

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Extracto acuoso de pencas de maguey pulquero (*Agave salmiana*) como fuente de fibra dietética y compuestos con capacidad antioxidante

Aqueous extract of agave pulquero (*Agave salmiana*) leaves as a source of dietetic fiber and compounds with antioxidant capacity

Authors/Autores: Ayala Niño, A., Pavón Silva, T.B., Zarazúa Aguilar, Y., Sánchez Franco, J.A.

ID: e1772

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1772>

Received/Fecha de recepción: October 01th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: February 24th 2025

Available online/Fecha de publicación: March 12th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Ayala Niño, A., Pavón Silva, T.B., Zarazúa Aguilar, Y., Sánchez Franco, J.A. (2025). Aqueous extract of agave pulquero (*Agave salmiana*) leaves as a source of dietetic fiber and compounds with antioxidant capacity. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1772. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1772>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Extracto acuoso de pencas de maguey pulquero (*Agave salmiana*) como fuente de fibra dietética y compuestos con capacidad antioxidante

Aqueous extract of agave pulquero (*Agave salmiana*) leaves as a source of dietetic fiber and compounds with antioxidant capacity

***Agave salmiana*: una fuente de fibra y antioxidantes/**

***Agave salmiana*: a source of fiber and antioxidants**

Ayala Niño, A.¹ (ID), Pavón Silva, T.B. ² (ID), Zarazúa Aguilar, Y. ² (ID), Sánchez Franco, J.A. ^{1*} (ID)

¹Adscripción: Área Académica de Nutrición, Unidad Académica Profesional Acolman. Universidad Autónoma del Estado de México. Camino de Caleros, 11, Acolman. C.P 55875, Acolman, Estado de México, México.

²Adscripción: Área Académica de Química, Unidad Académica Profesional Acolman. Universidad Autónoma del Estado de México. Camino de Caleros, 11, Acolman. C.P 55875, Acolman, Estado de México, México.

*Corresponding Author:

José Antonio Sánchez-Franco. Área Académica de Nutrición, Unidad Académica Profesional Acolman. Universidad Autónoma del Estado de México. Camino de Caleros, 11, Acolman. C.P 55875, Acolman, Estado de México, México. Teléfono: (55) 9193 1350. E-mail: jasanchezf@uaemex.mx

RESUMEN

El *Agave salmiana* es un maguey endémico mexicano, cuyo principal producto es el pulque, fermento de su aguamiel. Cuando cesa la producción de aguamiel, las pencas del maguey son utilizadas principalmente como forraje, por lo que el objetivo de este estudio fue elaborar y evaluar extractos acuosos de pencas de maguey. Para su obtención se utilizó agua a 70 °C y tres estadios de pencas, sin raspar (US), siendo raspado (PS) y completamente raspado (FS). A los extractos se les cuantificó el contenido de compuestos fenólicos, ácido ascórbico, capacidad antioxidante (DPPH) y actividad quelante, durante su elaboración y hasta ocho meses de almacenamiento. El contenido de compuestos fenólicos (2913.33 ± 277.9 mg GAE/L), ácido ascórbico (758.02 ± 56.57 mg AA/L) y la capacidad antioxidante (930.7 ± 44.09 μ mol TE/L) aumentaron durante la elaboración de los extractos. Se cuantificó un 12.6 - 16.4 % de fibra dietética en los extractos. Además, se identificaron compuestos fenólicos por HPLC UV-VIS (kaempferol y quercetina) en los tres extractos elaborados. Al octavo mes de almacenamiento, se observó un aumento de los compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante en los extractos PS y FS. Con estos resultados se concluyó que las pencas de maguey *A. salmiana* pueden ser empleadas para la obtención de extractos acuosos ricos en compuestos bioactivos con capacidad antioxidante y fibra dietética, sustancias implicadas en el tratamiento y prevención de enfermedades.

PALABRAS CLAVE:

Compuestos bioactivos, Vida de anaquel, Actividad quelante, Ácido ascórbico, Compuestos fenólicos, Alimento funcional, Capacidad antioxidante, Flavonoide.

ABSTRACT

Agave salmiana is a Mexican endemic maguey, primarily used to produce pulque, a fermented beverage derived from its sap (aguamiel). When the sap production ceases, the maguey leaves (pencas) are mainly used as forage. This study aimed to prepare and evaluate aqueous extracts from maguey leaves. The extracts were obtained using water at 70 °C and three leaf conditions: unscraped (US), partially scraped (PS), and fully scraped (FS). The extracts were analyzed for phenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant capacity (DPPH), and chelating activity during preparation and up to eight months of storage. The phenolic compound content (2913.33 ± 277.9 mg GAE/L), ascorbic acid content (758.02 ± 56.57 mg AA/L), and antioxidant capacity (930.7 ± 44.09 μ mol TE/L) increased during extract preparation. Dietary fiber content ranged between 12.6 – 16.4 % in the extracts. Additionally, phenolic compounds (kaempferol and quercetin) were identified in all three extracts using HPLC UV-VIS. By the eighth month of storage, phenolic compounds and antioxidant capacity increased in the PS and FS extracts. These findings suggest that *A. salmiana* maguey leaves can be used to produce aqueous extracts rich in bioactive compounds with antioxidant capacity and dietary fiber, which are beneficial in treating and preventing diseases.

