetal, la evaluación de la capacidad antioxidante se ha utilizado como una herramienta para estimar el potencial bioactivo de frutas, hortalizas, semillas, hojas, flores y extractos vegetales. Sin embargo, este parámetro debe interpretarse como una medición *in vitro*, ya que no necesariamente representa de forma directa el efecto antioxidante que podría ocurrir en el organismo humano. La respuesta biológica depende de factores adicionales como la biodisponibilidad, metabolismo, forma química de los compuestos, cantidad consumida y condiciones de procesamiento del alimento; por ello, los ensayos antioxidantes son útiles para comparar muestras y tratamientos, pero no deben considerarse por sí solos como evidencia directa de un efecto fisiológico (Prior et al., 2005).

Existen diversos métodos para evaluar la capacidad antioxidante en matrices vegetales, los cuales se basan en principios químicos diferentes. De manera general, los ensayos antioxidantes pueden clasificarse en métodos basados en transferencia de átomos de hidrógeno y métodos basados en transferencia de electrones. Esta diferencia explica por qué una misma muestra puede presentar valores distintos dependiendo del método utilizado, ya que cada ensayo responde de manera diferente ante determinados compuestos antioxidantes (Huang et al., 2005; Prior et al., 2005).

Entre los métodos más empleados se encuentra el ensayo ABTS, basado en la decoloración del radical catión $\text{ABTS}^{\bullet+}$. Este radical presenta una coloración característica que disminuye en presencia de compuestos antioxidantes capaces de reducirlo. Una ventaja del método ABTS es que puede aplicarse tanto a antioxidantes hidrofílicos como

lipofílicos, por lo que resulta útil para evaluar extractos vegetales con composición química diversa (Re et al., 1999).

Otro método ampliamente utilizado es FRAP, que mide la capacidad reductora férrica de una muestra. En este ensayo, los compuestos antioxidantes reducen el complejo férrico a su forma ferrosa bajo condiciones ácidas, generando un cambio de color que puede cuantificarse espectrofotométricamente. A diferencia de ABTS, FRAP no mide directamente la captura de radicales libres, sino el poder reductor total de la muestra, por lo que ambos métodos proporcionan información complementaria sobre el comportamiento antioxidante de una matriz vegetal (Benzie & Strain, 1996).

La capacidad antioxidante de las flores comestibles ha sido asociada principalmente con la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides. No obstante, esta relación no siempre es lineal, ya que la actividad antioxidante depende no solo de la concentración total de estos compuestos, sino también de su estructura química, grado de polimerización, tipo de sustituyentes, solubilidad, capacidad de extracción y posible interacción con otros componentes de la matriz vegetal. Por ello, la evaluación conjunta de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante permite obtener una interpretación más completa del potencial bioactivo de una muestra.

En flores comestibles y otras matrices vegetales, la aplicación de más de un método antioxidante resulta recomendable debido a que cada ensayo responde a mecanismos distintos. Así, ABTS puede aportar información sobre la capacidad de neutralización de radicales, mientras que FRAP permite estimar el poder reductor de los extractos. La comparación de ambos métodos ayuda a identificar si una muestra presenta una respuesta antioxidante consistente o si su actividad depende principalmente del tipo de reacción evaluada (Benzie & Strain, 1996; Huang et al., 2005; Prior et al., 2005; Re et al., 1999).

La capacidad antioxidante también puede modificarse por factores propios de la planta y del ambiente. La especie, la etapa de desarrollo, el órgano analizado, las condiciones edafoclimáticas, la radiación solar, la disponibilidad de agua y el estrés ambiental pueden influir en la acumulación de compuestos antioxidantes. Además, el tipo de solvente, el método de extracción y las condiciones de análisis pueden afectar los resultados

obtenidos, por lo que las comparaciones entre estudios deben realizarse considerando las diferencias metodológicas.

En este contexto, la evaluación de la capacidad antioxidante en flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* permite complementar la cuantificación de compuestos fenólicos y flavonoides totales. La aplicación de ensayos como ABTS y FRAP proporciona información sobre el potencial antioxidante de sus extractos y permite analizar posteriormente si el tratamiento térmico modifica esta propiedad. De esta manera, la capacidad antioxidante constituye un parámetro importante para valorar el potencial funcional de estas flores comestibles nativas del matorral xerófilo.

2.8 Efecto del tratamiento térmico sobre compuestos bioactivos

El tratamiento térmico es una práctica común en el procesamiento y preparación de alimentos vegetales, ya que mejora la inocuidad, textura, digestibilidad y aceptabilidad sensorial. Sin embargo, también puede modificar la concentración y disponibilidad de compuestos bioactivos. Palermo et al. (2014) señalan que la cocción induce cambios físicos y químicos en los alimentos, y que el contenido fitoquímico puede modificarse por dos fenómenos opuestos: por un lado, la degradación térmica de compuestos sensibles al calor; por otro, el ablandamiento de la matriz vegetal, que puede favorecer la liberación y mejorar la eficiencia de extracción de compuestos previamente unidos a estructuras celulares.

El efecto del calor sobre los compuestos fenólicos y flavonoides depende de diversos factores, entre ellos la temperatura, el tiempo de exposición, el tipo de matriz vegetal, el pH, la presencia de oxígeno, el medio de cocción y la solubilidad de los compuestos. En algunos casos, el calentamiento puede disminuir el contenido fenólico debido a procesos de oxidación, degradación, polimerización o transformación estructural. En otros casos, puede observarse un incremento aparente, relacionado con una mayor liberación de compuestos fenólicos ligados a la pared celular o con una mayor eficiencia de extracción después del tratamiento térmico (Nayak et al., 2015; Palermo et al., 2014).

Cuando el tratamiento térmico se realiza en medio acuoso, también debe considerarse la lixiviación de compuestos solubles hacia el agua de cocción. Esto es importante en flores y vegetales comestibles, ya que algunos compuestos fenólicos, flavonoides y vitaminas hidrosolubles pueden migrar al medio acuoso. Ramírez-Moreno et al. (2025), al evaluar malva y flor de garambullo, señalaron que el agua de cocción puede contener compuestos solubles con actividad antioxidante, por lo que su consumo o descarte puede modificar la estimación real del aporte nutracéutico del alimento.

En matrices vegetales, los efectos del tratamiento térmico sobre la capacidad antioxidante pueden ser variables. Turkmen et al. (2005) observaron que la cocción modificó el contenido de fenólicos totales y la actividad antioxidante en diferentes vegetales, aunque el efecto dependió de la especie y del método de cocción. De manera similar, Alide et al. (2020) reportaron que la temperatura de cocción tuvo un efecto significativo sobre los fenólicos y flavonoides totales en extractos de ajo, mientras que el tiempo no siempre presentó el mismo nivel de influencia. Estos antecedentes respaldan la importancia de evaluar de manera específica la interacción entre tiempo y temperatura en cada matriz vegetal.

En el caso de extractos vegetales, el efecto térmico puede ser más directo que en el tejido completo, debido a que los compuestos bioactivos se encuentran más expuestos al medio de tratamiento. Bajo condiciones de mayor temperatura o tiempos prolongados, los compuestos fenólicos pueden experimentar oxidación, isomerización, ruptura de enlaces glucosídicos o cambios en su capacidad reductora. Por ello, la evaluación del tratamiento térmico en extractos de flores comestibles permite estimar la estabilidad relativa de sus compuestos bioactivos y su posible conservación durante procesos culinarios o tecnológicos.

2.9 Antecedentes en *Neltuma laevigata* (mezquite)

Diversos estudios han documentado el aprovechamiento de estructuras como vainas, semillas, hojas y flores, así como la presencia de metabolitos secundarios con posible interés funcional. En este sentido, el mezquite ha sido considerado un recurso vegetal con potencial para la obtención de ingredientes alimentarios y compuestos bioactivos.

García-Azpeitia et al. (2022) evaluaron la composición nutricional y fitoquímica de hojas, flores y frutos. Estos autores reportaron diferencias significativas entre órganos vegetales y señalaron que las flores presentaron los contenidos más altos de compuestos fenólicos y alcaloides. Además, identificaron como compuestos fenólicos predominantes en flor al ácido 4-hidroxibenzoico, ácido *p*-cumárico y ácido gálico. Este antecedente resulta relevante porque demuestra que la flor de mezquite no solo posee valor como estructura reproductiva, sino también como reservorio de metabolitos secundarios de interés alimentario y nutracéutico.

Otros estudios en *P. laevigata* han demostrado la presencia de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas. García-Andrade et al. (2013) evaluaron extractos polares de hojas de mezquite y reportaron actividad antioxidante, potencial cardioprotector in vitro e identificación de compuestos como ácido gálico, catequina, galocatequina, galato de epicatequina, rutina y luteolina. Estos resultados sugieren que la especie posee un perfil fitoquímico amplio, con metabolitos capaces de contribuir a su actividad antioxidante y a posibles efectos biológicos.

Asimismo, Delgado-Núñez et al. (2020) aislaron flavonoides de hojas de *P. laevigata* y destacaron a la isoramnetina como un compuesto con actividad nematocida frente a *Haemonchus contortus*. Aunque este estudio no se enfoca en flores ni en consumo humano, confirma que *P. laevigata* contiene flavonoides bioactivos con funciones biológicas específicas.

2.10 Antecedentes en *Echinocereus cinerascens*

Las cactáceas constituyen un grupo vegetal de gran relevancia ecológica y cultural en las zonas áridas y semiáridas de México. Además de frutos y tallos, algunas especies producen flores comestibles que forman parte de prácticas alimentarias locales. Sin embargo, en comparación con frutos de cactáceas como tuna, xoconostle, pitaya o garambullo, las flores han sido menos estudiadas desde el punto de vista nutricional y nutracéutico. Ramírez-Rodríguez et al. (2020) destacan que muchas cactáceas de las zonas áridas mexicanas permanecen subutilizadas y poco estudiadas, aunque contienen compuestos bioactivos interesantes.

En flores de cactáceas de Hidalgo, Pensamiento-Niño et al. (2021) realizaron una caracterización nutricional, funcional y antioxidante de flores de *Cylindropuntia rosea*, *Opuntia oligacantha*, *Opuntia matudae* y *Echinocereus cinerascens*. Para *E. cinerascens*, reportaron contenidos relevantes de proteína, fibra cruda y cenizas, además de valores altos de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante. En ese estudio, las flores de *E. cinerascens* destacaron frente a las demás especies evaluadas, con 44.63 mg EAG·g⁻¹ de fenoles totales, 40.61 mg EQ·g⁻¹ de flavonoides y 392.65 μM ET·g⁻¹ por ABTS, expresados en base seca.

Además del contenido total de compuestos bioactivos, Pensamiento-Niño et al. (2021) identificaron mediante HPLC/ESI/MS diferentes grupos fenólicos en flores de cactáceas. En *Echinocereus cinerascens* se reportó la presencia de catequinas, flavanoles y metoxiflavanoles, lo que permite relacionar su elevada capacidad antioxidante con una composición fenólica específica. Este antecedente es particularmente importante porque proporciona evidencia directa sobre el potencial nutracéutico de las flores de esta especie y justifica la necesidad de profundizar en su respuesta al procesamiento térmico.

Más recientemente, Pensamiento-Niño et al. (2025) evaluaron la actividad antiinflamatoria in vivo de extractos hidroetanólicos de flores comestibles de cactáceas mexicanas. Los autores señalaron que los compuestos fenólicos presentes en flores comestibles, como fenoles y flavonoides, participan como antioxidantes frente a procesos relacionados con estrés oxidativo y pueden presentar actividades biológicas como efecto antiinflamatorio, antimicrobiano y neuroprotector. Aunque este trabajo se orienta a actividad antiinflamatoria, complementa la evidencia de que las flores de cactáceas mexicanas poseen metabolitos secundarios con relevancia biológica.

Estos antecedentes muestran que *E. cinerascens* y otras flores de cactáceas representan recursos alimentarios con potencial nutricional y nutracéutico. No obstante, aún existe información limitada sobre la estabilidad de sus compuestos fenólicos y capacidad antioxidante frente al tratamiento térmico. Esto es relevante porque muchas flores comestibles son consumidas después de procesos culinarios como hervido, cocción o preparación en guisos, por lo que la evaluación de tiempo y temperatura permite

aproximarse de manera más realista a su valor funcional bajo condiciones de consumo tradicional.

2.11 Literatura citada

- Alide, T., Wangila, P., & Kiprop, A. (2020). Effect of cooking temperature and time on total phenolic content, total flavonoid content and total *in vitro* antioxidant activity of garlic. *BMC Research Notes*, 13, Article 564. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05404-8>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Chandrasekhar, J., Sonika, G., Madhusudhan, M. C., & Raghavarao, K. S. M. S. (2015). Differential partitioning of betacyanins and betaxanthins employing aqueous two phase extraction. *Journal of Food Engineering*, 144, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.018>
- Chen, G.-L., Chen, S.-G., Xie, Y.-Q., Chen, F., Zhao, Y.-Y., Luo, C.-X., & Gao, Y.-Q. (2015). Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion. *Journal of Functional Foods*, 17, 243–259. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.028>
- Delgado-Núñez, E. J., Zamilpa, A., González-Cortazar, M., Olmedo-Juárez, A., Cardoso-Taketa, A., Sánchez-Mendoza, E., Tapia-Maruri, D., Salinas-Sánchez, D. O., & Mendoza-de Gives, P. (2020). Isorhamnetin: A nematocidal flavonoid from *Prosopis laevigata* leaves against *Haemonchus contortus* eggs and larvae. *Biomolecules*, 10(5), Article 773. <https://doi.org/10.3390/biom10050773>
- Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2021). Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26(17), Article 5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
- Dudek, B., Warskulat, A.-C., & Schneider, B. (2016). The occurrence of flavonoids and related compounds in flower sections of *Papaver nudicaule*. *Plants*, 5(2), Article 28. <https://doi.org/10.3390/plants5020028>
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017>
- Figueredo-Urbina, C. J., Aguilar-Palma, O., & Pulido-Silva, M. T. (2019). Flores comestibles como acervo cultural mexicano. *Ciencia y Desarrollo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

[https://www.researchgate.net/publication/338816686 Flores comestibles como acervo cultural mexicano](https://www.researchgate.net/publication/338816686_Flores_comestibles_como_acervo_cultural_mexicano)

- García-Andrade, M., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Rosales-Castro, M., & Medina-Torres, L. (2013). Mesquite leaves (*Prosopis laevigata*), a natural resource with antioxidant capacity and cardioprotection potential. *Industrial Crops and Products*, 44, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.030>
- García-Azpeitia, L., Montalvo-González, E., & Loza-Cornejo, S. (2022). Caracterización nutricional y fitoquímica de hojas, flor y fruto de *Prosopis laevigata*. *Botanical Sciences*, 100(4), 1014–1024. <https://doi.org/10.17129/botsci.3000>
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(Especial 5), 1–5. https://doi.org/10.35196/rfm.2012.Especial_5.1
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Juárez-Trujillo, N., Monribot-Villanueva, J. L., Jiménez-Fernández, V. M., Suárez-Montaño, R., Aguilar-Colorado, A. S., Guerrero-Analco, J. A., & Jiménez, M. (2018). Phytochemical characterization of Izote (*Yucca elephantipes*) flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 202–210. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.027>
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- Kumari, P., Ujala, & Bhargava, B. (2021). Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle. *Journal of Functional Foods*, 78, Article 104375. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104375>
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., Wu, H., & Chen, S. (2016). An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*, 21(10), Article 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- Mathesius, U. (2018). Flavonoid functions in plants and their interactions with other organisms. *Plants*, 7(2), Article 30. <https://doi.org/10.3390/plants7020030>

