



PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
ISSN: 3072-8452

**DIFERENCIAS FITOQUÍMICAS
ENTRE DOS SUBESPECIES DE
AGAVE SALMIANA COMO BASE
PARA SU APROVECHAMIENTO
SOSTENIBLE EN REGIONES
SEMIÁRIDAS**

*PHYTOCHEMICAL DIFFERENCES
BETWEEN TWO SUBSPECIES OF AGAVE
SALMIANA AS A BASIS FOR THEIR
SUSTAINABLE UTILIZATION IN SEMI-
ARID REGIONS*

AUTORES

OSCAR CAMPOS HERRERA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO - CELAYA
MÉXICO

LEOPOLDO GONZÁLEZ CRUZ
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO - CELAYA
MÉXICO

**AUREA BERNARDINO
NICANOR**
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO - CELAYA
MÉXICO

Diferencias Fitoquímicas entre dos Subespecies de *Agave* *Salmiana* como Base para su Aprovechamiento Sostenible en Regiones Semiáridas

Phytochemical Differences between Two Subspecies of *Agave salmiana* as a
Basis for Their Sustainable Utilization in Semi-Arid Regions

Oscar Campos Herrera

Oscar.bioquimica@gmail.com

Tecnológico nacional de México - Celaya
Guanajuato – México

Leopoldo González Cruz

leopoldo.gonzalez@itcelaya.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8148-737>

Tecnológico nacional de México - Celaya
Guanajuato – México

Aurea Bernardino Nicanor

aurea.bernardino@itcelaya.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1211-5257>

Tecnológico nacional de México - Celaya
Guanajuato – México

Artículo recibido: 31/12/2025

Aceptado para publicación: 09/02/2026

Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

El género *Agave* es un recurso vegetal de gran importancia para los habitantes de México, sobre todo para aquellos que viven en las zonas semiáridas, tanto por su valor cultural, económico como por su alto potencial biotecnológico, lo que le permite ser una materia prima relevante para contribuir en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la ONU. En este sentido, el presente trabajo muestra el análisis fitoquímico cualitativo y cuantitativo de las hojas de dos subespecies de *Agave salmiana* (*crassispina* y *salmiana*), colectados en temporada de sequía y de lluvia, considerando hojas jóvenes y maduras, así como diferentes métodos de extracción (agua y etanol al 80% con y sin el uso de ultrasonido). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en la composición y concentración de metabolitos secundarios entre ambas subespecies, debido a los diferentes parámetros que fueron considerados como variables. Se observó que existe mayor acumulación de metabolitos secundarios en ambas subespecies en la temporada de sequía, de manera particular en las hojas maduras, lo cual podría ser indicio de la respuesta adaptativa al estrés hídrico de los Agaves debido a su metabolismo ácido crasuláceo (CAM). La subespecie *crassispina* presentó mayor respuesta terpenos, mientras que *salmiana* destacó por su mayor concentración de taninos y compuestos fenólicos y mayor contenido relativo de saponinas, quinonas, glucósidos y glucósidos cardiacos. Los resultados obtenidos confirman que las hojas de *Agave salmiana* subespecie *salmiana*, representa una fuente alternativa de compuestos bioactivos con potencial nutracéutico y farmacológico, cuyo aprovechamiento podría contribuir a la salud y bienestar (ODS 3), producción y consumo responsable (ODS 12), acción por el clima (ODS 13) y conservación de ecosistemas terrestres (ODS 15).

Palabras clave: agave salmiana, metabolitos secundarios, estrés hídrico, CAM, aprovechamiento sostenible

ABSTRACT

The *Agave* genus is a plant resource of great importance for the Mexico's habitants, particularly for those living in semi-arid regions, due to its cultural and economic value as well as its high biotechnological potential. This makes *Agave* a relevant raw material for contributing to the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations 2030 Agenda. In this context, the present study reports a qualitative and quantitative phytochemical analysis of leaves from two subspecies of *Agave salmiana* (*crassispina* and *salmiana*), collected during the dry and rainy seasons, considering young and mature leaves, as well as different extraction methods (water and 80% ethanol, with and without ultrasound assistance). The results revealed statistically significant differences in the composition and concentration of secondary metabolites between both subspecies, attributable to the evaluated variables. A higher accumulation of secondary metabolites was observed in both subspecies during the dry season, particularly in mature leaves, which may indicate an adaptive response to water stress associated with crassulacean acid metabolism (CAM). The *crassispina* subspecies showed a higher terpene response, whereas *salmiana* was characterized by higher concentrations of tannins and phenolic compounds, as well as a greater relative content of saponins, quinones, glycosides, and cardiac glycosides. The findings confirm that leaves of *Agave salmiana* subsp. *salmiana* represent an alternative source of bioactive compounds with nutraceutical and pharmacological potential, whose sustainable use may contribute to health and well-being (SDG 3), responsible production and consumption (SDG 12), climate action (SDG 13), and the conservation of terrestrial ecosystems (SDG 15).

Keywords: agave salmiana, secondary metabolites, water stress, CAM, sustainable use

INTRODUCCIÓN

El género *Agave*, está conformado por aproximadamente 300 especies, de las cuales 200 son originarias de México, es por ello, que se considera como un recurso vegetal de alta relevancia para la biodiversidad y los sistemas productivos de regiones semiáridas. El Agave o Maguey es considerado de gran importancia desde el punto de vista cultural, económico y social, debido a que es materia prima para la elaboración bebidas tradicionales fermentadas y destilados (pulque, mezcal, tequila, bacanora), para preparación de alimentos regionales (elaboración de barbacoa, mixiotes), fibras y empaques naturales (cutícula o mixiote), así como por ser el hábitat de gusanos comestibles (chinicuil y gusano blanco), forraje alternativo para ganado (hojas o pencas que son ricas en fibra). Así mismo, el género *Agave* es utilizado en la industria cosmética (por su contenido de saponinas que son utilizadas para la elaboración de champú, jabón de tocador y jabón para ropa), para prevención de la erosión del suelo, material de construcción (techos de casas, cercas vivas), bio combustible, entre otros, todo ello, lo hace una materia prima fundamental para su aprovechamiento integral y sostenible de recursos vegetales nativos (Thiede, 2020; Trejo et al., 2020; Herrera-Campos et al., 2025, Trejo et al., 2025). Dentro de sus aplicaciones más importantes, destaca su aprovechamiento dirigido a la salud y el bienestar humano, áreas en la que diversas especies del género *Agave* han sido estudiadas por su potencial farmacológico, atribuido principalmente a su contenido de metabolitos secundarios y carbohidratos estructurales. En este sentido, se ha reportado su potencial anticancerígeno, anti-inflamatorio, antioxidante, antidiabético, antihipertensivo, antiparasitario, antimicrobiano, contra la anemia, gastritis y úlceras, así como por su composición de carbohidratos (fructanos) con propiedades prebióticas. Todo ello posiciona a este género como una fuente importante de compuestos bioactivos de interés para el área farmacológica y nutracéutica (Thiede, 2020; Bermúdez-Bazán et al., 2021; da Silva et al., 2021; Quiñones-Muñoz et al., 2022; Wang y Cheong, 2023; Rodríguez-Zapata et al., 2024; Revathy et al., 2024; Bermúdez-Bazán et al., 2024; Mendoza et al., 2025).

Sin embargo, se ha demostrado que las características físicas, químicas y biológicas de las especies del género *Agave* presentan cambios de acuerdo con las condiciones bióticas y abióticas bajo las cuales se desarrollan, tales como; subespecie, condiciones edafoclimáticas, región geográfica, las cuales hacen que el Agave desarrolle diferentes sistemas de protección para su adaptación. De manera específica, se ha demostrado que la disponibilidad hídrica, temperatura y estacionalidad son factores que influyen directamente en la síntesis y

acumulación de metabolitos secundarios, los cuales forman parte del mecanismo de adaptación y defensa de la planta (Almaraz-Abarca et al., 2013; Puente-Garza et al., 2017; Sarwar et al., 2019; Thiede, 2020; Soto- Castro et al., 2021; Holopainen et al., 2025). Estas adaptaciones se encuentran estrechamente relacionadas con el metabolismo ácido crasuláceo (CAM), el cual les permite al *Agave* tolerar altas temperaturas y condiciones de sequía extrema, (Davis y Ortíz, 2023). Así mismo, se ha reportado que las plantas del este género también contienen compuestos que además de servir en la tolerancia al estrés ambiental, sirven como defensa contra los depredadores, como es el caso de las saponinas y los polifenoles, los cuales, no solo cumplen una función para la supervivencia de la planta, sino que también representan un valor agregado para el aprovechamiento sostenible de las subespecies (Thiede, 2020; Bermúdez- Bazán et al., 2021; Bermúdez-Bazán et al., 2024). En este contexto, se considera relevante, evaluar si el contenido y tipo de los compuestos fitoquímicos presentes en las hojas de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* y *crassispina*, varían en función de la subespecie, estacionalidad (temporada de sequía y lluvia), la madurez de la hoja y el método de extracción. El análisis comparativo de éstos factores proporcionará información científica clave para orientar estrategias de aprovechamiento responsable, valorización del *Agave* y desarrollo de aplicaciones potenciales como un coadyuvante en el tratamiento de enfermedades crónico degenerativas, contribuyendo de esta manera a los objetivos de Desarrollo Sostenible, de manera específica, en los relacionados con la salud y bienestar (ODS 3), producción y consumo responsable (ODS 12), acción por el clima (ODS 13) y vida de ecosistemas terrestre (ODS 15).

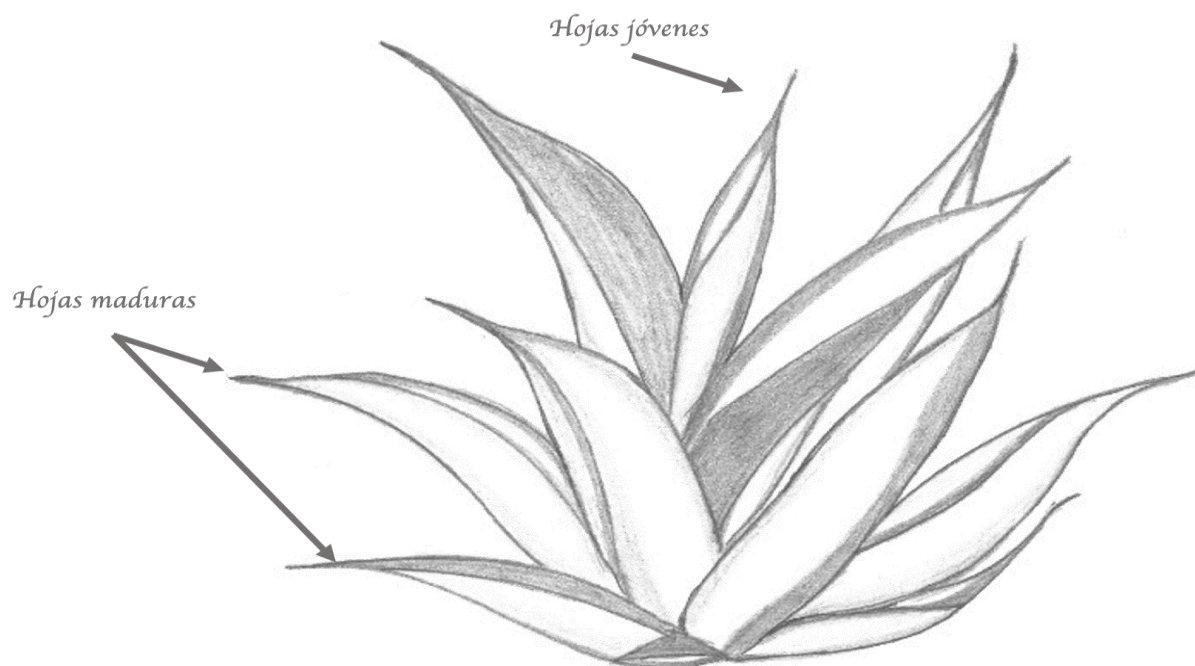
METODOLOGÍA

Material vegetal

Las muestras de las hojas de *Agave salmiana* subespecie *crassispina* se obtuvieron de Durango Daboxtha en el Valle del Mezquital, mientras que las muestras del *Agave salmiana* subespecie *salmiana*, fueron obtenidas de San Mateo Tlajomulco. Ambos municipios se encuentran ubicados en el Estado de Hidalgo, México. Todas las muestras fueron obtenidas de *Agaves* de 12 años de desarrollo, durante la temporada de lluvia y la temporada de sequía.

Las hojas se clasificaron en: jóvenes y maduras de acuerdo con Campos-Herrera et al., 2025 (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de las hojas que se utilizaron en el presente trabajo



Fuente: Modificado de Herrera-Campos et al., 2025.

El análisis se realizó en las hojas, una vez que se había retirado la cutícula, ya que éste es un material que se usa de manera separada como empaque para la elaboración de alimentos (Deshmukh et al., 2025).

Obtención de extractos

Para la obtención de los extractos se molieron las hojas que se analizaron y se realizó la extracción de hojas jóvenes y maduras de ambas subespecies, para lo cual se usaron como disolventes; agua y etanol al 80%. En ambos casos también se realizó la extracción con un tratamiento de ultrasonido.

Obtención de extracto acuoso

El extracto se obtuvo utilizando una proporción de 1:2 (p/v) de polvo de hoja: agua a 60°C de temperatura, con agitación constante durante 30 min, el producto fue almacenado a 4°C por un periodo no mayor a 24 h.