- Mavengahama, S., McLachlan, M., & de Clercq, W. (2013). The role of wild vegetable species in household food security in maize based subsistence cropping systems. *Food Security*, 5, 227–233. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0243-2>
- Mulík, S., & Ozuna, C. (2020). Mexican edible flowers: Cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, Article 100235. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100235>
- Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 887–918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
- Padrón Pereira, C. A., & Moreno Álvarez, M. J. (2010). Evaluación del uso de enzimas y filtración por gravedad para la clarificación de una mezcla diluida de pulpa de frutos de cactus (*Opuntia boldinghii* Britton & Rose), jugos de naranja y toronja. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5429–5439.
- Palermo, M., Pellegrini, N., & Fogliano, V. (2014). The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1057–1070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6478>
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, Article e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Penafiel, D., Lachat, C., Espinel, R., Van Damme, P., & Kolsteren, P. (2011). A systematic review on the contributions of edible plant and animal biodiversity to human diets. *EcoHealth*, 8(3), 381–399. <https://doi.org/10.1007/s10393-011-0700-3>
- Pensamiento-Niño, C. A., Campos-Montiel, R. G., Añorve-Morga, J., Ramírez-Moreno, E., Ascacio-Valdés, J. A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2021). Nutritional characterization of the functional and antioxidant activity of cactus flowers from Hidalgo, Mexico. *Applied Sciences*, 11(13), Article 5965. <https://doi.org/10.3390/app11135965>
- Pensamiento-Niño, C. A., Hernández-Fuentes, A. D., Añorve-Morga, J., Duarte-Sierra, A., Ramírez-Moreno, E., Sosa-Gutiérrez, C. G., & Ojeda-Ramírez, D. (2025). *In vivo* anti-inflammatory activity of four edible Cactaceae flowers from Mexico. *Metabolites*, 15(10), Article 665. <https://doi.org/10.3390/metabo15100665>
- Pérez-Ochoa, M. L., Vera-Guzmán, A. M., Mondragón-Chaparro, D. M., Sandoval-Torres, S., Carrillo-Rodríguez, J. C., Mayek-Pérez, N., & Chávez-Servia, J. L. (2023). Effects of annual growth conditions on phenolic compounds and antioxidant activity in the roots of *Eryngium montanum*. *Plants*, 12(18), Article 3192. <https://doi.org/10.3390/plants12183192>
- Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2020). Nutritional composition, bioactive

- compounds and antioxidant activity of wild edible flowers consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 413–419. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>
- Pires, T. C. S. P., Dias, M. I., Barros, L., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. *Food Research International*, 105, 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.014>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (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. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Ramírez-Moreno, E., Cruz-Cansino, N. del S., Olguín-Hernández, Z., Baltazar-Téllez, R. M., Sánchez-Padilla, M. L., Palmeros-Exsome, C., Sandoval-Gallegos, E. M., & Arias-Rico, J. (2025). Effect of thermal treatment on the retention of phenolic compounds, antioxidant activity, and vitamin C of edible plants (mallow leaf and garambullo flower). *Applied Sciences*, 15(3), Article 1322. <https://doi.org/10.3390/app15031322>
- Ramírez-Rodríguez, Y., Martínez-Huélamo, M., Pedraza-Chaverri, J., Ramírez, V., Martínez-Tagüena, N., & Trujillo, J. (2020). Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican drylands Cactaceae fruits: Recent findings and research opportunities. *Food Chemistry*, 312, Article 126073. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126073>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rivas-García, L., Navarro-Hortal, M. D., Romero-Márquez, J. M., Forbes-Hernández, T. Y., Varela-López, A., Llopis, J., Sánchez-González, C., & Quiles, J. L. (2021). Edible flowers as a health promoter: An evidence-based review. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.007>
- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, Article 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
- Singh, P., Singh, A., & Choudhary, K. K. (2023). Revisiting the role of phenylpropanoids in plant defense against UV-B stress. *Plant Stress*, 7, Article 100143. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100143>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A., Jr. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

- Sloan, A. E. (1996). America's appetite '96: The top 10 trends to watch and work on. *Food Technology*, 50(7), 55–71.
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 133–138. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0053-9>
- Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
- Ugalde-Medellín, J. A., Guzmán-Ceferino, J., & López-López, L. I. (2017). Actividad antioxidante de extractos de fruto de garambullo relacionado con su contenido de betalainas. En J. R. Velázquez Martínez (Ed.), *Aportaciones a las ciencias alimentarias* (pp. 195–201). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO 3.

Original Article

Propiedades nutrimentales y efecto del tratamiento térmico sobre el potencial nutracéutico de flores de *Neltuma laevigata*³

Nutritional Properties and the Effect of Thermal Treatment on the Nutraceutical Potential of *Neltuma laevigata* Flowers

Abigail Ortiz-Mendoza¹, Irma Salgado-Escobar², Ma. Teresa Martínez-Damián¹, Diana Guerra-Ramírez^{3*}, María Teresa Beryl-Colinas y León¹ y Jesús Axayácatl Cuevas-Sánchez^{1†}.

¹Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia; ³Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México- Texcoco, Km. 38.5, CP 56 230. Estado de México, México.

²Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias. Calle del puente 222, Ejidos de Huipulco, Tlalpan, Ciudad de México, México. CP 14380.

* Autor para correspondencia: Diana Guerra Ramírez, correo-e: dguerrar@chapingo.mx

RESUMEN

Las flores de *Neltuma laevigata* (mezquite) son un recurso alimenticio tradicional del Valle del Mezquital (Hidalgo, México) cuyo potencial nutricional y nutracéutico ha sido poco documentado, particularmente frente a tratamiento térmico. Este estudio evaluó su composición proximal y mineral, el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales y la capacidad antioxidante (ABTS y FRAP), así como el efecto del tratamiento térmico mediante un diseño factorial 2×4 (15 y 60 min; 45, 60, 75 y 90 °C).

³ Sometido a: Biotecnia
Estado: enviado

Las flores crudas presentaron 20.45% de proteína y concentraciones relevantes de K, P, Mg y Fe (2783.52, 615.84, 204.88 y 31.29 mg·100 g⁻¹, respectivamente). El tratamiento 90 °C/15 min., redujo el extracto etéreo ≈36%. El análisis de riesgo no carcinogénico (Hazard Quotient, HQ), considerando un consumo de 10 g día⁻¹ y 60 kg de peso corporal, indicó HQ > 1 únicamente para Co.

El extracto metanólico crudo mostró 41.14 mg EAG·g⁻¹ de CFT, 23.39 mg EQ·g⁻¹ de flavonoides y 1064.91 (ABTS) y 81.04 (FRAP) μmol ET·100 g⁻¹. El tratamiento térmico disminuyó significativamente los compuestos fenólicos, alcanzando reducciones de hasta ≈70%, con descensos en ABTS y FRAP de hasta ≈80%. Se observó correlación positiva fuerte entre CFT y ambas técnicas antioxidantes (r = 0.96).

Palabras clave: Compuestos fenólicos, flores comestibles, tratamiento térmico.

ABSTRACT

The flowers of *Neltuma laevigata* (mesquite) are a traditional food resource of the Valle del Mezquital (Hidalgo, Mexico) whose nutritional and nutraceutical potential has been scarcely documented, particularly in relation to thermal treatment. This study evaluated their proximate and mineral composition, total phenolic compounds (TPC), total flavonoids, and antioxidant capacity (ABTS and FRAP), as well as the effect of thermal treatment using a 2 × 4 factorial design (15 and 60 min; 45, 60, 75 and 90 °C). Raw flowers presented 20.45% protein and relevant concentrations of K, P, Mg and Fe (2783.52, 615.84, 204.88 and 31.29 mg·100 g⁻¹, respectively). The treatment 90 °C/15 min., reduced ether extract ≈36%. The non-carcinogenic risk analysis (Hazard Quotient, HQ), considering a consumption of 10 g day⁻¹ and 60 kg body weight, indicated HQ > 1 only for Co.

The crude methanolic extract showed 41.14 mg GAE·g⁻¹ of TPC, 23.39 mg QE·g⁻¹ of flavonoids and 1064.91 (ABTS) and 81.04 (FRAP) μmol TE·100 g⁻¹. Thermal treatment significantly decreased phenolic compounds, reaching reductions of up to ≈70%, with decreases in ABTS and FRAP of up to ≈80%. A strong positive correlation was observed between TPC and both antioxidant techniques (r = 0.96).

Keywords: Phenolic compounds, edible flowers, thermal treatment.

3.1 INTRODUCCIÓN

En México, el aprovechamiento de los recursos fitogenéticos regionales está estrechamente vinculado al conocimiento tradicional de las comunidades locales. Un ejemplo destacado es la cultura Hñähñu (Otomí), asentada principalmente en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo. Esta región abarca más de 7 000 km² y su vegetación está dominada por matorral xerófilo, el tipo de vegetación más extenso del país, que ocupa alrededor del 40 % de la superficie nacional (Pérez-Serrano et al. 2021).

La interacción histórica de la comunidad Hñähñu con su entorno, ha permitido el desarrollo de conocimiento de distintas especies vegetales utilizadas en diferentes ámbitos (Moreno-Alcántara et al. 2006). Entre las plantas aprovechadas, destaca *Neltuma laevigata*, el mezquite (antes *Prosopis laevigata*, *genero reubicado* tras revisiones filogenéticas) un árbol de la familia *Fabaceae*, de entre 3 y 9 metros de altura, tiene hojas compuestas y ramas con espinas pareadas; sus flores amarillentas se agrupan en inflorescencias que producen vainas (Weber, 2007), se encuentra ampliamente distribuido en México (Rojas et al. 2013; Ríos-Reyes et al. (2017), asociado principalmente a vegetación propia de matorral xerófilo (Rzedowski y Calderón, 2009). El mezquite es importante ecológicamente porque ayuda a regenerar suelos degradados, fija nitrógeno y actúa como planta nodriza (Bernal-Ramírez et al. 2019) y culturalmente siendo utilizado como recurso maderable, medicinal y alimenticio (Puppo & Felker, 2021). Las partes comestibles de *N. laevigata* son las flores y las vainas; las flores están disponibles en la región entre los meses de febrero a abril, se consumen hervidas y/o guisadas en diferentes platillos. Sin embargo, su consumo ha disminuido debido a la migración y cambios en las costumbres alimentarias (Juárez-Martín, 2020).

Por otro lado, estudios previos han demostrado que diferentes órganos de especies del género *Neltuma*, principalmente hojas, semillas y flores presentan propiedades nutricionales y contienen compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. (García-Azpeitia et al. 2022). Entre ellos, los compuestos fenólicos destacan por su capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno, proteger contra el daño oxidativo y contribuir al fortalecimiento de procesos metabólicos y defensas celulares (Gharibzahedi y Jafari,

2017). Se ha reportado la presencia de compuestos fenólicos en diferentes partes de *N. laevigata*, principalmente en hojas, semillas y flores. González-Cortázar et al. (2025) identificaron flavonoles como quercetina 3-O-rutinosido (rutina) y quercetina 3-O-glucósido (isoquercetina) en extractos de hojas; por su parte, Nava-Solís et al. (2022) encontraron ácidos fenólicos y catecol en extractos metanólicos de hojas. En un estudio más amplio, García-Azpeitia et al. (2022) identificaron ácido gálico, ácido 4-hidroxibenzoico y ácido *p*-cumárico tanto en hojas como en flores. Además, Sharifi-Rad et al. (2019) reportaron en semillas de esta especie una diversidad de compuestos fenólicos, incluyendo ácidos (*p*-cumárico y gálico), flavanoles (galocatequina, catequina, epicatequina galato), flavonoles (rutina, morina), flavanonas (naringenina) y flavonas (luteolina). Estos antecedentes confirman que *Neltuma laevigata* es una fuente rica y diversa de compuestos bioactivos.

No obstante, diversos autores han documentado que el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante pueden verse afectados por el tratamiento térmico. Por ejemplo, Gallegos-Infante et al. (2012) reportaron una disminución de estos compuestos en harina de vainas de mezquite tras un tratamiento de tostado. Resultados similares fueron observados en flores hervidas de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y hojas de malva (*Malva parviflora*) por Sandoval-Gallegos et al. (2021) y Ramírez-Moreno et al. (2025), respectivamente, así como en flores de calabaza tratadas térmicamente, según Castañeda-Rodríguez et al. (2024).

A pesar de la relevancia cultural y biológica del mezquite, hasta la fecha no se han encontrado estudios que evalúen el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante específicamente en las flores, lo cual representa un área de investigación poco explorada.

El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades nutricionales y el efecto del tratamiento térmico en flores de *Neltuma laevigata* para evaluar la estabilidad de su potencial nutraceutico y generar evidencia científica que respalde su valor como alimento funcional, contribuyendo al fortalecimiento de la seguridad alimentaria local y a la revalorización de este recurso vegetal de importancia cultural.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las flores de mezquite fueron colectadas en Santiago de Anaya, Valle del Mezquital, Hidalgo, México (2066 msnm, N20° 21'19.296" W96° 56'49.8625"), en abril de 2024. El ejemplar se identificó taxonómicamente, y se depositó en el Herbario-Hortorio "JES" de la Universidad Autónoma Chapingo (número de registro 36238).

3.2.1 Análisis proximal y mineral

El análisis proximal se determinó tanto en flores crudas liofilizadas y molidas como en flores sometidas a tratamiento térmico (15 min a 90 °C), empleando métodos oficiales de la AOAC (1990). Se cuantificó el contenido de proteína cruda (método 960.52), extracto etéreo (920.39), cenizas (900.02) y fibra cruda (985.29). El contenido de carbohidratos totales se estimó por diferencia en cada repetición.

El contenido mineral se determinó únicamente en flores crudas. Para ello, 0.2 g de muestra molida se fortificaron con una solución de 10 ng·mL⁻¹ de escandio (Sc), indio (In), iridio (Ir) y bismuto (Bi) (High Purity Standards, EUA) como patrones internos. Posteriormente, las muestras se sometieron a digestión ácida con HNO₃ concentrado y H₂O₂ hasta lograr la mineralización completa. El análisis elemental se realizó mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) utilizando un equipo Thermo Scientific iCAP™ RQ (Waltham, Massachusetts, EUA). El procesamiento y cuantificación de los datos se efectuó con el software Thermo Scientific™ Qtegra™.

3.2.2 Determinación del índice de riesgo (Hazard Quotient, HQ)

El índice de riesgo (*Hazard Quotient*, HQ) se utilizó para estimar el riesgo potencial asociado a la exposición oral a los elementos presentes en las flores, siguiendo criterios toxicológicos internacionales (Khan et al., 2008). El HQ se calculó como la relación entre la ingesta diaria estimada (EDI, *Estimated Daily Intake*) y la dosis de referencia oral (RfD, *Oral Reference Dose*), de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$EDI = \frac{CET * PDI}{PC}$$

donde:

CET = concentración del elemento traza en flores liofilizadas ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ bs}$)

PDI= Porción diaria de ingesta supuesta estimada ($\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$)

PC= peso corporal promedio (kg)

El cociente de riesgo (HQ) se calculó como:

$$HQ = \frac{EDI}{RfD}$$

donde:

RfD = dosis de referencia oral ($\text{mg} \cdot \text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$)

Los valores de RfD empleados corresponden a los establecidos por agencias regulatorias internacionales (U.S. EPA, 1993 y se define como la cantidad diaria estimada de una sustancia que no se espera cause efectos adversos a lo largo de la vida (U.S. EPA, 1993).

Valores de $HQ < 1$ se consideraron indicativos de un riesgo no apreciable para la salud, mientras que valores de $HQ > 1$ sugieren un posible riesgo para la población expuesta (U.S. EPA, 1989; ATSDR, 2005; Aslam et al., 2024).

3.2.3 Preparación de extractos

Las flores fueron congeladas con nitrógeno líquido y posteriormente liofilizadas a $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 0.046 mbar de presión (Labconco®, Kansas City, Missouri, EUA). El material liofilizado se molió y tamizó (0.5 mm). Se maceraron flores liofilizadas de *N. laevigata*, relación 1:10 (m/v), de manera sucesiva con hexano, cloruro de metileno y metanol (Murrieta-Dionicio et al. 2024), con el fin de separar los metabolitos de acuerdo con su polaridad. Los disolventes fueron eliminados mediante evaporación al vacío (Büchi, Meierseggstrasse, Flawil, Suiza) para obtener los extractos correspondientes.

3.2.4 Tratamiento térmico

La metodología se adaptó de Espejel-Sánchez et al. (2021). Se disolvieron 0.5 g de extracto metanólico y se aforaron hasta un volumen final de 25 mL con metanol. Posteriormente, se tomaron alícuotas de 0.5 mL, las cuales se mezclaron con 4.5 mL de agua destilada. Las mezclas resultantes se sometieron a tratamientos térmicos (por triplicado), considerando dos tiempos (15 y 60 min) y cuatro temperaturas (45, 60, 75 y 90 °C), con agitación constante a 500 rpm en un ThermoMixer® C (Eppendorf, Alemania), con el fin de simular las condiciones de cocción utilizadas en el sitio de recolección. Posteriormente, se adicionó metanol puro (1:1, v/v), las muestras se agitaron en vortex durante 3 min y se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min. Finalmente, el sobrenadante se aforó a 10 mL con metanol al 50% (v/v).

3.2.5 Contenido fenólico, flavonoides y capacidad antioxidante

El contenido fenólico total se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965); los flavonoides totales, según Kubola y Siriamornpun (2011); la capacidad antioxidante se evaluó mediante el ensayo ABTS descrito por Re et al. (1999), y del ensayo FRAP, de acuerdo con Benzie y Strain (1996).

Se construyeron curvas de calibración utilizando estándares de ácido gálico (0.06275–0.43725 mg·mL⁻¹; R² = 0.9959) para fenoles totales, quercetina (0.01725–0.35175 mg·mL⁻¹; R² = 0.9984) para flavonoides totales, y trolox (0.10075–1.38975 μmol·L⁻¹; R² = 0.9970) para la capacidad antioxidante.

Las absorbancias se midieron en un lector de microplacas (Synergy™ HTX, BioTek Instruments, Inc., USA) y los resultados se expresaron para fenoles como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto metanólico (mg EAG·g⁻¹), miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto metanólico (mg EQ·g⁻¹) para flavonoides y micromoles equivalentes de trolox por gramo de extracto metanólico (μmol ET·100 g⁻¹) para la capacidad antioxidante.

3.2.6 Análisis estadístico

Los datos del análisis proximal (% base seca) se evaluaron bajo un diseño completamente al azar con un solo factor (tratamiento térmico), considerando dos niveles: flores crudas y flores cocidas (15 min, 90 °C). Para cada variable se realizó un análisis de varianza de una vía.

Los resultados correspondientes al contenido fenólico total, flavonoides totales y capacidad antioxidante se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×4 , donde el factor A correspondió al tiempo de tratamiento térmico (15 y 60 min) y el factor B a la temperatura aplicada (45, 60, 75 y 90 °C). El análisis se centró en la interacción entre ambos factores ($A \times B$), con el fin de evaluar el efecto combinado del tiempo y la temperatura sobre las variables de respuesta.

Todos los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones y las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron mediante la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Adicionalmente, se aplicó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la asociación entre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides totales y la capacidad antioxidante. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat/L (Di Rienzo et al., 2020).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Análisis proximal

El tratamiento térmico aplicado (90 °C durante 15 min en medio acuoso) no produjo cambios significativos en el contenido de ceniza, proteína, fibra cruda ni carbohidratos ($p > 0.05$), lo que indica una estabilidad general de la composición proximal en base seca. Sin embargo, el extracto etéreo mostró una disminución significativa de alrededor del 36% ($p < 0.05$) tras la cocción. Esta reducción sugiere procesos de oxidación lipídica, transformación térmica de fracciones lipofílicas o cambios estructurales en la matriz vegetal, este comportamiento es consistente con lo reportado en matrices vegetales

sometidas a tratamientos térmicos en agua, donde la fracción lipídica puede ser susceptible a pérdidas por lixiviación y modificaciones estructurales (Fabbri y Crosby, 2016; Arias-Rico et al., 2020).

En el cuadro 1. se muestran los valores de la composición proximal de flores liofilizadas y molidas de *N. laevigata*, crudas y con tratamiento térmico a 90°C durante 15 minutos y de algunas otras flores comestibles de zonas áridas de México (Pinedo-Espinoza *et al.* 2020) que suelen compartir hábitat en algunas ocasiones, en los que se incluye a *Agave salmiana* (maguey), *Aloe vera* (sábila), y *Erythrina americana* (colorín/gasparito).

El análisis proximal de las flores de *Neltuma laevigata* reveló que los componentes mayoritarios son los carbohidratos totales, la proteína cruda y la fibra cruda. El contenido de carbohidratos fue superior al 50 %, lo que sugiere que estas flores podrían representar una contribución significativa al aporte energético, situándose en valores comparables a los reportados para flores comestibles como *E. americana*. El valor de fibra cruda se encuentra dentro del rango observado en especies de zonas áridas, como *E. americana* y *Agave salmiana*. En cuanto al contenido proteico, *N. laevigata* destacó con un valor de 20.45 %, superando lo reportado para las otras flores consumidas en regiones semiáridas y posicionándose dentro del rango de leguminosas tradicionalmente reconocidas por su valor nutricional, como la lenteja (*Lens culinaris*), con contenidos cercanos al 26 % (Khazaei et al. 2019), y el garbanzo (*Cicer arietinum*), con concentraciones que oscilan entre 19.8 y 23.4 % en base seca (Pascual-Bustamante, 2024). No obstante, para una evaluación completa de su valor nutricional, es necesario analizar el perfil de aminoácidos esenciales y determinar parámetros de calidad proteica.

3.3.2 Análisis mineral

Para el análisis mineral, se realizó sólo en flores crudas tomando en cuenta que, desde el punto de vista químico, los minerales corresponden a elementos inorgánicos que no sufren degradación estructural bajo las temperaturas de cocción empleadas en este estudio y presentan estabilidad térmica bajo condiciones convencionales de cocción.

Diversos estudios han demostrado que las variaciones observadas en el contenido mineral de vegetales sometidos a tratamiento térmico se deben principalmente a procesos de

lixiviación hacia el medio acuoso cuando este es descartado, más que a una degradación química del elemento en sí (Daiuto et al. 2015; Fabbri & Crosby, 2016; Lisciani et al. 2025).

En el cuadro 2, se presentan los resultados del análisis elemental determinados en las flores de mezquite crudas, en comparación con los reportados por Pinedo-Espinoza et al. (2020) para otras flores comestibles (maguey-*Agave salmiana*, sábila-*Aloe vera*, garambullo-*Myrtillocactus geometrizans* y colorín-*Erythrina americana*), así como el valor diario (VD) de consumo recomendado por la Food and Drug Administration (FDA, 2024).

Los minerales detectados en cantidades altas con respecto al VD, fueron para el caso de los macroelementos, $K > P > Mg$; y para microelementos, $Fe > Zn > Mn$, estos elementos desempeñan funciones esenciales para la salud humana (Gharibzahedi y Jafari, 2017). En las flores de mezquite crudas liofilizadas, el contenido de potasio representó cerca del 80% del VD recomendado; este mineral es fundamental para una adecuada función muscular y del sistema nervioso. Por otro lado, los contenidos de fósforo y magnesio representaron aproximadamente el 61% y 51% del VD recomendado: el fósforo participa en funciones metabólicas y en la estabilidad de estructuras óseas, mientras que el Mg tiene un rol importante en numerosas reacciones enzimáticas involucradas en el metabolismo energético. Respecto a los microelementos, los contenidos de hierro y manganeso fueron notablemente elevados, superando en ambos casos prácticamente el doble del valor diario (VD) recomendado, lo que sugiere que las flores de *N. laevigata* podrían representar una fuente significativa de estos elementos, aunque su contribución nutricional efectiva dependerá de su biodisponibilidad y absorción; El hierro es fundamental en la síntesis de hemoglobina y en la prevención de la anemia. Asimismo, el manganeso, junto con el zinc—cuyo contenido en flores de mezquite aporta aproximadamente el 50% del VD—y el selenio, destacan por su importancia en diversos procesos metabólicos, antioxidantes y estructurales (Gharibzahedi y Jafari, 2017).

En comparación con otras flores comestibles analizadas por Pinedo-Espinoza et al. (2020), el contenido mineral (K, P, Mg, Fe) encontrado en flores de mezquite fue

considerablemente mayor. Sin embargo, algunos minerales como el calcio (Ca) y el cobre (Cu) fueron más abundantes en las flores de *E. americana*.

Al aportar minerales esenciales en concentraciones relevantes para la nutrición humana, las flores de mezquite constituyen un recurso alimentario de importancia como complemento nutricional. Adicionalmente, las flores de mezquite mostraron un bajo contenido en sodio (Na), por lo que podrían ser una opción favorable para dietas que requieren restricción de este mineral.

3.3.3 Índice de riesgo (Hazard Quotient, HQ) en elementos traza en flores de *N. laevigata*

Se identificaron los siguientes elementos traza en el orden $Cs > V > Co > Cd > Pb$, todos cuantificables en concentraciones superiores a $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. En el cuadro 3 se presenta el cociente de riesgo (Hazard Quotient, HQ) estimado para cada elemento, considerando un escenario de consumo diario de 10 g de flores liofilizadas y un peso corporal promedio de 60 kg. Bajo estas condiciones, únicamente el Co presentó un valor de HQ superior a 1, lo que sugiere un posible riesgo no carcinogénico en el escenario evaluado, mientras que los demás elementos mostraron valores inferiores al umbral de preocupación ($HQ < 1$). Entre los elementos identificados, el cobalto, si bien es un elemento esencial como componente estructural de la vitamina B₁₂ (Allen, 2008), podría representar un riesgo potencial bajo condiciones de consumo continuo y considerando los supuestos de exposición empleados. Asimismo, su presencia en concentraciones elevadas puede estar asociada a características geológicas del suelo o a aportes derivados de actividades agrícolas o mineras, factores que pueden favorecer su acumulación en tejidos vegetales. No obstante, es importante señalar que el consumo de flores comestibles suele ser ocasional y en porciones variables, por lo que el escenario evaluado representa una aproximación que podría sobreestimar la exposición real en condiciones habituales de ingesta.

El cesio (^{133}Cs), no posee una función biológica conocida y presenta baja toxicidad oral (Venturi, 2021). Su acumulación en flores comestibles puede emplearse como un

marcador geoambiental natural, debido a su comportamiento conservador en el suelo y su analogía iónica con el potasio (Komínková et al. 2018).

El vanadio, ha sido clasificado como potencialmente esencial para algunos animales y en diversos microorganismos en los que actúa como cofactor metálico enzimático (Rehder, 2013), aunque su función fisiológica en humanos aún no está completamente establecida (Harland, 1994), se ha observado que, en dosis farmacológicas, puede modular procesos de señalización celular y en concentraciones altas, puede afectar la función renal, hepática y generar estrés oxidativo (Ścibior et al. 2020).

En cuanto a los elementos tóxicos, Cd y Pb sus valores de HQ sugieren que, bajo los supuestos de exposición empleados, no representan un riesgo significativo (Rai et al., 2019). Sin embargo, debido a su carácter bio acumulativo y a su relevancia en normativas alimentarias internacionales, se recomienda su monitoreo periódico en caso de consumo continuo.

La acumulación de estos elementos en las flores de *N. laevigata* podría estar relacionada con la composición geoquímica de los suelos semiáridos de la región, conocidos por su origen volcánico (INEGI, 1992). Además, Buendía-González et al. (2010) demostraron que plántulas de *P. laevigata* cultivadas *in vitro* presentan una notable eficiencia para acumular Cd y Cr, los autores destacan la capacidad fisiológica de la especie para movilizar y almacenar elementos provenientes del sustrato. Estos resultados sugieren que *N. laevigata* posee mecanismos de absorción y translocación que podrían explicar, la presencia de concentraciones elevadas de ciertos elementos traza en flores silvestres recolectadas en ambientes semiáridos, donde la disponibilidad mineral del suelo es un factor determinante.

Los resultados reflejan tanto el potencial nutricional como los posibles riesgos asociados al consumo de flores de mezquite, se sugiere evaluar biodisponibilidad real de los elementos y no solo concentración total.

3.3.4 Compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante

El extracto metanólico, correspondiente a la fracción polar, fue seleccionado debido a que en este se concentran principalmente los compuestos fenólicos asociados al potencial nutracéutico.

El extracto metanólico crudo de flores de *Neltuma laevigata* presentó 41.14 ± 0.35 mg EAG $\cdot$ g⁻¹ de compuestos fenólicos totales y 23.39 ± 0.32 mg EQ $\cdot$ g⁻¹ de flavonoides totales. La capacidad antioxidante fue de 81.04 ± 0.32 μ mol ET $\cdot$ 100 g⁻¹ para FRAP y 1064.91 ± 14.5 μ mol ET $\cdot$ 100 g⁻¹ para ABTS. Comparativamente, García-Azpeitia et al. (2022) reportaron un contenido de 36.98 mg EAG $\cdot$ g⁻¹ de compuestos fenólicos totales en flores de *P. laevigata* recolectadas en Lagos de Moreno, Jalisco, lo que representa aproximadamente el 90 % del valor obtenido en el presente estudio. Por otro lado, Ramírez-Moreno et al. (2025) informaron valores de 95.72 μ mol ET $\cdot$ 100 g⁻¹ para FRAP y 2344.66 μ mol ET $\cdot$ 100 g⁻¹ para ABTS en flores de *Myrtillocactus geometrizans*, lo que equivale a aproximadamente 84.7 % (FRAP) y 45.4 % (ABTS) de los valores obtenidos en este estudio.

Las diferencias en el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante entre este trabajo y otras investigaciones, puede deberse a múltiples factores, incluyendo la especie vegetal evaluada, el estado fenológico al momento de la colecta, las condiciones edafoclimáticas del sitio de muestreo y/o las diferencias metodológicas entre estudios, como por ejemplo el tipo de extracción empleada (Pérez-Ochoa et al., 2023).

3.3.5 Efecto del tiempo y del tratamiento térmico sobre las propiedades antioxidantes de *N. laevigata*.

El análisis de las propiedades evaluadas (compuestos fenólicos totales, flavonoides, y capacidad antioxidante mediante ABTS y FRAP) muestra una clara tendencia de disminución en función del tratamiento térmico aplicado. En todos los casos, el extracto metanólico sin tratamiento térmico presentó los valores más altos, mientras que los tratamientos con mayores temperaturas y tiempos prolongados registraron reducciones significativas (Figura 1).

Particularmente, para los compuestos fenólicos totales, se observa que tanto el tiempo como la temperatura influyen en su degradación, sin embargo, es la temperatura la que ejerce un efecto más marcado: esto se observa en que, manteniendo constante la temperatura, los dos tiempos evaluados (15 y 60 min) no presentan diferencia significativa en la mayoría de los casos mientras que, al aumentar la temperatura y dejar el tiempo fijo, hay diferencia significativa en casi todos los tratamientos (Tukey, $p < 0.05$). Los porcentajes de degradación más bajos para fenoles se observaron en los tratamientos (tiempo: temperatura) 15:45 (23%) y 60:45 (30%), mientras que los más altos en 15:90 (62%) y 60:90 (64%).

En flavonoides totales, los tratamientos a 45 °C conservaron contenidos elevados con respecto al extracto crudo sin diferencias significativas entre 15 y 60 min mostrando porcentajes de degradación relativamente bajos (1 y 3% respectivamente), en tanto que al aumentar la temperatura especialmente combinada con tiempos prolongados (60 min), se generaron descensos progresivos, alcanzando un mínimo en el tratamiento 60:90 en donde la degradación fue 49% respecto al extracto crudo.

La reducción en la capacidad antioxidante al aplicar tratamiento térmico, determinada mediante los ensayos FRAP y ABTS, fue de $\approx 50\%$ a partir del tratamiento 15:45, conservando solamente $\approx 20\%$ en los últimos tratamientos (15:75, 15:90).

Esta tendencia sugiere que tanto los compuestos fenólicos como los flavonoides presentes en las flores de mezquite son susceptibles a la degradación inducida por tratamientos térmicos prolongados, lo cual se refleja directamente en la disminución de su capacidad antioxidante.