Obtención de extracto etanólico

Una proporción de 1:2 (p/v) de polvo de hoja: etanol al 80% fue colocada a 60°C, en agitación durante 30 min, después de este tiempo, se realizó un lavado con agua destilada por 15 min a 60°C, de acuerdo con lo indicado por Aldrete-Herrera et al., 2019.

Obtención de extractos acuso y etanólico asistidos por ultrasonido

Las extracciones se realizaron de la misma manera que las extracciones antes mencionadas, con la diferencia de que la agitación se realizó al mismo tiempo del tratamiento con ultrasonido a 20 Hz (Ultrasonic Cleaner SB-3200 DTN), de acuerdo con la metodología indicada por (Sánchez-Madrigal et al., 2017).

Análisis fitoquímico cualitativo

La presencia de saponinas, taninos quinonas, flavonoides, terpenos, cumarinas, alcaloides y glucósidos, fue determinada por el método indicado por Soni y Soni (2013) con algunas modificaciones de Santhi y Sengottuvel (2016). Las saponinas fueron detectadas mediante la generación de espuma estable de una disolución de 5 mL de extracto en 5 mL de agua destilada. Una coloración oscura generada por la mezcla de 1 mL de muestra (5 mg de extracto/mL), en 0.02M FeCl₃ y 0.1 N de HCl indicó la presencia de taninos. Las quinonas fueron detectadas por el cambio de color de azul a verde o rojo de una disolución de 1 mL de extracto (5 mg de extracto/mL) en NaOH. La presencia de flavonoides fue detectada por una coloración naranja al adicionar unas gotas de H₂SO₄ al extracto. Una disolución de NaOH al 10% en el extracto, indicó la presencia de cumarinas si se observó una coloración amarilla o roja. La presencia de terpenos se detectó con la aparición de un color marrón rojizo en una disolución de 5 mg de extracto, 2 mL de cloroformo y 3 mL de H₂SO₄ concentrado. Los alcaloides son detectados si se observa un precipitado crema en una disolución del reactivo de Meyer mezclado con 5 mg de extracto (en HCl diluido). La presencia de glucósidos cardiacos se determinó con una disolución de 5 mg/mL de extracto, 2 mL de ácido acético glacial, unas gotas de cloruro férrico y 1 mL de H₂SO₄ concentrado, la formación de un anillo marrón en la interfase indicó la presencia de deoxi azúcar, puede también presentarse un anillo de color purpura debajo del anillo marrón o un anillo verde formado a lo largo de la capa de ácido acético.

Contenido de Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Para la determinación de CFT, se utilizó la metodología indicada por Cardador et al. (2011). 20 μL de extracto se mezclaron con 1580 μL de agua desionizada y 100 μL del reactivo Folin Ciocalteu (Folin & Ciocalteu's phenol reagent, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA), la reacción se dejó reposar a temperatura ambiente durante 8 min, para detener la reacción se agregaron 300 μL de Na_2CO_3 al 20%. Se leyó la absorbancia a 760 nm después de 90 min de reposo a temperatura ambiente ($\sim 29^\circ\text{C}$), utilizando un espectrofotómetro (Optima Plus, SP 3000 nano, EE.UU.). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/g de extracto seco, valor obtenido a partir de la curva estándar de ácido gálico (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE.UU.).

Contenido de flavonoides

0.5 mL de extracto (3 mg/mL) se mezclaron con 1.5 mL de metanol al 80 %, 0.1 mL de acetato de potasio 1 M y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se incubó a temperatura ambiente por 30 min, se leyó la absorbancia a 410 nm, se realizó una curva de calibración de quercetina a concentraciones de 0.01-1 mg/mL. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de quercetina (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE.UU.) por gramo de extracto seco (Sagar et al., 2020).

Contenido de taninos

Los taninos se cuantificaron utilizando el método indicado por Rosales-Castro et al., 2009. 1 mL de vainillina (al 4% en metanol absoluto), 133 μL de muestra (1 mg de extracto/mL de agua destilada), 500 μL de HCl concentrado, la mezcla se agitó en un vortex y se incubó por 15 min a 30°C . La absorbancia se leyó a 500 nm. El contenido de taninos se reportó como mg equivalentes de epicatequina por g de extracto.

Análisis estadístico

Todos los resultados fueron expresados como la media de tres experimentos independientes con tres repeticiones. Se realizó un ANOVA de dos puntos seguida de un test post hoc de Tukey-Kramer para determinar las diferencias entre medias o un test de Student no pareado, según el caso. Se realizaron análisis estadísticos con un valor de $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico GraphPad Prism 10.0 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en las tablas 1 y 2, existen variaciones en la composición de los metabolitos secundarios presentes en las dos subespecies, sobre todo de aquellos cuya función principal es la protección de la planta ante el estrés, específicamente ante condiciones de sequía, es por ello, que bajo estas condiciones se observó mayor presencia de terpenos (Holopainen et al., 2025). Este comportamiento fue más marcado en el extracto acuoso asistido por ultrasonido de la hoja madura de la subespecie *crassispina*, lo cual podría ser debido a que al tratarse de una hoja madura, se encuentra más tiempo expuesta a los diferentes factores de estrés así como a depredadores, por lo que requiere de la síntesis de éste tipo de compuestos, así mismo, el uso del ultrasonido favoreció la difusión del disolvente debido a que la frecuencia de las ondas sonoras pudieron haber provocado la ruptura de enlaces químicos de baja energía del tejido vegetal (Sanjaya et al., 2022). La presencia de terpenos ha sido reportada en *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. rhodachanta* y *A. maximiliana* (Rodríguez-Zapata et al., 2024). Así mismo, se han encontrado 9 terpenos diferentes en las hojas de *Agave salmiana*, por Arellano et al., 2012 y Álvares-Chávez et al., 2021.

Las quinonas, aunque se presentan en ambas especies y en ambas condiciones, se observa una respuesta positiva mayor en la temporada de lluvia, lo cual podría deberse a que la disponibilidad de agua podría estar generando mayor actividad metabólica en el Agave, favoreciendo las rutas biosintéticas de compuestos aromáticos que actúan como precursores de las quinonas, este comportamiento ha sido documentados en *A. angustifolia*, *A. salmiana*, *A. tequilana* y *A. schidigera*, aunado al hecho de que en temporada de sequía las plantas redireccionan su metabolismo a la generación de metabolitos secundarios cuya principal función es la defensa y conservación, mientras que la síntesis de las quinonas está relacionada con procesos de oxido-reducción que pueden estar modulados por el estado hídrico del tejido vegetal. Sin embargo, es importante mencionar que la presencia de estos metabolitos depende del tejido analizado, tipo y condiciones de extracción (Puente-Garza et al., 2017; Bermúdez-Bazán et al., 2024).

Tabla 1. Composición fitoquímica cualitativa de *Agave salmiana* subespecie *crassispina* y subespecie *salmiana* en la temporada de sequía

<i>Subespecie</i>	<i>Hoja</i>	<i>Extracto</i>	<i>Saponinas</i>	<i>Flavonoides</i>	<i>Quinonas</i>	<i>Glucósidos</i>	<i>Glucósidos cardiacos</i>	<i>Terpenos</i>	<i>Cumarinas</i>	<i>Taninos</i>
<i>Crassispina</i>	Joven	Acuoso	-	-	+++	-	-	++	-	+++
		Acuoso	-	-	+	-	+	+++	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	-	+	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	++	+	-	+++
	Madura	Acuoso	-	-	++	-	-	+	-	+++
		Acuoso	-	-	+	++	-	+++	+	+++
		Etanólico	-	-	+	-	+	++	-	+++
		Etanólico	-	-	++	-	+	++	-	+++
<i>Salmiana</i>	Joven	Acuoso	++	-	+	+	-	+	+	+++
		Acuoso	++	-	+	+	-	+	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	+	+	-	+++
		Etanólico	-	-	++	-	+	+	-	+++
	Madura	Acuoso	+++	-	+	+	+	+	-	+++
		Acuoso	+++	-	+	+	-	+	+	+++
		Etanólico	-	-	+	-	+	+	+	+++
		Etanólico	-	-	++	-	-	+	-	+++

Fuente: Elaboración propia.

Se detalla que el símbolo (+) indica presencia del compuesto, (-) indica ausencia del compuesto.

Por otra parte, se observó que las saponinas en la subespecie *crassispina* presentaron una respuesta negativa en todas las muestras tanto en la temporada de sequía como en la temporada de lluvia, mientras que la subespecie *salmiana*, mostró una respuesta positiva en la temporada de sequía, con el uso de agua como disolvente. Este comportamiento puede ser explicado considerando que existen diferencias genéticas adaptativas entre las subespecies *crassispina* y *salmiana*, que le permiten a la subespecie *salmiana* responder a los estímulos ambientales mediante la biosíntesis de saponinas como metabolitos secundarios responsables de la protección de la planta contra patógenos, herbívoros y condiciones de estrés abiótico, así mismo, está documentado que las saponinas generalmente son detectadas en los vegetales, en condiciones de sequía (Puente-Garza et al., 2017). Así mismo, se ha demostrado que las saponinas son solubles en disolventes polares como lo es el agua (Timilsena et al., 2023), mientras que el uso del ultrasonido, favorece la difusión del disolvente y por ende la mayor extracción del compuesto (Kumar et al., 2021). Se han reportado hasta 141 saponinas y sapogeninas esteroideas en el género *Agave*, se han encontrado 9 saponinas en *A. bracteosa*, (Guzzo et al., 2024), así mismo, las saponinas se han detectado en *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. rhodachanta*, *A. maximiliana*, *A. americana* (Shegute y Wasihun, 2020; Rodríguez-Zapata et al., 2024).

La subespecie *salmiana* mostró mayor respuesta positiva a la presencia de glucósidos y glucósidos cardiacos, lo cual es debido a que como se mencionó anteriormente existen diferencias genéticas entre las subespecies en cuanto a la regulación genética de las enzimas encargadas de los procesos de síntesis de los glucósidos y los glucósidos cardiacos, es por ello que la subespecie *salmiana*, presentó una respuesta mayor que indica mayor presencia de los glucósidos, así mismo, en la temporada de lluvia se favorece la generación de metabolitos secundarios, siendo las hojas maduras las que presentan mayor presencia de glucósidos y glucósidos cardiacos debido a que son las hojas que se encuentran en mayor exposición contra depredadores, mientras que las hojas jóvenes priorizan el crecimiento a la defensa. La extracción con agua y agua asistida con ultrasonido favoreció la extracción de los glucósidos, sin embargo, también se pudo extraer estos compuestos en algunos casos con el etanol, debido a que la polaridad del agua es alta, mientras que la del etanol es intermedia, sin embargo, se debe considerar que se utiliza etanol al 80% (Bermúdez-Bazán et al., 2021; Kumar et al., 2021; Bermúdez-Bazán et al., 2024).

Tabla 2. Composición fitoquímica cualitativa de *Agave salmiana* subespecie *crassispina* y subespecie *salmiana* en temporada de lluvia

<i>Subespecie</i>	<i>Hoja</i>	<i>Extracto</i>	<i>Saponinas</i>	<i>Flavonoides</i>	<i>Quinonas</i>	<i>Glucósidos</i>	<i>Glucósidos cardiacos</i>	<i>Terpenos</i>	<i>Cumarinas</i>	<i>Taninos</i>
<i>Crassispina</i>	Joven	Acuoso	-	-	+	-	-	+	-	+++
		Acuoso asistido con ultrasonido	-	-	+++	-	-	-	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	-	+	-	+++
		Etanólico asistido con ultrasonido	-	-	+	-	+	+	-	+++
	Madura	Acuoso	-	-	+++	-	-	+	-	+++
		Acuoso asistido con ultrasonido	-	-	+++	-	-	++	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	+	+	-	+++
		Etanólico asistido con ultrasonido	-	-	+++	-	-	+	-	+++
<i>Salmiana</i>	Joven	Acuoso	-	-	++	-	-	+	-	+++
		Acuoso asistido con ultrasonido	-	-	+	-	+	+	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	-	+	-	+++
		Etanólico asistido con ultrasonido	-	-	+	-	+	-	-	+++
	Vieja	Acuoso	-	-	+++	-	+	++	-	+++
		Acuoso asistido con Ultrasonido	-	-	+	-	-	+	-	+++
		Etanólico	-	-	+	-	+	+	-	+++
		Etanólico asistido con ultrasonido	-	-	+	-	+	+	-	+++

Fuente: Elaboración propia.

Se detalla que el símbolo (+) indica presencia del compuesto, (-) indica ausencia del compuesto

Por su parte, las cumarinas solo se presentaron en algunas extracciones en la temporada de sequía, principalmente en los extractos acuosos asistidos con o sin ultrasonido, en la subespecie *salmiana*, lo cual. Fue reportada la presencia de cumarinas en hojas de *A. striata*, *A. splendens*, *A. americana*, *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. rhodachanta*, *A. maximiliana*, *A. sisalana* (da Silva et al., 2021; Ramírez et al., 2023; Rodríguez-Zapata et al., 2024).

Los taninos fueron los metabolitos secundarios que llamaron la atención de manera particular, debido a que presentaron una respuesta positiva consistente, independientemente de la temporada del año donde se realizó el muestreo (sequía o lluvia), de la subespecie y de la hoja analizada, lo cual podría indicar que los taninos, son los metabolitos secundarios menos afectados por las variaciones estacionales. Es por ello, que se realizó su cuantificación y como se indica en la tabla 3, se corroboró la presencia de los taninos en ambas temporadas, sin embargo, en todas las muestras, independientemente del tipo de extracción se presenta mayor contenido de taninos en la temporada de sequía en comparación con la temporada de lluvia, lo cual es un indicio de que este metabolito secundario es generado cuando la planta se encuentra en estrés ambiental, en este caso, el estrés hídrico (Iqbal y Poór, 2025). Se observó (Tabla 3) que existe mayor concentración de taninos en la subespecie *salmiana*, lo que indica la mayor capacidad de adaptación de esta subespecie a las condiciones de estrés hídrico, debido principalmente a las diferentes condiciones ambientales de crecimiento de cada subespecie (Shegute y Wasihum, 2020).