Por otro lado, el análisis de correlación de Pearson reveló una asociación muy alta entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante, tanto en ABTS como en FRAP ($r = 0.96$). Los flavonoides totales mostraron una correlación moderada a fuerte con ambas pruebas antioxidantes ($r = 0.76$). Por otra parte, la relación entre los métodos ABTS y FRAP fue prácticamente perfecta ($r \approx 1$), lo que confirma la consistencia de ambas metodologías para estimar la capacidad antioxidante en este material vegetal.

Estos resultados sugieren que los compuestos fenólicos son los principales responsables de la capacidad antioxidante en las flores de mezquite, mientras que los flavonoides, aunque contribuyen de manera importante, podrían no ser los únicos compuestos activos.

Los resultados de esta investigación, revelan que el tratamiento térmico promueve la disminución de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las flores de *N. laevigata* (ABTS/FRAP) (Shahidi y Yeo, 2016). Esto puede explicarse porque el calentamiento favorece transformaciones químicas de los polifenoles en reacciones como oxidación a *o*-quinonas, isomerización (trans→cis en hidroxicinámicos y reordenamientos en flavonoides), y polimerización que reducen su poder reductor (Zhang, 2022; Su et al. 2022) y en consecuencia su respuesta al ensayo Folin–Ciocalteu (que responde a la capacidad reductora no solo de compuestos fenólicos), lo cual ayuda a explicar los descensos paralelos observados en ABTS/FRAP tras el tratamiento térmico aplicado (Everette et al. 2010). Además, puede ocurrir también la formación de complejos con proteínas y polisacáridos (complejos fenol–proteína/pared celular) que insolubilizan parte de los fenoles, disminuyendo su extracción ya que pueden quedar en el pellet tras la centrifugación (Ozdal et al. 2013; Jakobek, 2015).

3.4 CONCLUSIONES

El perfil nutricional de las flores de *N. laevigata* destaca por su contenido de proteína (20.45 % en base seca), así como por sus concentraciones relevantes de potasio, fósforo, hierro y magnesio (2783.52, 615.84, 31.29 y 204.88 mg·100 g⁻¹ bs, respectivamente), evidenciando su potencial como recurso vegetal con valor nutricional en regiones áridas y semiáridas. En la evaluación de riesgo por elementos traza, únicamente el Co presentó un HQ > 1 bajo el escenario considerado, mientras que los demás elementos no representaron riesgo no carcinogénico (HQ < 1), sugiriendo un bajo riesgo bajo condiciones habituales de consumo.

Desde el punto de vista funcional, el tratamiento térmico disminuyó significativamente el contenido de compuestos fenólicos totales ≈70%, y la capacidad antioxidante (≈80%), observándose una correlación positiva fuerte entre los fenoles totales y la capacidad antioxidante (r = 0.96, para ambos casos). Estos resultados indican que el empleo de

condiciones térmicas moderadas favorece la conservación de los compuestos bioactivos, particularmente es recomendable un tiempo de cocción de 15 minutos a 45 °C, sin descartar el medio de cocción.

Estos hallazgos respaldan el potencial de las flores de mezquite como alimento funcional local y contribuyen a la revalorización de este recurso fitogenético clave para los ecosistemas áridos y semiáridos de México. Como línea de investigación futura, se propone la identificación y estabilidad de compuestos fenólicos que permanecen estables después del tratamiento térmico, así como su biodisponibilidad.

3.5 CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

3.6 REFERENCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005. Public Health Assessment Guidance Manual. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.

Allen, L.H. 2008. Causes of vitamin B12 and folate deficiency. Food and Nutrition Bulletin, 29:20-34. <https://doi.org/10.1177/15648265080292s105>

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C

Arias-Rico, J., Macías-León, F.J., Alanís-García, E., Cruz-Cansino, N.d.S., Jaramillo-Morales, O.A., Barrera-Gálvez, R., Ramírez-Moreno, E. (2020). *Study of Edible Plants: Effects of Boiling on Nutritional, Antioxidant, and Physicochemical Properties*. **Foods**, 9(5), 599. <https://doi.org/10.3390/foods9050599>

Aslam, M. A., Abbas, M. S., Mustaqeem, M., Ali, Z., Nadeem, S. y Ahmad, I. 2024. Comprehensive assessment of heavy metal contamination in soil–plant systems and health risks from wastewater-irrigated vegetables, Colloids and Surfaces C: Environmental Aspects. <https://doi.org/10.1016/j.colsuc.2024.100044>

Benzie, I. F. y Strain, J. J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. Analytical Biochemistry 239:70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Bernal-Ramírez, L. A., Zavala-Hurtado, J. A., Jiménez, M., Cano-Santana, Z. y Fornoni, J. 2019. Los microcosmos de *Prosopis laevigata* albergan una alta diversidad florística en el valle de Zapotitlán, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90: e902662. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2662>

Buendía-González, L., Orozco-Villafuerte, J., Cruz-Sosa, F., Barrera-Díaz, C.E. y Vernon-Carter, E.J. 2010. *Prosopis laevigata* a potential chromium (VI) and cadmium (II)

hyperaccumulator desert plant. *Bioresource Technology*, 101(15): 5862–5867. doi:10.1016/j.biortech.2010.03.027

Castañeda-Rodríguez, R., Amparo, Q., Hernando, I. y Ozuna, C. (2024). Cooking methods determine chemical composition and functional properties of squash blossoms: A study of microstructural and bioaccessibility changes. *Food Research International*. 180. doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114095

Daiuto, E. R., Vieites, R. L., Pigoli, D. R., & de Carvalho, L. R. (2015). Minerals stability in vegetables submitted to different cooking methods. *Nativa*, 3(2), 102–108. <https://eurekamag.com/research/070/571/070571670.php>

Di Rienzo, J. A. F., Casanoves, M. G., Balzarini, L. A. Gonzalez, E. M., Tablada y Robledo, C. W. 2020. InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Espejel-Sánchez, K.I., Espinosa-Solares, T., Reyes-Trejo, B., Hernández-Rodríguez, G., Cunill-Flores, J. M. y Guerra-Ramírez, D. 2021. Valor nutricional y degradación térmica de compuestos bioactivos en hongos comestibles silvestres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*. 27:337–354. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.078>

Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. O. A, Wangila, G. W. y Walker, R. B. 2010. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. *J Agric Food Chem*. 58(14): 8139-44. doi: 10.1021/jf10059355

Fabbri, A.D.T., Crosby, G.A., 2016. A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 3, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2015.11.001>

Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F. y García-Casas, M. A. 2012. Efecto del procesamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de pinole a base de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*). *CyTA, Revista de Alimentación*, 11 (2): 162–170. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.712057>

García-Azpeitia, L., Montalvo-González, E., y Loza-Cornejo, S. 2022. Nutritional and phytochemical characterization of leaves, flower and fruits of *Prosopis laevigata*. *Botanical Sciences*, 100(4): 1014-1024. <https://doi.org/10.17129/botsci.3000>

Gharibzahedi, S.M.T. y Jafari, S.M. 2017. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation, *Trends in Food Science & Technology*. doi: 10.1016/j.tifs.2017.02.017

Harland, B. F., y Harden-Williams, B. A. 1994. Is Vanadium of Human Nutritional Importance Yet? *Journal of the American Dietetic Association*, 94: 891-894. [https://doi.org/10.1016/0002-8223\(94\)92371-X](https://doi.org/10.1016/0002-8223(94)92371-X)

González-Cortazar, M., Salinas-Sánchez, D.O., Herrera-Ruiz, M., Hernández-Hernández, P., Zamilpa, A., Jiménez-Ferrer, E., Utrera-Hernández, B.E., Pérez-García, M.D., Gutiérrez-Roman, A.S. y Ble-González, E.A. 2025. Chemical profile analysis of *Prosopis laevigata* extracts and their topical anti-inflammatory and antibacterial activities. *Plants*, 14(7): 1118. <https://doi.org/10.3390/plants14071118>

- INEGI. 1992. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo.
- Jakobek, L. 2015. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*. 175:556-67. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.013.
- Juárez-Martín, A. I. 2020. Impacto antropométrico del cambio de dieta entre los otomíes del Valle del Mezquital. *Revista de Ciencias Sociales*. 30: 1-19.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z. y Zhu, Y.G. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China, *Environmental Pollution*, 152(3): 686–692. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J. y Vandenberg, A. 2019. Seed Protein of Lentils: Current Status, Progress, and Food Applications. *Foods*. 4:391. doi: 10.3390/foods8090391
- Komínková, D., Berchová-Bímová, K. y Součková, L. 2018. Influence of potassium concentration gradient on stable caesium (Cs) uptake by *Calla palustris*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165; 582-588. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.041>
- Kubola, J. y Siriamornpun, S. 2011. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril, and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry* 127:1138-1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- Moreno Alcántara, B., Garret Ríos, M. G. y Fierro Alonso, U. J. 2006. Otomíes del Valle del Mezquital. *Pueblos indígenas del México contemporáneo*. 52p. ISBN 970-753-052-9
- Lisciani, S., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Camilli, E., Gambelli, L., Marletta, L., & Marconi, S. (2025). Effects of Household Cooking on Mineral Composition and Retention in Widespread Italian Vegetables. *Nutrients*, 17(3), 423. <https://doi.org/10.3390/nu17030423>
- Murrieta-Dionicio, U., Calzada, F., Barbosa, E. 2024. Antiprotozoal Activity Against *Entamoeba histolytica* and *Giardia lamblia* of Cyclopeptides Isolated from *Annona diversifolia* Saff. *Molecules* 29:5636. <https://doi.org/10.3390/molecules29235636>
- Nava-Solis, U., Rodríguez-Canales, M., Hernández-Hernández, A.B., Velasco-Melgoza, D.A., Moreno-Guzmán, B.P., Rodríguez-Monroy, M.A. y Canales-Martínez, M.M. 2022. Antimicrobial activity of the methanolic leaf extract of *Prosopis laevigata*. *Scientific Reports*, 12: 20807. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25271-6>
- Ozda, T., Capanoglu, E., y Altay, F. 2013. A review on protein–phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*, 51: 954–970. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.009>
- Pascual-Bustamante, S., Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., Ramírez Pimentel, J. G., Vargas-Martínez, M. G., y Trejo-Márquez, M. A. 2024. Chemical and Protein Characterization of Two Varieties of Chickpea (*Cicer Arietinum*): Costa 2004 and El Patrón. *Plants*, 13(15): 2125. <https://doi.org/10.3390/plants13152125>
- Pérez-Ochoa, M. L., Vera-Guzmán, A. M., Mondragón-Chaparro, D. M., Sandoval-Torres, S., Carrillo-Rodríguez, J. C., Mayek-Pérez, N. y Chávez-Servia, J. L. 2023. Effects of annual growth conditions on phenolic compounds and antioxidant activity in the roots of *Eryngium montanum*, *Plants*, 12(18): 3192. <https://doi.org/10.3390/plants12183192>
- Pérez-Serrano, D., Cabirol, N., Martínez-Cervantes, C. y Rojas-Oropeza, M. 2021. Mesquite management in the Mezquital Valley: A sustainability assessment based on the

view point of the Hñähñú indigenous community. *Environmental and Sustainability Indicators*. 10(100-113). <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100113>

Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y.O., Aguirre-Mancilla, C.L., Reyes-Fuentes, M. y López-Palestina C.U. 2020. Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Wild Edible Flowers Consumed in Semiarid Regions of Mexico. *Plant Foods Hum Nutr.* 75(3):413-419. doi: 10.1007/s11130-020-00822-2.

Puppo, M. C. y Felker, P. 2021. *Prosopis* as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume. *Prospects for Economic Development in Arid Lands*. USA: Academic Press. ISBN: 9780128233207

Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., y Kim, K. H. 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125: 365-385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>

Ramírez-Moreno, E., Cruz-Cansino, N. d. S., Olguín-Hernández, Z., Baltazar-Téllez, R. M., Sánchez-Padilla, M. L., Palmeros-Exsome, C., Sandoval-Gallegos, E. M., y Arias-Rico, J. 2025. Effect of Thermal Treatment on the Retention of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, and Vitamin C of Edible Plants (Mallow Leaf and Garambullo Flower). *Applied Sciences*, 15(3): 1322. <https://doi.org/10.3390/app15031322>

Re, R. P., Proteggente, A., Pannala, A. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)

Rehder, D. 2013. *The role of vanadium in biology*. *Metallomics*. 5(7): 610–621.

Ríos-Reyes, A., Alanís-Flores, G. y Favela-Lara, S. 2017. Etnobotánica de los recursos vegetales, sus formas de uso y manejo, en Bustamante, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8 (44).

Rojas, S., Castillejos-Cruz, C. y Solano, E. 2013. Florística y relaciones fitogeográficas del matorral xerófilo en el Valle de Tecozautla, Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 91 (3): 273-294.

Rzedowski, J. y Calderón, G. 2009. Lista preliminar de árboles silvestres del estado de Guanajuato. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* 24: 1-14.

Sandoval-Gallegos, E. M., Arias-Rico, J., Cruz-Cansino, N. S., Ojeda-Ramírez, D., Zafra-Rojas, Q. Y., Hernández-Ávila, J. y Ramírez-Moreno E. 2021. Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical properties of edible plants (*Malva parviflora* and *Myrtillocactus geometrizans*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 33(6): 510-519. doi: 10.9755/ejfa.2021.v33.i6.2726

Ścibior, A., Pietrzyk, Ł., Plewa, Z. y Skiba, A. 2020. Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multi-applications with a summary of further research trends. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 61. doi:10.1016/j.jtemb.2020.126508.

- Shahidi, F., y Yeo, J. 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*, 21(9): 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Belén, L.H., et al., 2019. *Phytochemical constituents, biological activities and health-promoting effects of Prosopis species: A review*. *Phytotherapy Research* 33, 2926–2940. <https://doi.org/10.1002/ptr.6460>
- Singleton, V. L. y Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. <https://doi.org/10.1111/ajev.1965.16.3.144>
- Su, J., Geng, Y., Yao, J., Huang, Y., Ji, J., Chen, F., Hu, X. y Ma, L. 2022. Quinone-mediated non-enzymatic browning in model systems during long-term storage. *Food Chemistry*. 16, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100512>
- U.S. Environmental Protection Agency (1989) Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A). Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response (EPA/540/1-89/002).
- U.S. Environmental Protection Agency.1993. Reference Dose (RfD): Description and Use in Health Risk Assessments. Washington, DC: Risk Assessment Forum.
- U.S. Food & Drug Administration. 2024. Daily Value on the Nutrition and Supplement Facts Labels. <https://www.fda.gov/food/nutrition-facts-label/daily-value-nutrition-and-supplement-facts-labels>
- Venturi, S. 2021. Cesium in biology, pancreatic cancer, and controversy in high and low radiation exposure damage: scientific, environmental, geopolitical and economic aspects, *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph18178934>
- Weber, R. W. 2007. On the Cover. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 98 (4). DOI: 10.1016/s1081-1206(10)60874-5
- Zhang, Y. y Liu, H. 2022. Chemical and biological changes of polyphenols caused by food thermal processing. *Frontiers in Nutrition*, 9, 948894. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.948894>

CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Comparación de la composición proximal de las flores de *N. laevigata* crudas y con tratamiento térmico (90°C/ 15 min) con otras flores comestibles reportadas de zonas áridas y semiáridas de México.

Table 1. Comparison of the proximate composition of raw and thermally treated (90 °C/15 min) *N. laevigata* flowers with other edible flowers reported from arid and semi-arid regions of Mexico.

Composición proximal (%)	<i>Neltuma laevigata</i>₁	<i>N. laevigata</i> (15 min/90°C)₁	<i>Agave salmiana</i>₂	<i>Aloe vera</i>₂	<i>Erytrina americana</i>₂
Ceniza	5.25±0.06 ^a	5.34±0.04 ^a	5.65±0.09	8.07±0.12	8.97±0.14
Extracto etéreo	1.92±0.01 ^a	1.23±0.12 ^b	1.58±0.11	2.95±0.20	1.05±0.20
Proteína cruda	20.45±0.71 ^a	19.92±0.45 ^a	11.58±0.70	11.85±0.20	19.64±0.30
Fibra cruda	12.90±0.41 ^a	12.04±0.73 ^a	9.65±0.10	8.16±0.11	13.69±0.22
Carbohidratos	60.02 ± 0.23 ^a	60.94 ± 1.18 ^a	71.58±0.92	68.98±1.11	56.64±1.23

Valores expresados como media ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $\alpha = 0.05$).₁Datos de este estudio. ₂Datos obtenidos de Pinedo-Espinoza et al. (2020).

Cuadro 2. Comparación de la composición mineral de las flores de *N. laevigata* con otras flores comestibles reportadas de zonas áridas y semiáridas de México.

Table 2. Comparison of the mineral composition of *N. laevigata* flowers with other edible flowers reported from arid and semiarid regions of Mexico.

Composición mineral [mg 100 g ⁻¹]	<i>Neltuma laevigata</i> ¹	<i>Agave salmiana</i> ²	<i>Aloe vera</i> ²	<i>Erythrina americana</i> ²	VD (mg)
<i>Macroelementos</i>					
K	2783.52±52.89	1600±10	2160±20	2260±20	4700
P	615.84±9.85	320±10	220±10	320±10	1250
Mg	204.88±2.25	120±10	150±10	150±10	420
Ca	53.81±0.54	220±10	250±10	620±10	1300
Na	36.68±0.70				2300
<i>Microelementos</i>					
Fe	31.29±0.16	8.66±0.013	7.729±.021	6.45±.022	18
Zn	7.71±0.18				11
Mn	4.15±0.10				2.3
Se	2.38±0.01				0.55
Cu	0.32±0.01	0.65±.001	0.661±.001	1.32±0.009	0.9

Valores expresados como media ± desviación estándar. ¹ Datos de este estudio. ² Datos obtenidos de Pinedo-Espinoza et al. (2020). VD: Valor diario recomendado de ingesta establecido por la Food and Drug Administration (FDA, 2024). Los valores se expresan en mg 100 g⁻¹ de peso seco.

Cuadro 3. Concentración de elementos traza, ingesta diaria estimada (EDI) e índice de riesgo no carcinogénico (Hazard Quotient, HQ) en flores liofilizadas de *Neltuma laevigata* sin tratamiento térmico.

Table 3. Trace element concentrations, estimated daily intake (EDI), and non-carcinogenic risk assessment (Hazard Quotient, HQ) in freeze-dried flowers of *Neltuma laevigata* without thermal treatment.

Elemento	Rol biológico	Concentración (mg/kg bs)	EDI	RfD (mg/kg peso corp/día)	HQ estimado	Riesgo (HQ > 1)
Cs	No esencial	9.9	0.00165	ND	NC	NC
V	Esencial	5.4	0.0009	0.009	0.1	No apreciable
Co	Esencial	5.1	0.0008	0.0003	2.83	Alto
Cd	Tóxico	2.7	0.0004	0.001	0.45	No apreciable
Pb	Tóxico	2.3	0.0003	0.004	0.096	No apreciable

EDI: ingesta diaria estimada; RfD: dosis de referencia oral; HQ: índice de riesgo; bs: base seca. HQ = EDI/RfD, considerando una porción diaria de 10 g de flores liofilizadas y un peso corporal de 60 kg. Valores de HQ < 1 indican ausencia de riesgo no carcinogénico significativo, mientras que HQ > 1 sugieren posible riesgo. Los valores de RfD fueron obtenidos de la base de datos IRIS (U.S. EPA, 1989, 1993). ND: No disponible en IRIS, NC: No calculado.

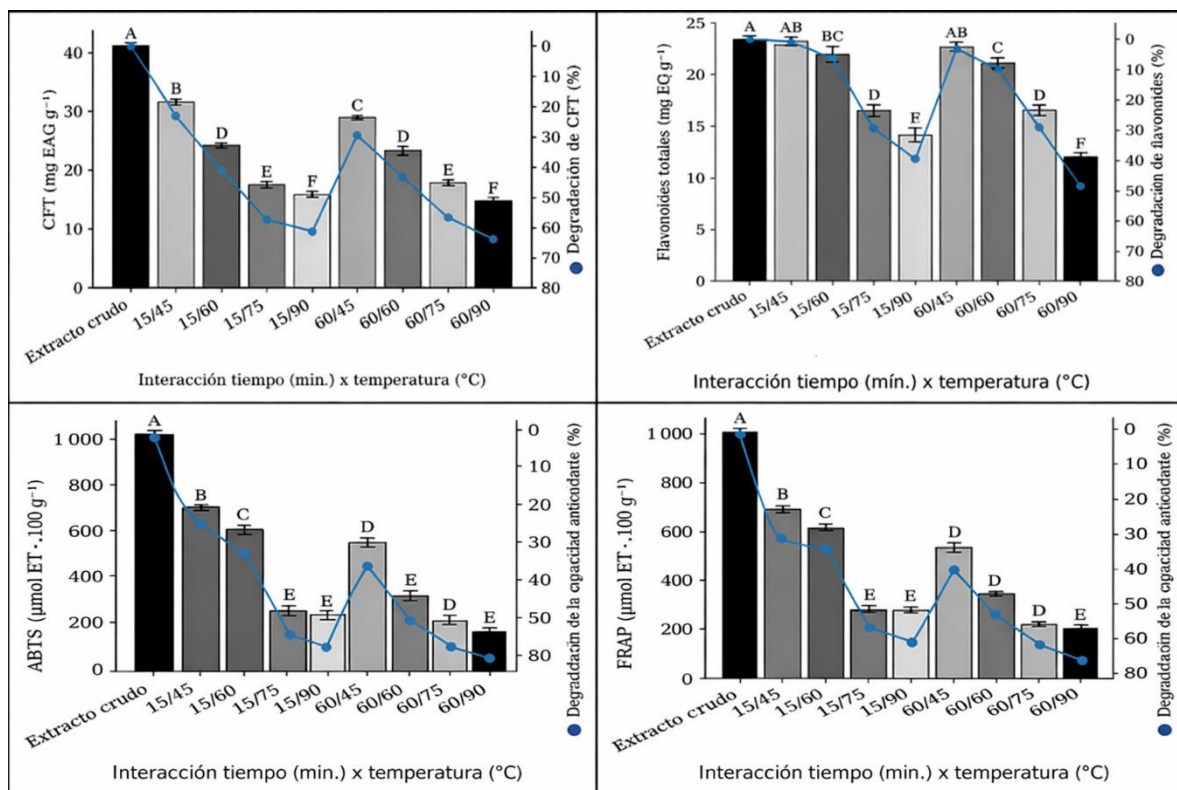


Figura 1. Efecto de la interacción tiempo (mín.) x temperatura (° C) sobre contenido fenólico total (CFT), flavonoides totales y capacidad antioxidante ABTS y FRAP, en flores de *Neltuma laevigata*. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Figure 1. Effect of the time (min) × temperature (°C) interaction on total phenolic compounds, total flavonoids, and antioxidant capacity determined by ABTS and FRAP assays in *Neltuma laevigata* flowers. Means with the same letters are not statistically different (Tukey, $p < 0.05$).

CAPÍTULO 4.

Propiedades nutricionales y estabilidad térmica de compuestos fenólicos en flores de *Echinocereus cinerascens*

Abigail Ortiz-Mendoza (ORCID: 0009-0007-9051-1347) ¹

Irma Salgado-Escobar (ORCID: 0000-0002-4612-3642) ²

Ma. Teresa Martínez-Damián (ORCID: 0000-0002-7204-2133) ¹

Diana Guerra-Ramírez (ORCID: 0000-0001-9840-975X) ^{3*}

María Teresa Beryl-Colinas y León (ORCID: 0000-0003-2617-5928) ¹

Jesús Axayácatl Cuevas-Sánchez (ORCID: 0000-0001-9983-3309) ^{1†}

¹Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

²Escuela de Ingeniería y Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, calle del Puente 222, Ejidos de Huipulco, Tlalpan, Ciudad de México, C. P. 14380, México.

³Laboratorio de Productos Naturales, Departamento de Preparatoria Agrícola, Área de Química, Universidad Autónoma Chapingo, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

*Autor de correspondencia: Diana Guerra-Ramírez, dguerrar@chapingo.mx

tel.: 552 719 7195.

†Autor finado.

Propiedades nutricionales y estabilidad térmica de compuestos fenólicos en flores de *Echinocereus cinerascens*⁴

RESUMEN

Las flores de *Echinocereus cinerascens* (cohúa, pitaya o biznaga) forman parte de la gastronomía tradicional del Valle del Mezquital, Hidalgo, donde se consumen después de ser sometidas a tratamiento térmico. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades nutricionales de las flores de *E. cinerascens* y la estabilidad de sus compuestos fenólicos ante diferentes condiciones térmicas. La composición proximal se determinó mediante métodos oficiales, mientras que el contenido mineral se cuantificó por ICP-MS. Para obtener el extracto metanólico, las flores se sometieron a maceraciones sucesivas con disolventes de diferente polaridad. Posteriormente, el extracto se expuso a 45, 60, 75 y 90 °C durante 15 y 30 min, y se cuantificaron compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante mediante los ensayos ABTS y FRAP. Los resultados mostraron que las flores de biznaga aportan 14.81 % de proteína y 15.08 % de cenizas, además de concentraciones destacadas de K, Mg, Fe, Zn y Mn (3695.30, 524.04, 27.12, 5.68 y 6.79 mg·100 g⁻¹, respectivamente). Después del tratamiento térmico, el extracto conservó entre 84.81 y 95.12 % de los compuestos fenólicos totales, mientras que la pérdida relativa de capacidad antioxidante fue de 36.7 a 48.6 % para ABTS y de 37.2 a 46.8 % para FRAP. La respuesta al calor no fue lineal, lo que sugiere procesos simultáneos de degradación, transformación o liberación de compuestos. En conclusión, las flores de biznaga constituyen un recurso comestible con valor nutrimental y potencial antioxidante, aunque el procesamiento térmico modifica la estabilidad de sus compuestos bioactivos.

Palabras clave: capacidad antioxidante, extracto metanólico, Valle del Mezquital.

⁴ Sometido a: Revista Chapingo Serie Horticultura
Estado: enviado

4.1 INTRODUCCIÓN

Las cactáceas (Cactaceae) constituyen un componente importante de la vegetación en zonas áridas y semiáridas de México, donde cumplen funciones ecológicas y forman parte del aprovechamiento tradicional de diversas comunidades rurales. Entre ellas, *Echinocereus cinerascens* (DC.) Lem. es una especie nativa del centro de México, presente en el estado de Hidalgo y asociada con comunidades vegetales del Valle del Mezquital, donde coexiste con especies características del matorral xerófilo (Del Valle-Martínez et al., 2023).

El Valle del Mezquital se caracteriza por condiciones de baja precipitación, alta radiación solar y suelos pedregosos, factores que han favorecido la presencia de especies adaptadas a ambientes semiáridos. En este contexto, *E. cinerascens* no sólo tiene importancia ecológica, sino también valor biocultural, ya que forma parte del conocimiento tradicional de comunidades locales. Desde una perspectiva etnobotánica, Munguía-Vázquez et al. (2018) documentaron el uso de diversas cactáceas en la comunidad otomí de El Alberto, Ixmiquilpan, Hidalgo, incluyendo *E. cinerascens*. Para esta especie, los autores reportaron usos alimentarios en la preparación de salsas y bebidas, así como aplicaciones medicinales populares para disminuir la fiebre.

En años recientes, las flores comestibles han recibido atención científica debido a su contenido de compuestos fenólicos, pigmentos y otros metabolitos secundarios asociados con actividad antioxidante y posible valor funcional. Navarro-González et al. (2015) documentaron que flores comestibles como *Tropaeolum majus*, *Tagetes erecta* y *Spilanthes oleracea* presentan compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que respalda su evaluación como ingredientes con potencial funcional. Asimismo, Mulík y Ozuna (2020) señalaron que las flores comestibles mexicanas, incluidas algunas cactáceas, poseen relevancia cultural, suelen consumirse cocidas y pueden aportar proteína, minerales y compuestos bioactivos.

De manera específica, Ammar et al. (2015) demostraron que las flores de *Opuntia ficus-indica* contienen polifenoles y flavonoides con actividad antioxidante, aunque su concentración depende del solvente y del método de extracción. En México, Pensamiento-

Niño et al. (2021) evaluaron flores de cactáceas de Hidalgo, incluyendo *E. cinerascens*, y reportaron su composición nutricional, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS, así como la identificación de metabolitos secundarios por HPLC/ESI/MS, entre ellos derivados de quercetina, isoramnetina, ácido protocatecuico y apigenina. En dicho estudio, *E. cinerascens* presentó la mayor capacidad antioxidante entre las especies evaluadas, lo que refuerza el interés por profundizar en su caracterización nutrimental y bioactiva.

Más recientemente, Pensamiento-Niño et al. (2025) reportaron que extractos hidroetanólicos de flores de cactáceas mexicanas contienen ácidos fenólicos y flavonoides, además de presentar actividad antiinflamatoria *in vivo*. Estos antecedentes muestran que las flores de cactáceas pueden representar recursos alimentarios con potencial nutraceutico. Sin embargo, aún es limitada la información sobre la composición mineral de *E. cinerascens* y sobre la estabilidad de sus compuestos fenólicos después del tratamiento térmico, aspecto relevante porque estas flores suelen consumirse cocidas en preparaciones tradicionales.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la composición proximal y mineral de flores de *Echinocereus cinerascens*, así como determinar el efecto de diferentes condiciones de tratamiento térmico sobre la estabilidad de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de su extracto metanólico. Se planteó la hipótesis de que las flores de *E. cinerascens* presentan valor nutrimental relevante y que el tratamiento térmico modifica, sin eliminar completamente, su capacidad antioxidante.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las flores de *Echinocereus cinerascens* fueron recolectadas en Actopan, Hidalgo, México, en la región del Valle del Mezquital, a 2,066 m s. n. m. (20°18'06.534" N, 98°54'31.158" O), durante abril de 2025. Un ejemplar fue identificado taxonómicamente y depositado en el Herbario-Hortorio "JES" de la Universidad Autónoma Chapingo, con número de registro 36167.

Análisis nutrimental

Para determinar las propiedades nutricionales de *E. cinerascens*, se realizaron análisis de composición proximal y contenido mineral. Las flores previamente liofilizadas y molidas se analizaron mediante métodos oficiales de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) para la cuantificación de proteína cruda (método 960.52), extracto etéreo (920.39), cenizas (900.02) y fibra cruda (985.29). El contenido de carbohidratos totales se estimó por diferencia en cada repetición.

Para cuantificar el contenido mineral, se siguió el método descrito por Al-Hakkani (2019). Una muestra de flores molidas (0.2 g) se colocó en un mortero de ágata y se mezcló con una solución de 10 ng·mL⁻¹ de escandio (Sc), indio (In), iridio (Ir) y bismuto (Bi) (High Purity Standards, EUA) como patrones internos. Posteriormente, las muestras se sometieron a digestión ácida con HNO₃ concentrado y H₂O₂ hasta lograr la mineralización completa. El análisis elemental se realizó en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS; Thermo Scientific iCAP™ RQ, Waltham, Massachusetts, EUA). El procesamiento y la cuantificación de los datos se efectuaron con el software Thermo Scientific™ Qtegra™.

Obtención de extractos de diferente polaridad

Las flores fueron congeladas con nitrógeno líquido y posteriormente liofilizadas a -53 °C y 0.046 mbar de presión (Labconco®, Kansas City, Missouri, EUA). El material liofilizado se molió y tamizó hasta obtener un tamaño de partícula de 0.5 mm. Posteriormente, se sometió a maceración en una relación 1:10 material vegetal/disolvente, primero con hexano y sucesivamente con cloruro de metileno y metanol, de acuerdo con Murrieta-Dionicio et al. (2024). Los disolventes fueron eliminados mediante evaporación al vacío (Büchi, Flawil, Suiza) para obtener los extractos correspondientes.

Tratamiento térmico del extracto metanólico

La metodología se adaptó de Espejel-Sánchez et al. (2021). Una muestra de 0.5 g de extracto metanólico se disolvió en metanol y se aforó a un volumen final de 25 mL.