Por otra parte, las hojas maduras mostraron mayor concentración de taninos en comparación con las jóvenes, lo cual es debido a que las hojas maduras presentan mayor actividad hormonal, principalmente de las fitohormonas reguladoras de la producción de taninos en condiciones adversas, así como para protegerse del ataque de depredadores ya que un alto contenido de taninos se relaciona con un mayor sabor astringente y amargo (Pizzi et al., 2024; Iqbal y Poór, 2025). La mejor extracción de los taninos se realizó al utilizar el ultrasonido para mejorar la extracción, ya que la intensidad de la cavitación facilita la extracción de los metabolitos secundarios (Santos-Zea et al., 2021), el etanol fue el mejor disolvente para la extracción de taninos debido a que al ir en combinación con el agua, se genera una polaridad intermedia que facilita la extracción de compuestos polares y moderadamente polares así como de peso molecular mayor (como es el caso de algunos taninos) (Plaskova y Mlcek, 2023)

Tabla 3. Contenido de Taninos en *A. salmiana* subespecie *crassispina* y *salmiana*.

Región	Hoja	Método de extracción	Taninos	
			mg Eq epicatequina/ g de extracto	
			Temporada de Sequía	Temporada de lluvia
<i>Crassispina</i>	Joven	Acuoso	22.824 ± 0.358 ^{D, a}	19.311 ± 0.565 ^{D, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	31.577 ± 0.282 ^{C, a}	26.831 ± 0.555 ^{C, b}
		Etanólico	36.754 ± 0.465 ^{B, a}	31.823 ± 0.740 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	43.966 ± 0.565 ^{A, a}	37.679 ± 0.465 ^{A, b}
	Madura	Acuoso	28.803 ± 0.282 ^{D, a}	24.304 ± 0.565 ^{D, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	38.295 ± 0.667 ^{C, a}	31.823 ± 0.489 ^{C, b}
		Etanólico	43.164 ± 0.465 ^{B, a}	36.015 ± 0.649 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	50.314 ± 0.370 ^{A, a}	41.624 ± 0.667 ^{A, b}
<i>Salmiana</i>	Joven	Acuoso	26.769 ± 0.282 ^{D, a}	23.625 ± 0.465 ^{D, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	34.905 ± 0.465 ^{C, a}	30.590 ± 0.465 ^{C, b}
		Etanólico	40.268 ± 0.565 ^{B, a}	35.090 ± 0.834 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	47.356 ± 0.370 ^{A, a}	40.637 ± 0.594 ^{A, b}
	Madura	Acuoso	32.563 ± 0.740 ^{D, a}	28.310 ± 0.370 ^{D, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	41.993 ± 0.370 ^{C, a}	36.569 ± 0.465 ^{C, b}
		Etanólico	47.109 ± 0.565 ^{B, a}	41.870 ± 0.565 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	53.150 ± 0.385 ^{A, a}	47.232 ± 0.465 ^{A, b}

Fuente: Elaboración propia.

Letras mayúsculas distintas entre las extracciones indican diferencia estadística significativa. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre temporada ($p < 0.05$).

La presencia de taninos se ha reportado en *A. splendens*, *A. angustifolia*, *A. americana*, *A. tequilana*, *A. angustifolia*, *A. rhodacantha*, *A. maximiliana*, *A. ornithobroma*, *A. rzedowskiana* (Ahumasa-Santos et al., 2013; Shegute y Wasihun, 2020; Ramírez et al., 2023; Rodríguez-Zapata et al., 2024).

Otro de los metabolitos secundarios que presentó un comportamiento que llamó la atención fueron los flavonoides ya que en la tabla 1 y 2 se observa una respuesta negativa en todos los casos, lo cual no necesariamente indica ausencia de éste metabolito en la hoja, si no que podría ser debido a la baja sensibilidad del método colorimétrico utilizado, sobretodo si los flavonoides se encuentran en bajas concentraciones, formando complejos con otros compuestos o bien en forma de sus precursores estructurales (Aparna y Hema, 2022). En ese sentido, la tabla 4 muestra que la concentración es baja, por lo que al parecer no fueron detectados aunado a la poca sensibilidad del método empleado.

Aunque en algunos casos la diferencia estadística no es significativa, en la mayoría se observa mayor concentración en la temporada de sequía, lo cual es debido a que los flavonoides al igual que los taninos son sintetizados por la planta como un mecanismo de sobrevivencia ante las condiciones de estrés hídrico, al igual que en el caso de la temporada el método de extracción no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las subespecies, siendo nuevamente el extracto etanólico asistido con ultrasonido el que mostró la mayor concentración de flavonoides debido a la polaridad intermedia de la disolución de etanol utilizada, así como del uso del ultrasonido (Santos-Zea et al., 2021; Plaskova y Mlcek, 2023). Nuevamente en ambas subespecies, las hojas maduras fueron las que mostraron la mayor concentración de este metabolito secundario. Siendo en este caso la subespecie *crassispina*, la que mostró la mayor concentración.

Tabla 4. Contenido de flavonoides en *A. salmiana* subespecie *crassispina* y *salmiana*.

Región	Hoja	Método de extracción	Flavonoides	
			mg de Eq quercetina/g de extracto	
			Temporada de Sequía	Temporada de Lluvia
<i>Crassispina</i>	Joven	Acuoso	9.810 ± 0.185 ^{D, a}	9.255 ± 0.092 ^{D, a}
		Acuoso asistido con ultrasonido	12.213 ± 0.185 ^{C, a}	10.518 ± 0.141 ^{C, b}
		Etanólico	12.768 ± 0.185 ^{B, a}	11.518 ± 0.141 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	14.032 ± 0.192 ^{A, a}	12.429 ± 0.131 ^{A, b}
	Madura	Acuoso	8.885 ± 0.092 ^{D, a}	8.608 ± 0.092 ^{D, a}
		Acuoso asistido con ultrasonido	10.179 ± 0.092 ^{C, a}	9.964 ± 0.141 ^{C, b}
		Etanólico	10.703 ± 0.053 ^{B, a}	10.611 ± 0.163 ^{B, a}
		Etanólico asistido con ultrasonido	12.059 ± 0.141 ^{A, a}	11.535 ± 0.141 ^{A, b}
<i>Salmiana</i>	Joven	Acuoso	9.255 ± 0.092 ^{D, a}	9.840 ± 0.152 ^{D, a}
		Acuoso asistido con ultrasonido	10.518 ± 0.141 ^{C, a}	11.412 ± 0.124 ^{C, b}
		Etanólico	11.443 ± 0.141 ^{B, a}	12.460 ± 0.129 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	12.429 ± 0.141 ^{A, a}	13.477 ± 0.152 ^{A, b}
	Madura	Acuoso	8.608 ± 0.092 ^{D, a}	8.885 ± 0.092 ^{D, a}
		Acuoso asistido con ultrasonido	9.964 ± 0.141 ^{C, a}	10.395 ± 0.135 ^{C, b}
		Etanólico	10.611 ± 0.141 ^{B, a}	11.011 ± 0.185 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	11.535 ± 0.141 ^{A, a}	12.183 ± 0.141 ^{A, b}

Fuente: Elaboración propia.