Posteriormente, se tomaron alícuotas de 0.5 mL, las cuales se mezclaron con 4.5 mL de agua destilada. Las mezclas resultantes se sometieron a tratamientos térmicos por triplicado, considerando dos tiempos de exposición (15 y 30 min) y cuatro temperaturas (45, 60, 75 y 90 °C), con agitación constante a 500 rpm en un ThermoMixer® C (Eppendorf, Alemania). Después del tratamiento térmico, a cada muestra se le adicionaron 4 mL de metanol; posteriormente, se agitó en vórtex durante 3 min y se centrifugó a 3,000 rpm durante 15 min. Finalmente, el sobrenadante se aforó a 10 mL con metanol al 50 %. A partir de estos extractos se determinaron las propiedades antioxidantes.

Propiedades antioxidantes de los extractos metanólicos sometidos a tratamientos térmicos

Las propiedades antioxidantes se determinaron en las mezclas sometidas a tratamiento térmico y en una muestra control, denominada extracto crudo. El contenido fenólico total se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965); los flavonoides totales se cuantificaron de acuerdo con Kubola y Siriamornpun (2011); y la capacidad antioxidante se evaluó mediante los ensayos ABTS y FRAP, descritos por Re et al. (1999) y Benzie y Strain (1996), respectivamente.

Para el contenido fenólico total, se construyó una curva de calibración de ácido gálico en un intervalo de concentración de 0.06275 a 0.43725 mg·mL⁻¹, y las absorbancias se midieron a 760 nm. Para flavonoides totales, se utilizó una curva de calibración de quercetina en un intervalo de 0.01725 a 0.35175 mg·mL⁻¹, con lectura de absorbancia a 415 nm. Finalmente, para los ensayos ABTS y FRAP se utilizó Trolox como antioxidante de referencia, en un intervalo de concentración de 0.10075 a 1.38975 μmol·L⁻¹; las absorbancias se midieron a 734 y 595 nm, respectivamente.

Las absorbancias se registraron en un lector de microplacas Synergy™ HTX (BioTek Instruments, Inc., EUA). Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto metanólico (mg EAG·g⁻¹) para compuestos fenólicos totales, miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto metanólico (mg EQ·g⁻¹) para flavonoides totales y micromoles equivalentes de Trolox por gramo de extracto metanólico (μmol ET·g⁻¹) para capacidad antioxidante.

Análisis estadístico

Los resultados correspondientes al contenido fenólico total, flavonoides totales y capacidad antioxidante se analizaron mediante análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×4 . El factor A correspondió al tiempo de tratamiento térmico, con dos niveles: 15 y 30 min; y el factor B correspondió a la temperatura, con cuatro niveles: 45, 60, 75 y 90 °C. El análisis se centró en la interacción entre ambos factores, con el fin de evaluar el efecto combinado del tiempo y la temperatura sobre las variables de respuesta.

Todos los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones. Las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron mediante la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la asociación entre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat/L (Di Rienzo et al., 2020).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximal

Los resultados de la composición proximal de las flores de *Echinocereus cinerascens* se presentan en el Cuadro 1. La fracción mayoritaria correspondió a los carbohidratos, calculados por diferencia, mientras que el contenido de extracto etéreo fue bajo, tendencia que coincide con lo descrito para otras flores comestibles de cactáceas (Pensamiento-Niño et al., 2021).

Cuadro 1. Composición proximal de flores de *Echinocereus cinerascens* y comparación con otras flores de cactáceas reportadas por Pensamiento-Niño et al. (2021).

Componente (% BS)	Biznaga (<i>Echinocereus cinerascens</i>)¹	Cardón (<i>Cylindropuntia rosea</i>)²	Xoconostle var. Ulapa (<i>Opuntia oligacantha</i>)²	Xoconostle var. Cuaresmeño rosado (<i>Opuntia matudae</i>)²
Proteína	14.81 ± 0.07	10.93 ± 0.10	10.50 ± 0.15	9.52 ± 0.34
Extracto etéreo	0.90 ± 1.16	1.96 ± 0.15	2.94 ± 0.25	2.30 ± 0.19
Carbohidratos	60.04 ± 1.17	67.44 ± 0.45	57.31 ± 0.86	61.20 ± 0.63
Fibra cruda	9.18 ± 0.12	8.47 ± 0.14	11.52 ± 0.46	10.29 ± 0.40
Ceniza	15.08 ± 0.08	11.21 ± 0.04	17.73 ± 0.10	16.68 ± 0.04

BS = base seca. ¹Datos obtenidos en el presente estudio. ²Datos tomados de Pensamiento-Niño et al. (2021). Los valores del presente estudio representan la media ± desviación estándar (n = 3).

El contenido de proteína de las flores de *E. cinerascens* fue superior al reportado por Pensamiento-Niño et al. (2021) para otras flores de cactáceas, lo que sugiere que la biznaga puede considerarse un recurso comestible con aporte proteico relevante dentro de este grupo vegetal. Los carbohidratos constituyeron la fracción mayoritaria, con un valor superior al reportado para xoconostle var. Ulapa, pero menor que los valores observados en cardón y xoconostle var. Cuaresmeño rosado. Esta tendencia coincide con lo descrito para otras flores de cactáceas, en las cuales los carbohidratos representan uno de los componentes principales de la fracción proximal.

El contenido de cenizas de *E. cinerascens* sugiere una fracción mineral considerable. Este valor fue mayor que el reportado para cardón, pero menor que los observados en xoconostle var. Ulapa y xoconostle var. Cuaresmeño rosado, lo que evidencia una contribución importante de componentes inorgánicos en las flores analizadas. En conjunto, estas características respaldan el potencial de las flores de *E. cinerascens* como

recurso vegetal comestible de interés nutricional, particularmente por su aporte proteico, bajo contenido graso y fracción mineral apreciable.

Análisis mineral

Para el análisis mineral se consideraron únicamente flores crudas liofilizadas de biznaga, debido a que los minerales son elementos inorgánicos que no sufren degradación estructural bajo las temperaturas de cocción empleadas convencionalmente. Las variaciones observadas en el contenido mineral de vegetales sometidos a tratamiento térmico se atribuyen principalmente a procesos de lixiviación hacia el medio acuoso cuando éste se descarta, más que a una degradación química del elemento en sí (Daiuto et al., 2015; Fabbri & Crosby, 2016; Lisciani et al., 2025). Por esta razón, y considerando que en las formas tradicionales de preparación de estas flores el medio de cocción puede consumirse junto con el alimento, el análisis mineral se centró en la muestra cruda como referencia de su composición elemental.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del análisis mineral de *E. cinerascens*, en comparación con los valores reportados por Pinedo-Espinoza et al. (2020) para flores comestibles de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), otra cactácea consumida en regiones semiáridas de México. Asimismo, se incluye el valor diario (VD) recomendado por la FDA (U.S. Food and Drug Administration, 2024), con el propósito de dimensionar el posible aporte nutricional de estos minerales.

Cuadro 2. Composición mineral de flores de *Echinocereus cinerascens* y su comparación con *Myrtillocactus geometrizans* y valores diarios de referencia.

Composición mineral (mg·100 g⁻¹)	<i>Echinocereus cinerascens</i>¹	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>²	VD (mg)
Macroelementos			
K	3695.30 ± 129.34	2900.00 ± 10.00	4700
P	406.21 ± 9.75	260.00 ± 10.00	1250
Mg	524.04 ± 18.87	180.00 ± 10.00	420
Ca	48.66 ± 1.27	210.00 ± 10.00	1300
Na	16.30 ± 0.44	NR	2300
Microelementos			
Fe	27.12 ± 0.73	6.58 ± 0.02	18
Zn	5.68 ± 0.12	3.77 ± 0.02	11
Mn	6.79 ± 0.20	4.09 ± 0.03	2.3

Valores expresados como media ± desviación estándar. ¹Datos obtenidos en el presente estudio. ²Datos tomados de Pinedo-Espinoza et al. (2020). VD = valor diario recomendado de ingesta establecido por la FDA (U.S. Food and Drug Administration, 2024). NR = no reportado. Los valores se expresan en mg·100 g⁻¹ de peso seco.

En términos de concentración absoluta, los macroelementos predominantes en las flores crudas liofilizadas de *E. cinerascens* fueron K > Mg > P > Ca > Na. El potasio fue el mineral más abundante y representó aproximadamente 78.6 % del VD recomendado, lo que sugiere que la flor de biznaga podría contribuir de manera relevante al aporte de este elemento. El Mg representó aproximadamente 124.8 % del VD, por lo que fue el macroelemento con mayor aporte relativo respecto al requerimiento diario. Por su parte, el P aportó cerca de 32.5 % del VD. El contenido de Ca fue bajo en comparación con los demás macroelementos, mientras que el Na se presentó en concentraciones reducidas, con menos de 1 % del VD recomendado. Este bajo contenido de sodio puede considerarse

favorable desde el punto de vista nutricional, particularmente para dietas que requieren restricción de este mineral.

Respecto a los microelementos, el orden de concentración fue $Fe > Mn > Zn$. El contenido de Fe representó aproximadamente 150.7 % del VD, lo que indica que las flores de *E. cinerascens* podrían constituir una fuente importante de este mineral. El Mn mostró también un aporte elevado, equivalente a aproximadamente 295.2 % del VD, mientras que el Zn aportó cerca de 51.6 %. Estos minerales cumplen funciones relevantes en el metabolismo humano, incluyendo actividad enzimática, transporte de oxígeno, respuesta inmune, defensa antioxidante y mantenimiento estructural de tejidos (Gharibzahedi & Jafari, 2017). No obstante, estos aportes deben interpretarse con cautela, ya que fueron calculados con base en 100 g de muestra seca y no consideran el tamaño real de porción ni la biodisponibilidad de los minerales en la matriz vegetal.

En comparación con *M. geometrizzans*, las flores de *E. cinerascens* presentaron mayores contenidos de K, P, Mg, Fe, Zn y Mn. En cambio, el Ca fue mayor en *M. geometrizzans* que en *E. cinerascens*. Esta comparación resulta pertinente debido a que ambas especies pertenecen a la familia Cactaceae y forman parte de recursos vegetales comestibles asociados con regiones semiáridas de México. Sin embargo, las diferencias observadas pueden estar relacionadas con la especie, el estado de desarrollo floral, las condiciones edáficas, el sitio de colecta y la metodología analítica empleada.

Como referencia secundaria, Ammar et al. (2015) reportaron la composición mineral de flores de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia stricta* cultivadas en Túnez. Aunque dicho estudio corresponde a un contexto geográfico distinto, sus resultados muestran que las flores de cactáceas pueden presentar perfiles minerales contrastantes entre especies. En ese sentido, mientras algunas flores de *Opuntia* destacan por su mayor contenido de Ca, las flores de *E. cinerascens* sobresalen por sus concentraciones de K, Mg, Fe, Zn y Mn.

En conjunto, estos resultados indican que las flores de *E. cinerascens* constituyen un recurso alimentario con potencial como complemento nutricional, especialmente por su contenido de K, Mg, Fe, Zn y Mn. Además, su bajo contenido de Na podría representar una característica favorable en términos dietéticos. No obstante, se recomienda

complementar estos resultados con estudios posteriores sobre biodisponibilidad mineral, posibles factores antinutricionales y tamaño real de porción consumida.

Compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante

Los valores obtenidos en el extracto crudo de flores de *Echinocereus cinerascens* fueron superiores a los reportados previamente para la misma especie por Pensamiento-Niño et al. (2021). En dicho estudio, las flores de biznaga presentaron 44.63 ± 0.50 mg EAG·g⁻¹ BS de fenoles totales y 40.61 ± 0.64 mg EQ·g⁻¹ BS de flavonoides totales, mientras que en el presente trabajo el extracto crudo alcanzó 193.96 ± 0.91 mg EAG·g⁻¹ y 135.02 ± 16.08 mg EQ·g⁻¹, respectivamente. Esta diferencia puede atribuirse principalmente a que en el presente estudio se evaluó el extracto crudo, donde los compuestos fenólicos y flavonoides se encuentran concentrados, mientras que Pensamiento-Niño et al. (2021) reportaron los resultados sobre la matriz floral en base seca.

En capacidad antioxidante también se observó una tendencia similar. Pensamiento-Niño et al. (2021) reportaron para *E. cinerascens* valores de 392.65 ± 3.54 μmol ET·g⁻¹ BS por ABTS y 255.08 ± 0.49 μmol ET·g⁻¹ BS por DPPH, mientras que el extracto crudo analizado en este estudio presentó valores superiores de capacidad antioxidante, como se muestra en la Figura 1. La elevada actividad antioxidante observada puede relacionarse con la alta concentración de fenoles y flavonoides en el extracto crudo. Estos resultados coinciden con lo señalado por Pensamiento-Niño et al. (2021), quienes identificaron a *E. cinerascens* como una especie con alto contenido de fenoles, flavonoides, ácido ascórbico y capacidad antioxidante entre las cactáceas evaluadas.

Asimismo, Pensamiento-Niño et al. (2025) reportaron en extractos hidroalcohólicos de esta especie la presencia de ácidos fenólicos y flavonoides específicos, entre ellos ácido protocatecuico, ácido gálico, ácido *p*-cumárico, catequina y quercetina, compuestos que podrían contribuir a la actividad antioxidante observada en este tipo de flores comestibles. Los resultados del presente estudio muestran que el extracto metanólico de *E. cinerascens* concentra niveles elevados de compuestos bioactivos, lo que fortalece la hipótesis sobre el potencial funcional de las flores de esta especie. Además, la identificación previa de compuestos fenólicos individuales en *E. cinerascens* respalda que la actividad

antioxidante observada podría estar asociada con la composición específica de su perfil fenólico.

Tratamiento térmico

El contenido fenólico total (CFT) mostró una disminución general después del tratamiento térmico en comparación con el extracto crudo (Figura 1). Los tratamientos conservaron entre 84.81 y 95.12 % del CFT inicial, lo que indica que una fracción importante de los compuestos fenólicos permaneció después del calentamiento. La disminución es consistente con lo reportado para compuestos fenólicos sometidos a procesamiento térmico, donde pueden ocurrir procesos de oxidación, degradación, polimerización o transformación estructural, dependiendo de la matriz, la temperatura, el tiempo de exposición y el medio de tratamiento (Murador et al., 2018; Ifie & Marshall, 2018). En los tratamientos donde se observaron diferencias significativas, la respuesta del CFT evidenció un comportamiento dependiente de la interacción tiempo $\times$ temperatura. En el bloque de 15 min, la concentración de CFT disminuyó de 45 a 75 °C; sin embargo, a 90 °C se observó una recuperación parcial, alcanzando 95.12 % del valor del extracto crudo. Este comportamiento podría relacionarse con una mayor disponibilidad de compuestos fenólicos o con la formación de compuestos reductores capaces de reaccionar con el reactivo de Folin-Ciocalteu. En el bloque de 30 min se observó una respuesta similar, aunque con mayor reducción con respecto al extracto crudo, el tratamiento térmico sobre el CFT no fue lineal y dependió de la combinación específica de tiempo y temperatura.