Letras mayúsculas distintas entre las extracciones indican diferencia estadística significativa. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre temporada ($p < 0.05$)

La poca o nula diferencia estadística en el contenido de flavonoides presentes en Agave bajo condiciones de estrés hídrico y sin él, también fue observado por Puente-Garza et al., 2017 *Agave salmiana*, quienes reportan valores más bajos que los encontrados en el presente trabajo. La presencia de flavonoides ya ha sido reportada en *A. angustifolia*, *A. rhodacanta*, *A. americana* (Shegute y Wasihun, 2020; Rodríguez-Zapata et al., 2024).

Los compuestos fenólicos fueron cuantificados (Tabla 5), mostrando un comportamiento parecido con los taninos y flavonoides, ya que en ambas subespecies la mayor concentración fue obtenida en temporada de sequía, lo cual era de esperarse, considerando que ambos metabolitos secundarios pertenecen al grupo de los compuestos fenólicos, los cuales cumplen la función de la defensa de la planta contra los rayos UV, depredadores y patógenos (Alara et al., 2021). En el caso del tipo de extracción, el agua fue el disolvente que mostró mayor capacidad y el uso del ultrasonido nuevamente fue el más conveniente para mejorar la extracción, lo cual está relacionado con la estructura química de los compuestos fenólicos que fueron cuantificados, que al parecer son de naturaleza polar (Alara et al., 2021; Lee et al., 2025)

La presencia de compuestos fenólicos en el género Agave, ha sido documentada ampliamente, en diferentes subespecies entre ellas; *A. americana*, *A. sisalana*, *A. barbadensis*, *A. attenuata*, *A. durangensis*, *A. asperrina*, *A. victoriae-reginae*, *A. lechuguilla*, *A. striata*, *A. shrevei*, *A. wocomahi*, *A. tequilana*, *A. lechuguilla*, *A. amica* (Almaraz-Abarca et al., 2013; Cervantes-Güicho et al., 2024; Niculae et al., 2025).

De manera general, se observó que la mayor acumulación de metabolitos secundarios durante la temporada de sequía puede explicarse principalmente, gracias a la activación de las rutas metabólicas asociadas al metabolismo ácido crasuláceo (CAM), el cual optimiza el uso del agua y favorece la redistribución del carbono hacia compuestos de defensa. Bajo estrés hídrico, el cierre estomático diurno y la fijación nocturna de CO₂ incrementan la eficiencia metabólica, permitiendo que parte del carbono asimilado se canalice hacia la síntesis de polifenoles, taninos y terpenos, compuestos clave en la protección frente a estrés oxidativo, radiación UV y herbívora. (Davis y Ortiz-Camacho, 2023).

Es importante mencionar que las diferencias que se observaron entre *A. salmiana* subespecie *salmiana* y *crassispina* reflejan una regulación diferencial de enzimas biosintéticas, resultado de procesos de adaptación genética a las diferentes condiciones edafoclimáticas. En este sentido, las hojas maduras actúan como órganos prioritarios de defensa, acumulando

metabolitos secundarios, mientras que las hojas jóvenes priorizan los procesos de crecimiento. Estos patrones coinciden con lo reportado para otras especies del género *Agave* y refuerzan el potencial de las hojas —tradicionalmente considerados subproductos— como materia prima para aplicaciones nutraceuticas y farmacológicas dentro de esquemas de economía circular y aprovechamiento sostenible.

El género *Agave*, se ha considerado de relevancia debió a que ha mostrado propiedades antiinflamatorias, que han sido atribuidas a las saponinas, compuestos fenólicos, y terpenos (Álvarez-Chávez et al., 2021). Mientras que los flavonoides (kaempferol, queretina, hecogenina, diosgenina, clorogenina y gentrogenina) que han sido encontrados en hojas de *A. americana*, *A. angustifolia*, *A. tequilana* y *A. salmiana*, han mostrado actividad antioxidante y antimicrobiana (Álvarez-Chávez et al., 2021), los terpenos obtenidos de extractos de agave presentan actividad antifúngica. (Álvarez-Chávez et al., 2021). Así mismo, debido a la actividad antioxidante y anti inflamatoria, que el género *Agave* ha mostrado, se le considera un excelente material para el tratamiento del cáncer e hipertensión (Álvarez-Chávez et al., 2021)

Es por ello, que la importancia del análisis fitoquímico que se realizó en el presente trabajo, radica en determinar la posibilidad de considerar a las hojas de *Agave* como fuente importante de compuestos bioactivos, que puedan ser usados como coadyuvantes en el tratamiento de diferentes enfermedades crónico degenerativas, y establecer en que subespecie, temporada del año o ubicación de la hoja, es más conveniente realizar la extracción. Así mismo, es relevante, toda vez que el *Agave* es considerado un género sustentable y sostenible, que puede ser utilizado en su totalidad contribuyendo en los objetivos; salud y bienestar (ODS 3), producción y consumo responsable (ODS 12), acción por el clima (ODS 13) y vida de ecosistemas terrestre (ODS 15), de la agenda 2030 de la ONU.

Tabla 5. Contenido de compuestos fenólicos totales en *Agave salmiana* subespecie *crassispina* y subespecie *salmiana* en temporada de sequía y lluvia

Región	Tipo de Hoja	Método de extracción	Compuestos fenólicos totales	
			mg de GAE/ g de muestra	
			Temporada de Sequía	Temporada de Lluvia
<i>Crassispina</i>	Joven	Acuoso	1.141 ± 0.019 ^{B, a}	1.165 ± 0.002 ^{A, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	4.310 ± 0.320 ^{A, a}	0.951 ± 0.017 ^{B, b}
		Etanólico	0.900 ± 0.020 ^{B, a}	1.094 ± 0.065 ^{A, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	3.910 ± 0.381 ^{A, a}	0.815 ± 0.007 ^{C, b}
	Madura	Acuoso	3.475 ± 0.314 ^{A, a}	0.776 ± 0.057 ^{C, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	3.564 ± 0.111 ^{A, a}	1.105 ± 0.110 ^{A, B, b}
		Etanólico	2.756 ± 0.133 ^{B, a}	0.883 ± 0.018 ^{B, C, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	3.680 ± 0.321 ^{A, a}	1.160 ± 0.104 ^{A, b}
<i>Salmiana</i>	Joven	Acuoso	4.12 ± 0.101 ^{B, a}	2.366 ± 0.126 ^{A, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	2.943 ± 0.218 ^{B, C, a}	1.877 ± 0.053 ^{B, b}
		Etanólico	12.308 ± 1.212 ^{A, a}	2.206 ± 0.207 ^{A, B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	2.15 ± 0.120 ^{C, a}	2.170 ± 0.096 ^{A, B, a}
	Madura	Acuoso	4.061 ± 0.201 ^{A, a}	24.026 ± 0.653 ^{A, b}
		Acuoso asistido con ultrasonido	2.455 ± 0.111 ^{B, a}	0.648 ± 0.450 ^{B, b}
		Etanólico	2.135 ± 0.215 ^{B, a}	1.114 ± 0.005 ^{B, b}
		Etanólico asistido con ultrasonido	3.999 ± 0.309 ^{B, a}	0.670 ± 0.019 ^{B, b}

Fuente: Elaboración propia.

Letras mayúsculas distintas entre las extracciones indican diferencia estadística significativa.

Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre temporada ($p < 0,05$)

CONCLUSIÓN

En el presente estudio se demostró que la composición fitoquímica de las hojas de *Agave salmiana* subsp. *crassispina* y subsp. *salmiana* está fuertemente influenciada por la subespecie, la estacionalidad, el grado de madurez foliar y el método de extracción. La temporada de sequía favorece significativamente la acumulación de metabolitos secundarios, particularmente taninos, flavonoides y compuestos fenólicos totales, como parte de una respuesta adaptativa al estrés hídrico asociada al metabolismo ácido crasuláceo. Las hojas maduras mostraron mayor concentración de metabolitos de defensa en comparación con las hojas jóvenes, lo que confirma su papel fisiológico en la protección frente a factores bióticos y abióticos. Entre los métodos evaluados, la extracción con etanol al 80% asistida por ultrasonido resultó ser la estrategia más eficiente para la recuperación de compuestos bioactivos, especialmente taninos y flavonoides. Desde una perspectiva de sostenibilidad,

estos resultados respaldan el aprovechamiento integral de las hojas de *Agave salmiana* como fuente de compuestos bioactivos, contribuyendo a la salud y bienestar (ODS 3), producción y consumo responsable (ODS 12), acción por el clima (ODS 13) y conservación de los ecosistemas terrestres (ODS 15). El conocimiento generado proporciona bases científicas para el diseño de estrategias de valorización del agave en regiones semiáridas, promoviendo su uso racional y sostenible.

REFERENCIAS

- Ahumada-Santos, Y. P., Montes-Avila, J., de Jesús Uribe-Beltrán, M., Díaz-Camacho, S. P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J. A., Basilio-Heredia, J., Delgado-Vargas, F. (2013). Chemical characterization, antioxidant and antibacterial activities of six Agave species from Sinaloa, Mexico. *Industrial crops and products*, 49, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.050>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current research in food science*, 4, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E. A., Ávila-Reyes, J. A., Uribe-Soto, J. N., González-Valdez, L. S. (2013). The phenols of the genus Agave (*Agavaceae*). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 4(3), 9-16. <http://dx.doi.org/10.4236/jbmb.2013.43A002>
- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave by-products: An overview of their nutraceutical value, current applications, and processing methods. *Polysaccharides*, 2(3), 720-743. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
- Aparna, B., Hema, B. P. (2022). Preliminary screening and quantification of flavonoids in selected seeds of Apiaceae by UV-visible spectrophotometry with evaluation study on different aluminium chloride complexation reaction. *Indian Journal of Science and Technology*, 15(18), 857-868. <https://doi.org/10.17485/IJST/v15i18.131>
- Arellano, M., Gschaedler, A., Alcazar, M. (2012). Major volatile compounds analysis produced from mezcal fermentation using gas chromatography equipped headspace (GC-HS). *Gas chromatography in plant science, wine technology, toxicology and some specific applications*, 73-88.
- Bermúdez-Bazán, M., Castillo-Herrera, G. A., Urias-Silvas, J. E., Escobedo-Reyes, A., Estarrón-Espinosa, M. (2021). Hunting bioactive molecules from the Agave genus: An update on extraction and biological potential. *Molecules*, 26(22), 6789. <https://doi.org/10.3390/molecules26226789>
- Bermúdez-Bazán, M., Estarrón-Espinosa, M., Castillo-Herrera, G. A., Escobedo-Reyes, A., Urias-Silvas, J. E., Lugo-Cervantes, E., Gschaedler-Mathis, A. (2024). Agave angustifolia Haw. leaves as a potential source of bioactive compounds: Extraction optimization and extract characterization. *Molecules*, 29(5), 1137. <https://doi.org/10.3390/molecules29051137>

- Cervantes-Güicho, V. D. J., Reyes, A. G., Nuncio, A., Sepúlveda-Torre, L., Landa-Cansigno, C., Rodríguez-De la Garza, J. A., Medina-Morales, M. A., Ríos-González, L. J., Morales-Martínez, T. K. (2024). Box-Behnken Design for DPPH free radical scavenging activity optimization from microwave-assisted extraction of polyphenolic compounds from *Agave lechuguilla* Torr. residues. *Processes*, 12(9), 2005. <https://doi.org/10.3390/pr12092005>
- da Silva Carneiro, J., de Jesus Silva, M. C., dos Santos, E. N., Lima, F. L. O., Costa, M. S. F. (2021). Atividades biológicas de *Agave sisalana* com ênfase para a ação antimicrobiana: uma revisão da literatura. *Research, Society and Development*, 10(3), e2510312734-e2510312734. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12734>
- Davis, S. C., Ortiz-Cano, H. G. (2023). Lessons from the history of Agave: ecological and cultural context for valuation of CAM. *Annals of Botany*, 132(4), 819-833. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad072>
- Deshmukh, A. P., Simpson, A. J., Hadad, C. M., Hatcher, P. G. (2005). Insights into the structure of cutin and cutan from *Agave americana* leaf cuticle using HRMAS NMR spectroscopy. *Organic Geochemistry*, 36(7), 1072-1085. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2005.02.005>
- Guzzo, F., Durán, A. G., Rostoll, L. L., Macías, F. A., Simonet, A. M. (2024). Dereplication of New Saponins from *Agave bracteosa*. *Plants*, 13(18), 2570. <https://doi.org/10.3390/plants13182570>
- Holopainen, J. K., Himanen, S. J., Yuan, J. S., Chen, F., Stewart Jr, C. N. (2025). Ecological functions of terpenoids in changing climates. In *Natural Products: Phytochemistry, Botany, Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes* (pp. 1-44). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. . https://doi.org/10.1007/978-3-642-36202-6_129-1
- Iqbal, N., Poór, P. (2025). Plant protection by tannins depends on defence-related phytohormones. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44(1), 22-39. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11291-1>
- Isah, Tasiu. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, 52, 39. Epub 28 de agosto de 2019. <https://dx.doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
- Kumar, K., Srivastav, S., Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
- Lee, J. E., Jayakody, J. T. M., Kim, J. I., Jeong, J. W., Choi, K. M., Kim, T. S., Seo, Ch., Azimi, I., Hyun, J., Ryu, B. (2024). The influence of solvent choice on the extraction of bioactive compounds from Asteraceae: A comparative review. *Foods*, 13(19), 3151. <https://doi.org/10.3390/foods13193151>
- Mendoza, B. M., Fernández, A. G. E., Calderon, Z. G., Vargas, G. A., García, E. A. (2025). Comparison of the antihypertensive effect of maguey (*Agave salmiana*) sap concentrate extracts by *in vitro* and *in vivo* tests. *Functional Foods in Health and Disease-Online* ISSN: 2160-3855; *Print* ISSN: 2378-7007, 15(10), 669-687. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v15i10.1733>