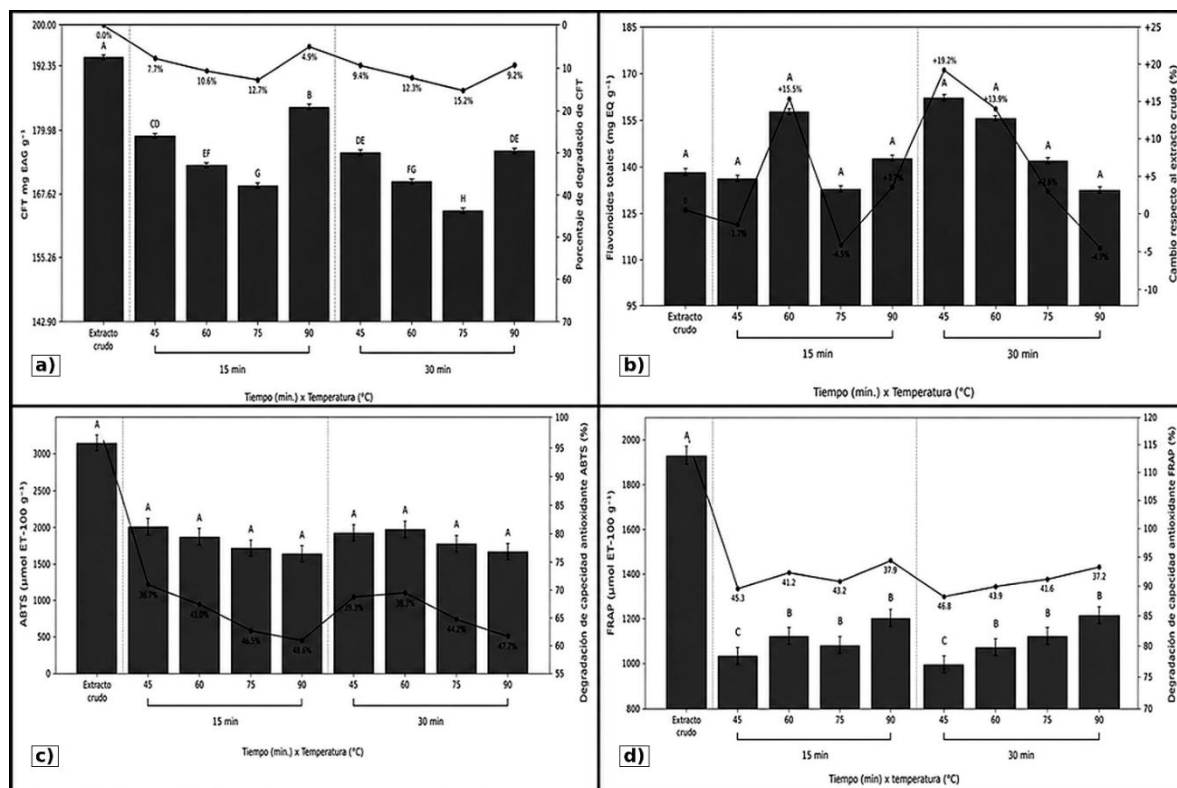


Figura 1. Efecto de la interacción tiempo × temperatura sobre la concentración de (a) compuestos fenólicos totales (b) flavonoides totales y capacidad antioxidante determinada por ABTS (c) y FRAP (d). Los datos son la media de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).

La mayor concentración observada a 90 °C puede explicarse considerando que el método de Folin-Ciocalteu se basa en una reacción redox y estima la capacidad reductora total asociada con compuestos fenólicos y otros compuestos reductores (Everette et al., 2010; Pérez et al., 2023). Por ello, algunos productos generados durante el calentamiento podrían contribuir a la respuesta colorimétrica del método. Este comportamiento también se ha reportado en otras matrices vegetales. Hassan et al. (2021) observaron que el hervido y el tostado incrementaron significativamente el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante en cáscaras de cacahuete, efecto que atribuyeron a la liberación de compuestos fenólicos ligados, al daño estructural inducido por calor y a la formación de compuestos extraíbles durante el procesamiento. De manera similar, Shaimaa et al. (2016) observaron que el tratamiento por ebullición incrementó el

contenido de fenoles y flavonoides totales en extractos etanólicos y acuosos de pimientos, posiblemente por una mayor disponibilidad de compuestos bioactivos favorecida por el calentamiento.

Con respecto al contenido de flavonoides totales, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, bajo las condiciones evaluadas, los flavonoides totales se mantuvieron relativamente estables frente a las combinaciones de tiempo y temperatura aplicadas.

La capacidad antioxidante determinada mediante ABTS disminuyó en todos los tratamientos térmicos respecto al extracto crudo, con porcentajes de reducción entre 36.7 y 48.6 % (Figura 1). No obstante, de acuerdo con la comparación de medias de Tukey, no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos térmicos. Por lo tanto, la reducción observada debe interpretarse principalmente como una disminución general frente al extracto crudo, y no como una diferencia atribuible de manera específica a una combinación particular de tiempo y temperatura. Esta disminución puede estar relacionada con la transformación o pérdida parcial de compuestos fenólicos capaces de reaccionar frente al radical $ABTS^{\bullet+}$. En flores de garambullo, Ramírez-Moreno et al. (2025) reportaron una capacidad antioxidante por ABTS de $2344.66 \mu\text{mol ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ en base seca y señalaron que dicha actividad se relacionó con el contenido de polifenoles. Asimismo, Navarro-González et al. (2015) observaron que distintas flores comestibles presentan amplia variabilidad en compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que confirma que la magnitud de esta respuesta depende de la especie, la matriz vegetal y el perfil de metabolitos presentes.

La capacidad antioxidante determinada por FRAP también disminuyó en todos los tratamientos respecto al extracto crudo, con porcentajes de reducción entre 37.2 y 46.8 %. El ensayo FRAP estima la capacidad de una muestra para reducir el complejo férrico Fe^{3+} -TPTZ a su forma ferrosa Fe^{2+} -TPTZ bajo condiciones ácidas; por ello, sus valores reflejan principalmente el poder reductor de los compuestos antioxidantes presentes en el extracto (Benzie & Strain, 1996). En este caso, la respuesta tampoco siguió un patrón lineal respecto al incremento de temperatura, ya que las mayores temperaturas no

necesariamente correspondieron con la mayor pérdida relativa. Este comportamiento sugiere que el calentamiento pudo provocar simultáneamente degradación de algunos compuestos reductores y formación o mayor disponibilidad de otros compuestos capaces de responder al método FRAP.

Las diferencias entre ABTS y FRAP son esperables, debido a que ambos ensayos responden a mecanismos químicos distintos. Mientras ABTS evalúa la capacidad de neutralización del radical ABTS•+, FRAP estima el poder reductor férrico del extracto (Re et al., 1999; Benzie & Strain, 1996). Por ello, los cambios inducidos por el tratamiento térmico pudieron afectar de manera diferencial los compuestos responsables de cada respuesta antioxidante. En este sentido, el procesamiento térmico puede aumentar o disminuir la actividad antioxidante dependiendo de la matriz vegetal, el tipo de compuesto y el ensayo empleado (Nayak et al., 2015; Ifie & Marshall, 2018).

Por último, el análisis de correlación de Pearson, considerando el extracto crudo junto con los tratamientos térmicos, mostró una asociación positiva entre el CFT y la capacidad antioxidante determinada por ABTS ($r = 0.698$, $p < 0.05$) y FRAP ($r = 0.770$, $p < 0.05$). Asimismo, ABTS y FRAP presentaron una correlación positiva alta ($r = 0.883$, $p < 0.05$). Estos resultados sugieren que, de manera general, los compuestos fenólicos contribuyeron a la capacidad antioxidante del extracto metanólico de *E. cinerascens*. Esta asociación ha sido reportada en distintas matrices vegetales, incluidas flores comestibles, donde la concentración y el perfil de compuestos fenólicos se ha relacionado con la capacidad antioxidante determinada por métodos espectrofotométricos (Navarro-González et al., 2015; Ramírez-Moreno et al., 2025).

4.4 CONCLUSIONES

Las flores de biznaga aportaron 14.81 % de proteína y concentraciones destacadas de K, Mg, Fe, Zn y Mn (3695.30, 524.04, 27.12, 5.68 y 6.79 mg·100 g⁻¹, respectivamente). Además, el extracto crudo de *Echinocereus cinerascens* presentó alta concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, así como capacidad antioxidante por ABTS y FRAP. El tratamiento térmico modificó la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del extracto metanólico. Aunque el CFT conservó una proporción importante

del contenido inicial, ABTS y FRAP disminuyeron respecto al extracto crudo. En general, los resultados sugieren que el procesamiento térmico debe considerarse un factor relevante en el aprovechamiento alimentario de las flores de *E. cinerascens*, particularmente porque en las comunidades donde se consume esta especie una de las formas tradicionales de preparación consiste en añadir las flores a agua hirviendo durante aproximadamente 15 min.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

- Al-Hakkani, M. F. (2019). Guideline of inductively coupled plasma mass spectrometry “ICP-MS”: Fundamentals, practices, determination of the limits, quality control, and method validation parameters. *SN Applied Sciences*, 1, 791. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0825-5>
- Ammar, I., Ennouri, M., & Attia, H. (2015). Phenolic content and antioxidant activity of cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) flowers are modified according to the extraction method. *Industrial Crops and Products*, 64, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.030>
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Daiuto, E. R., Vieites, R. L., Pigoli, D. R., & Carvalho, L. R. de. (2015). Minerals stability in vegetables submitted to different cooking methods. *Nativa*, 3(2), 102–108. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n02a05>

- Del Valle-Martínez, A. K., Alvarado-Cárdenas, L. O., Cabirol, N., Rojas-Oropeza, M., González-Ramírez, I. S., & Islas-Hernández, S. (2023). Inventario florístico de “El Alberto”, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Phytoneuron*, 2023(38), 1–18.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat*. Centro de Transferencia InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Espejel-Sánchez, K. I., Espinosa-Solares, T., Reyes-Trejo, B., Hernández-Rodríguez, G., Cunill-Flores, J. M., & Guerra-Ramírez, D. (2021). Valor nutricional y degradación térmica de compuestos bioactivos en hongos comestibles silvestres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27, 337–354. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.078>
- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W., & Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), 8139–8144. <https://doi.org/10.1021/jf1005935>
- Fabbri, A. D. T., & Crosby, G. A. (2016). A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2015.11.001>
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Hassan, A. B., Al Maiman, S. A., Alshammari, G. M., Mohammed, M. A., Alhuthayli, H. F., Ahmed, I. A. M., Alfawaz, M. A., Yagoub, A. E. A., Fickak, A., & Osman, M. A. (2021). Effects of boiling and roasting treatments on the content of total

- phenolics and flavonoids and the antioxidant activity of peanut (*Arachis hypogaea* L.) pod shells. *Processes*, 9(9), 1542. <https://doi.org/10.3390/pr9091542>
- Ifie, I., & Marshall, L. J. (2018). Food processing and its impact on phenolic constituents in food. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1507782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1507782>
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril, and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127, 1138–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- Lisciani, S., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Camilli, E., Gambelli, L., Marletta, L., & Marconi, S. (2025). Effects of household cooking on mineral composition and retention in widespread Italian vegetables. *Nutrients*, 17(3), 423. <https://doi.org/10.3390/nu17030423>
- Mulík, S., & Ozuna, C. (2020). Mexican edible flowers: Cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100235>
- Munguía-Vázquez, Á., Cárdenas-Camargo, I., & Rangel-Villafranco, M. (2018). Uso y conocimiento de cactáceas en la comunidad otomí de El Alberto, en Ixmiquilpan, Hidalgo, México. *Ambiente y Desarrollo*, 22(43), 1–13. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.uccc>
- Murador, D. C., Braga, A. R. C., da Cunha, D. T., & de Rosso, V. V. (2018). Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects: A meta-analytic investigation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(2), 169–177. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1140121>
- Murrieta-Dionicio, U., Calzada, F., & Barbosa, E. (2024). Antiprotozoal activity against *Entamoeba histolytica* and *Giardia lamblia* of cyclopeptides isolated from *Annona*

diversifolia Saff. *Molecules*, 29, 5636.
<https://doi.org/10.3390/molecules29235636>

Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A. B., & Periago, M. J. (2015). Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: Characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(1), 805–822.
<https://doi.org/10.3390/ijms16010805>

Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 887–918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>

Pensamiento-Niño, C. A., Campos-Montiel, R. G., Añorve-Morga, J., Ramírez-Moreno, E., Ascacio-Valdés, J. A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2021). Nutritional characterization of the functional and antioxidant activity of cactus flowers from Hidalgo, Mexico. *Applied Sciences*, 11(13), 5965.
<https://doi.org/10.3390/app11135965>

Pensamiento-Niño, C. A., Hernández-Fuentes, A. D., Añorve-Morga, J., Duarte-Sierra, A., Ramírez-Moreno, E., Sosa-Gutiérrez, C. G., & Ojeda-Ramírez, D. (2025). *In vivo* anti-inflammatory activity of four edible Cactaceae flowers from Mexico. *Metabolites*, 15(10), 665. <https://doi.org/10.3390/metabo15100665>

Pérez, M., Domínguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (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.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>

Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2020). Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wild edible flowers

consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 413–419. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>

Ramírez-Moreno, E., Cruz-Cansino, N. S., Olguín-Hernández, Z., Baltazar-Téllez, R. M., Sánchez-Padilla, M. L., Palmeros-Exsome, C., Sandoval-Gallegos, E. M., & Arias-Rico, J. (2025). Effect of thermal treatment on the retention of phenolic compounds, antioxidant activity, and vitamin C of edible plants, mallow leaf and garambullo flower. *Applied Sciences*, 15(3), 1322. <https://doi.org/10.3390/app15031322>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

Shaimaa, G. A., Mahmoud, M. S., Mohamed, M. R., & Emam, A. A. (2016). Effect of heat treatment on phenolic and flavonoid compounds and antioxidant activities of some Egyptian sweet and chilli pepper. *Natural Products Chemistry & Research*, 4, 218. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000218>

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

U.S. Food and Drug Administration. (2024). *Daily value on the nutrition and supplement facts labels*. <https://www.fda.gov/food/nutrition-facts-label/daily-value-nutrition-and-supplement-facts-labels>

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL

Las flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens* constituyen recursos vegetales nativos del Valle del Mezquital con valor alimentario, mineral y nutraceutico, lo que permite reconocerlas como parte de la biodiversidad comestible de las zonas áridas y semiáridas de México. Desde el punto de vista proximal, ambas especies presentaron una composición compatible con lo reportado para otras flores comestibles, caracterizada por bajo contenido lipídico y presencia relevante de carbohidratos, proteína, fibra y cenizas. Esta tendencia coincide con estudios previos en flores comestibles mexicanas y flores de cactáceas, donde los carbohidratos suelen representar una fracción importante de la composición, mientras que los lípidos se encuentran en proporciones bajas (Pensamiento-Niño et al., 2021; Pinedo-Espinoza et al., 2020). No obstante, los resultados también evidenciaron diferencias nutricionales entre especies. Las flores de *N. laevigata* destacaron por su contenido de proteína cruda, con 20.45 % en base seca, lo que las posiciona como un recurso vegetal con aporte proteico relevante dentro del grupo de flores comestibles de ambientes semiáridos. Por su parte, las flores de *E. cinerascens* presentaron una composición dominada por carbohidratos, con 60.04 %, seguida de cenizas, con 15.08 ± 0.08 %, proteína cruda, con 14.81 ± 0.07 %, fibra cruda, con 9.18 ± 0.12 %, y extracto etéreo, con 0.90 ± 1.16 %. Este perfil confirma que las flores de biznaga poseen una baja proporción lipídica, una fracción mineral apreciable y un contenido proteico superior al reportado para otras flores de cactáceas, como cardón, xoconostle var. Ulapa y xoconostle var. Cuaresmeño rosado, evaluadas por Pensamiento-Niño et al. (2021). Estos resultados indican que ambas especies pueden considerarse recursos vegetales con valor nutricional, aunque con perfiles diferenciados: *N. laevigata* sobresale principalmente por su mayor contenido proteico, mientras que *E. cinerascens* destaca por su bajo contenido graso, su proporción de carbohidratos y su contenido de cenizas. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la identidad botánica de cada especie, ya que *N. laevigata* pertenece a *Fabaceae*, familia comúnmente asociada con mayor aporte proteico, mientras que *E. cinerascens* pertenece a *Cactaceae*, grupo adaptado a ambientes áridos y con características fisiológicas y estructurales particulares.