- Mora, J., Pott, D. M., Osorio, S., Vallarino, J. G. (2022). Regulation of plant tannin synthesis in crop species. *Frontiers in genetics*, 13, 870976. <https://doi.org/doi:10.3389/fgene.2022.870976>
- Niculae, M., Hanganu, D., Oniga, I., Burcă, S. A., Tiperciuc, B., Ielciu, I., Pall, E., Bab, T., Burtescu, R. F., Sava, M. A., Benedec, D. (2025). *Agave amica* (Medik.) Thiede & Govaerts (*Asparagaceae*)—Insights into Its Valuable Phenolic Profile and *In Vitro* Antimicrobial, Antibiofilm, Antioxidative, and Antiproliferative Properties. *Antibiotics*, 14(7), 638. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070638>
- Pizzi, A., Laborie, M. P., Candan, Z. (2024). A review on sources, extractions and analysis methods of a sustainable biomaterial: Tannins. *Journal of Renewable Materials*, 12(3), 397.
- Plaskova, A., Mlcek, J. (2023). New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1118761. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118761>
- Puente-Garza, C. A., Meza-Miranda, C., Ochoa-Martínez, D., García-Lara, S. (2017). Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant physiology and biochemistry*, 115, 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.012>
- Quiñones-Muñoz, T. A., Villanueva-Rodríguez, S. J., Torruco-Uco, J. G. (2022). Nutraceutical properties of *Medicago sativa* L., *Agave* spp., *Zea mays* L. and *Avena sativa* L.: A review of metabolites and mechanisms. *Metabolites*, 12(9), 806. <https://doi.org/10.3390/metabo12090806>
- Ramírez Méndez, J. E., Hernández Castillo, F. D., Tucuch Pérez, M. A., Camacho Aguilar, I. I., Arredondo Valdés, R., Villarreal Quintanilla, J. Á. (2023). Efectividad biológica de extractos de *Agave striata* y *Fouquieria splendens* contra *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Biotecnia*, 25(1), 34-42. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1751>
- Revathy, M. S., Elamathi, S., Subrahmaniyan, K., Rajarathinam, P., Anandhi, P., Devi, T. S., Sivakumar, G. (2024). Therapeutic potential of *Agave* spp. in modern healthcare: A comprehensive. *Annals of Phytomedicine*, 13(2), 365-375. <http://dx.doi.org/10.54085/ap.2024.13.2.35>
- Rodríguez-Zapata, A. L., Mora-Frias, J. I., Briano-Elias, M. A., Pérez-Centeno, A., Barrientos-Ramírez, L., Reynoso-Orozco, R., Nava-Villalba, M., Castillo-Romero, A. (2024). Phytochemical analysis and amoebicidal evaluation of different *Agave* species. *Applied Sciences*, 14(5), 1905. <https://doi.org/10.3390/app14051905>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Gonzalez-Aguilar, G. A. (2020). Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: A comparative study of fifteen Indian cultivars. *Journal of food science and technology*, 57, 2423-2432. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04277-w>
- Sanjaya, Y. A., Tola, P. S., Rahmawati, R. (2022). Ultrasound-assisted extraction as a potential method to enhanced extraction of bioactive compound. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 191-198. <http://dx.doi.org/10.11594/nstp.2022.2729>
- Santos-Zea, L., Gutierrez-Urbe, J. A., Benedito, J. (2021). Effect of solvent composition on ultrasound-generated intensity and its influence on the ultrasonically assisted

- extraction of bioactives from agave bagasse (*Agave salmiana*). *Food Engineering Reviews*, 13(3), 713-725. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09260-x>
- Sarwar, M. B., Ahmad, Z., Rashid, B., Hassan, S., Gregersen, P. L., Leyva, M. D. L. O., Nagy, I., Asp, T., Husnain, T. (2019). De novo assembly of *Agave sisalana* transcriptome in response to drought stress provides insight into the tolerance mechanisms. *Scientific reports*, 9(1), 396. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35891-6>
- Shegute, T., & Wasihun, Y. (2020). Antibacterial activity and phytochemical components of leaf extracts of *Agave americana*. *Journal of Experimental pharmacology*, 447-454. <https://doi.org/10.2147/JEP.S258605>
- Soto-Castro, D., Pérez-Herrera, A., García-Sánchez, E., Santiago-García, P. A. (2021). Identification and quantification of bioactive compounds in *Agave potatorum* Zucc. leaves at different stages of development and a preliminary biological assay. *Waste and Biomass Valorization*, 12(8), 4537-4547. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01329-2>
- Thiede, J. (2020). *Agave Agavaceae*. In *Monocotyledons* (pp. 21-311). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Trejo, L., Reyes, M., Cortés-Toto, D., Romano-Grande, E., Muñoz-Camacho, L. L. (2020). Morphological diversity and genetic relationships in pulque production agaves in Tlaxcala, Mexico, by means of unsupervised learning and gene sequencing analysis. *Frontiers in plant science*, 11, 524812. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.524812>
- Trejo-Hernández, L., Grande, E. R., Montoya, A., Reyes, M., Cortés-Toto, D., Soriano, D., Muñoz-Camacho, L. L., Luz-Velázquez, M. L., Carmona-Sánchez, B., Vallejo, M., Dávila-Navarro, D. E., Bello-Cervantes, E. B., Ordaz-Martínez, A. (2025). Diversity, Management, and Reproductive Aspects for Pulque Production in Tlaxcala, México. In *Biodiversity Management and Domestication in the Neotropics* (pp. 1-23). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64203-6_37-1
- Wang, M., Cheong, K. L. (2023). Preparation, structural characterisation, and bioactivities of fructans: A review. *Molecules*, 28(4), 1613. <https://doi.org/10.3390/molecules28041613>

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



 : <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.143>

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Campos Herrera, O. ., González Cruz, L. ., & Bernardino Nicanor, A. . (2026). Diferencias Fitoquímicas entre dos Subespecies de *Agave Salmiana* como Base para su Aprovechamiento Sostenible en Regiones Semiáridas. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, 5(1), 26-47. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.143>