El análisis mineral mostró que las flores de ambas especies contienen elementos esenciales de interés nutricional. En *N. laevigata*, los minerales predominantes fueron K, P, Mg y Fe, con concentraciones de 2783.52, 615.84, 204.88 y 31.29 mg·100 g⁻¹, respectivamente. También se identificaron Zn, Mn, Se y Cu, lo que evidencia una composición mineral diversa. En *E. cinerascens*, los minerales más destacados fueron K, Mg, P, Fe, Zn y Mn, con valores de 3695.30 ± 129.34, 524.04 ± 18.87, 406.21 ± 9.75, 27.12 ± 0.73, 5.68 ± 0.12 y 6.79 ± 0.20 mg·100 g⁻¹, respectivamente. Comparativamente, *E. cinerascens* presentó mayores concentraciones de K y Mg que *N. laevigata*, mientras que las flores de mezquite mostraron mayores contenidos de P, Fe y Zn. Esta diferencia sugiere que cada especie podría contribuir de manera distinta al aporte mineral de la dieta. El K y el Mg son relevantes para el equilibrio electrolítico, la función neuromuscular y el metabolismo energético, mientras que el Fe participa en la síntesis de hemoglobina y en el transporte de oxígeno. Por su parte, el Zn y el Mn se relacionan con funciones enzimáticas, respuesta inmune, defensa antioxidante y metabolismo celular (Gharibzahedi & Jafari, 2017). Además, ambas especies presentaron bajo contenido de Na, aspecto favorable desde el punto de vista dietético, particularmente en contextos donde se busca reducir la ingesta de sodio. Sin embargo, la interpretación nutricional de estos minerales debe realizarse con cautela, ya que los valores se expresan en 100 g de muestra seca y no necesariamente reflejan la cantidad consumida en una porción habitual. Asimismo, el aporte efectivo dependerá de la biodisponibilidad, la forma de preparación, la frecuencia de consumo y la posible presencia de compuestos que modifiquen la absorción mineral.

El potencial nutracéutico de ambas especies se relaciona con la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante. Estos metabolitos secundarios son relevantes porque participan en mecanismos de defensa vegetal y, desde el punto de vista alimentario, se han asociado con propiedades antioxidantes y posible efecto funcional (Fernandes et al., 2017; Navarro-González et al., 2015). En *N. laevigata*, el extracto metanólico crudo presentó 41.14 ± 0.35 mg EAG·g⁻¹ de compuestos fenólicos totales y 23.39 ± 0.32 mg EQ·g⁻¹ de flavonoides totales. La capacidad antioxidante fue de 1064.91 ± 14.5 µmol ET·g⁻¹ por ABTS y 81.04 ± 0.32 µmol ET·g⁻¹ por FRAP. Además, se observó una correlación positiva fuerte entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante determinada por ABTS y FRAP, con $r = 0.96$, lo que sugiere que

los compuestos fenólicos contribuyen de manera importante al potencial antioxidante del extracto metanólico de las flores de mezquite. En *E. cinerascens*, el extracto crudo presentó valores más altos de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, con 193.96 ± 0.91 mg EAG·g⁻¹ de fenoles totales, 235.02 ± 16.08 mg EQ·g⁻¹ de flavonoides totales, 3145.11 ± 190.34 μmol ET·100 g⁻¹ por ABTS y 1776.84 ± 208.04 μmol ET·100 g⁻¹ por FRAP. Estos valores fueron superiores a los reportados previamente para la misma especie por Pensamiento-Niño et al. (2021), aunque la comparación debe interpretarse considerando que en el presente estudio se evaluó un extracto crudo concentrado, mientras que el estudio citado reportó valores sobre matriz floral en base seca. De esta manera, *E. cinerascens* mostró mayor concentración aparente de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante en el extracto crudo, mientras que *N. laevigata* presentó una relación más clara entre fenoles totales y capacidad antioxidante. No obstante, la respuesta antioxidante no depende únicamente de la cantidad total de compuestos fenólicos o flavonoides, sino también de la estructura química de los metabolitos, su grado de polimerización, sus interacciones con otros componentes de la matriz y el mecanismo químico de cada ensayo antioxidante (Huang et al., 2005; Osorio-Valencia et al., 2023).

El tratamiento térmico modificó la concentración de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en ambas especies, aunque la magnitud y dirección de la respuesta fue diferente. En *N. laevigata*, el calentamiento tuvo un efecto más severo, ya que se observaron reducciones de hasta aproximadamente 70 % en compuestos fenólicos y descensos de hasta aproximadamente 80 % en la capacidad antioxidante determinada por ABTS y FRAP. Esto indica que los compuestos bioactivos presentes en las flores de mezquite son sensibles a condiciones térmicas de mayor temperatura y tiempo prolongado. En esta especie, la temperatura pareció ejercer un efecto más marcado que el tiempo, debido a que los tratamientos a mayor temperatura generaron mayores pérdidas de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante. Este comportamiento puede explicarse por procesos de oxidación, isomerización, polimerización, degradación térmica o formación de complejos entre fenoles y otros componentes de la matriz, lo que reduce la disponibilidad de compuestos capaces de reaccionar en los ensayos colorimétricos y antioxidantes (Everette et al., 2010; Jakobek, 2015; Ozdal et al., 2013; Shahidi & Yeo, 2016). En *E. cinerascens*, la respuesta térmica fue menos lineal. El contenido de

compuestos fenólicos totales disminuyó después del tratamiento térmico, pero conservó entre 84.81 y 95.12 % del valor inicial. En contraste, la capacidad antioxidante disminuyó en todos los tratamientos, con degradaciones de 36.7 a 48.6 % para ABTS y de 37.2 a 46.8 % para FRAP. Esta respuesta sugiere que, aunque los compuestos fenólicos aparentes se mantuvieron en proporciones relativamente altas, la funcionalidad antioxidante medida por ABTS y FRAP sí fue afectada de manera importante.

La estabilidad aparente o recuperación parcial observada en algunos tratamientos de *E. cinerascens* puede estar relacionada con el carácter no completamente específico de los métodos colorimétricos. El método de Folin-Ciocalteu estima la capacidad reductora total y puede responder no solo a compuestos fenólicos, sino también a otros compuestos reductores presentes en la muestra (Everette et al., 2010; Pérez et al., 2023). Asimismo, el método de cloruro de aluminio para flavonoides puede responder de manera distinta según la estructura de los flavonoides presentes, por lo que sus resultados deben interpretarse como flavonoides totales aparentes y no como una cuantificación absoluta de todos los flavonoides de la muestra (Shraim et al., 2021). En este sentido, el efecto térmico observado en ambas especies puede entenderse como el resultado de procesos simultáneos: por un lado, degradación, oxidación o transformación estructural de compuestos bioactivos; por otro, posible liberación de compuestos ligados, hidrólisis parcial o formación de moléculas con capacidad reductora. Esta dualidad ha sido reportada en distintas matrices vegetales, donde el procesamiento térmico puede disminuir o incrementar la actividad antioxidante dependiendo de la especie, el medio de cocción, la temperatura, el tiempo y el método analítico utilizado (Gao et al., 2022; Ifie & Marshall, 2018; Murador et al., 2018; Nayak et al., 2015).

Los resultados obtenidos también tienen implicaciones directas para el consumo tradicional de ambas especies, debido a que las flores de *N. laevigata* y *E. cinerascens* suelen consumirse después de algún tipo de cocción o preparación térmica. En el caso del mezquite, las flores se consumen hervidas o guisadas, mientras que las flores de *E. cinerascens* pueden consumirse guisadas o fritas con aceite, cebolla y sal, o añadirse durante el último hervor de los frijoles por aproximadamente 15 min. El hecho de que el tratamiento térmico reduzca la concentración de compuestos bioactivos y la capacidad

antioxidante no significa que estas flores pierdan por completo su valor alimentario o funcional, ya que en ambas especies se conservó una parte de los compuestos evaluados después del calentamiento, aunque con magnitudes diferentes. Esto sugiere que las formas tradicionales de preparación pueden mantener parcialmente el potencial nutricional y antioxidante de las flores, especialmente cuando las condiciones de cocción son moderadas. Para *N. laevigata*, los resultados sugieren que el uso de temperaturas más bajas y tiempos cortos podría favorecer una mayor conservación de compuestos bioactivos, mientras que en *E. cinerascens* la relación con el consumo tradicional es especialmente relevante porque una de las formas locales de preparación consiste en añadir las flores al último hervor de los frijoles. Aunque el modelo experimental se realizó sobre extractos metanólicos y no directamente sobre la flor en una preparación culinaria completa, los resultados permiten inferir que el tiempo y la temperatura de cocción influyen en la estabilidad de los compuestos bioactivos y, por lo tanto, en el valor funcional de estas flores en contextos reales de consumo.

En el caso de los minerales, es importante señalar que estos no se degradan estructuralmente bajo condiciones convencionales de cocción, pero pueden lixivarse hacia el medio acuoso. Por ello, cuando el caldo o líquido de cocción se consume junto con el alimento, la pérdida real de minerales podría ser menor que cuando el agua de cocción se descarta (Fabbri & Crosby, 2016; Lisciani et al., 2025). Este aspecto es relevante para preparaciones tradicionales como frijoles, caldos o guisos, donde el medio de cocción forma parte del alimento final. Además, en *N. laevigata* se integró un análisis de riesgo no carcinogénico mediante el índice HQ para elementos traza. Bajo el escenario considerado, con consumo diario de 10 g de flores liofilizadas y peso corporal de 60 kg, únicamente Co presentó $HQ > 1$, mientras que V, Cd y Pb se mantuvieron por debajo del umbral de preocupación. Este resultado no invalida el potencial alimentario de la especie, pero sí indica la necesidad de monitorear elementos traza, especialmente si se plantea un consumo frecuente o una posible valorización alimentaria a mayor escala.

En conjunto, esta investigación aporta evidencia científica sobre dos especies nativas del matorral xerófilo del Valle del Mezquital que poseen importancia alimentaria, ecológica y biocultural. La caracterización proximal permitió reconocer a las flores de *N. laevigata*

y *E. cinerascens* como recursos vegetales con bajo contenido lipídico, presencia de proteína, carbohidratos, fibra y fracción mineral relevante. La caracterización mineral mostró que ambas especies contienen elementos esenciales como K, P, Mg, Fe, Zn y Mn, con diferencias cuantitativas entre ellas. Además, la evaluación nutracéutica de los extractos metanólicos evidenció la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante, lo que respalda su potencial como recursos comestibles con valor funcional. En particular, *E. cinerascens* mostró valores elevados de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante en el extracto crudo, mientras que *N. laevigata* presentó una fuerte asociación entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Asimismo, la incorporación del tratamiento térmico como variable central representa un aporte relevante, debido a que los alimentos tradicionales rara vez se consumen en estado estrictamente crudo, sino que suelen someterse a cocción, hervido, guisado o fritura. Por ello, evaluar la respuesta de los compuestos bioactivos frente a diferentes tiempos y temperaturas permite interpretar el potencial funcional de estas flores de manera más cercana a sus formas reales de aprovechamiento.

5.1 Literatura citada

- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W., & Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), 8139–8144. <https://doi.org/10.1021/jf1005935>
- Fabbri, A. D. T., & Crosby, G. A. (2016). A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2015.11.001>
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017>
- Gao, Y., Xia, W., Shao, P., Wu, W., Chen, H., Fang, X., Mu, H., Xiao, J., & Gao, H. (2022). Impact of thermal processing on dietary flavonoids. *Current Opinion in Food Science*, 48, Article 100915. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100915>

- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Ifie, I., & Marshall, L. J. (2018). Food processing and its impact on phenolic constituents in food. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), Article 1507782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1507782>
- Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, 175, 556–567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013>
- Lisciani, S., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Camilli, E., Gambelli, L., Marletta, L., & Marconi, S. (2025). Effects of household cooking on mineral composition and retention in widespread Italian vegetables. *Nutrients*, 17(3), Article 423. <https://doi.org/10.3390/nu17030423>
- Murador, D. C., Braga, A. R. C., Da Cunha, D. T., & De Rosso, V. V. (2018). Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects: A meta-analytic investigation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(2), 169–177. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1140121>
- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A. B., & Periago, M. J. (2015). Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: Characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(1), 805–822. <https://doi.org/10.3390/ijms16010805>
- Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 887–918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
- Osorio-Valencia, A. I., Osorio-Tobón, J. F., & Gómez-Mejía, E. (2023). Evaluation of antioxidant capacity in different food matrices through differential pulse voltammetry and its correlation with spectrophotometric methods. *Journal of Applied Electrochemistry*, 53, 1127–1142. <https://doi.org/10.1007/s10800-023-01933-9>
- Ozdal, T., Capanoglu, E., & Altay, F. (2013). A review on protein–phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*, 51(2), 954–970. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.009>

- Pensamiento-Niño, C. A., Campos-Montiel, R. G., Añorve-Morga, J., Ramírez-Moreno, E., Ascacio-Valdés, J. A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2021). Nutritional characterization of the functional and antioxidant activity of cactus flowers from Hidalgo, Mexico. *Applied Sciences*, 11(13), Article 5965. <https://doi.org/10.3390/app11135965>
- Pérez, M., Domínguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (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. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
- Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2020). Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wild edible flowers consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 413–419. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>
- Shahidi, F., & Yeo, J. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9), Article 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, Article 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Las flores comestibles de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*, especies nativas del matorral xerófilo del Valle del Mezquital, constituyen recursos vegetales con valor alimentario, nutricional, mineral y nutracéutico. Ambas especies forman parte del conocimiento tradicional y de las prácticas alimentarias locales, por lo que su estudio contribuye a la revalorización de recursos silvestres comestibles subutilizados en regiones áridas y semiáridas de México.

Desde el punto de vista nutricional, las flores de ambas especies presentaron bajo contenido de extracto etéreo y una composición proximal dominada por carbohidratos, proteína, fibra y cenizas. *Neltuma laevigata* destacó por su mayor contenido proteico, con 20.45 % en base seca, mientras que *Echinocereus cinerascens* presentó una composición caracterizada por carbohidratos como fracción mayoritaria, bajo contenido lipídico y una fracción mineral apreciable. Estos resultados respaldan el interés de ambas flores como recursos alimentarios con potencial para complementar la dieta local.

El análisis mineral mostró que las dos especies contienen elementos esenciales relevantes. Las flores de *N. laevigata* destacaron por sus concentraciones de K, P, Mg y Fe, mientras que *E. cinerascens* presentó valores elevados de K, Mg, Fe, Zn y Mn, además de bajo contenido de Na. Sin embargo, la contribución nutricional real de estos minerales debe interpretarse considerando el tamaño de porción, la frecuencia de consumo, la biodisponibilidad y la forma de preparación. En el caso de *N. laevigata*, el análisis de riesgo por elementos traza indicó $HQ > 1$ únicamente para Co bajo el escenario evaluado, por lo que se recomienda continuar con estudios de inocuidad y biodisponibilidad.

Desde el punto de vista nutracéutico, los extractos metanólicos de ambas especies presentaron compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante. *Echinocereus cinerascens* mostró los valores más altos de fenoles, flavonoides, ABTS y FRAP en el extracto crudo, mientras que *Neltuma laevigata* presentó una correlación positiva fuerte entre compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante, lo que sugiere que los fenoles

contribuyen de manera importante a su actividad antioxidante. Estos resultados confirman que ambas flores contienen metabolitos secundarios bioactivos con potencial funcional.

El tratamiento térmico modificó la concentración de compuestos fenólicos totales y flavonoides y la capacidad antioxidante en ambas especies. En *N. laevigata*, el calentamiento provocó reducciones marcadas de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, especialmente bajo condiciones de mayor temperatura y tiempo prolongado. En *E. cinerascens*, la respuesta fue menos lineal, con conservación parcial de compuestos fenólicos y disminución moderada de ABTS y FRAP. Esto demuestra que el efecto del procesamiento depende de la especie, la matriz vegetal, la temperatura, el tiempo de exposición y el método analítico utilizado.

Esta investigación aporta evidencia científica que respalda el valor alimentario, funcional y biocultural de las flores de *Neltuma laevigata* y *Echinocereus cinerascens*. Los resultados permiten reconocerlas como recursos vegetales comestibles con potencial nutricional, mineral y nutracéutico; sin embargo, también evidencian la necesidad de continuar investigando su perfil fitoquímico, biodisponibilidad, inocuidad, variabilidad ambiental y comportamiento en preparaciones culinarias reales. Estos hallazgos pueden servir como base para futuras estrategias de aprovechamiento sustentable, conservación biocultural y valorización de alimentos locales estacionales del Valle del Mezquital.