KEYWORDS:

Bioactive compounds, Shelf life, Chelating activity, Ascorbic acid, Phenolic compounds, Functional food, Antioxidant capacity, Flavonoid.

Introducción

La planta del agave o maguey pulquero (*A. salmiana*) se considera como una suculenta que está ampliamente distribuida a nivel mundial, el género *Agave* comprenden acerca de 210 especies, sólo 159 son endémicas de México, de las cuales, 40 se destinan para la producción de bebidas alcohólicas como el pulque, bebida prehispánica de gran interés cultural (García-Mendoza, *et al.* 2019).

El maguey pulquero se cultiva principalmente en la zona centro de México, con mayor proporción en el Estado de México e Hidalgo, en donde las diferentes partes de la planta son empleadas en diversos propósitos (Lara-Avila, *et al.* 2017). El corazón o piña del maguey tiene el uso primordial para la producción y concentración del aguamiel, sustancia fermentada que da vida al pulque, bebida alcohólica de color blanquecina, viscosa, ligeramente ácida y que presenta una relevancia nutricional por su alto contenido de sustratos y microorganismos, identificados como prebióticos y probióticos (Escalante, *et al.* 2016) y que cuando se consumen confieren efectos positivos en la salud (Cunningham, *et al.*, 2021).

Cuando el aguamiel es concentrado, se obtiene un jarabe de maguey el cual ha ganado popularidad dado que se relaciona como producto saludable al ser posicionado como alimento funcional destinado a personas que viven con diabetes (González-Montemayor, *et al.* 2019). Para la extracción de aguamiel se lleva a cabo una técnica de “raspado” en el maguey adulto, actividad que tarda más de cinco años para su maduración (Valdivieso-Solís, *et al.* 2021). Se ha reportado que, durante el proceso de raspado y la maduración del maguey, se tiene un impacto sobre la concentración de saponinas, fibra soluble y carbohidratos (Pinos-Rodríguez, *et al.* 2008; Puente-Garza, *et al.*, 2017^a), sustancias de interés por sus efectos positivos sobre ciertas patologías.

Las pencas de maguey son utilizadas comúnmente para la producción de platillos gastronómicos, sin embargo, no siempre son aprovechadas al máximo o existe la pérdida de uso. Las pencas del maguey representan hasta el 50 % de la masa de la planta y en muchos casos las pencas son desperdiciadas en el lugar de donde se ha cosechado, lo cual podría representar un peligro ambiental debido a que las pencas son un reservorio para la producción de microorganismos patógenos, así como insectos y roedores (Velázquez-De Lucio, *et al.*, 2024).

Por lo contrario, existe evidencia que atiende que el aprovechamiento de las pencas radica en una fuente rica de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, fibra dietética, fenoles y flavonoides, sustancias benéficas para la salud (Medina-Mendoza, *et al.*, 2022).

La fibra dietética es una parte de la dieta de suma importancia en la salud humana, sin embargo, se reconoce que ha existido una disminución del consumo de la fibra en años recientes, consecuencia de la extensa incorporación de alimentos ultra procesados y de dietas, como la occidental. Dicho comportamiento trae como consecuencia el desarrollo de enfermedades no transmisibles, especialmente en aquellos individuos con menor consumo de fibra soluble e insoluble, ante ello la situación puede cambiar con la modificación de la alimentación y los estilos de vida correctos (Zhi-Wei, *et al.* 2021).

Por lo que el objetivo del presente estudio es la obtención de un extracto acuoso a partir de las pencas de maguey (*A. salmiana*) como fuente de fibra dietética y compuestos con capacidad antioxidante para la formulación de un futuro alimento funcional. Además, se establece que es la primera investigación en la que se ocupa un extracto de la peca de maguey, una planta de origen del centro de México con relevancia cultural y de usos.

Material y Métodos

Materia prima

Las pencas de maguey fueron recolectadas en el municipio de Otumba de Gómez Farias, Estado de México, México durante los meses de febrero y marzo del año 2023. Las pencas fueron cosechadas en la misma zona de cultivo y se ocuparon tres estadíos diferentes de raspado del maguey con relación a la producción de aguamiel, considerando que cada maguey tiene una producción aproximada de seis meses de aguamiel: 1) US, 2) PS y, 3) FS. Todos los magueyes fueron similares en edad (aproximadamente 12 años). Una vez que las pencas fueron cosechadas, se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Procesamiento de las pencas de maguey

Las pencas fueron limpiadas, peladas y cortadas en piezas pequeñas para licuarlas. Posteriormente, se llevaron a calentamiento en agua a 70 °C durante 15 minutos para la extracción de compuestos. La fibra insoluble fue retirada y extruida manualmente para obtener la mayor parte de sólidos del extracto. El líquido obtenido fue concentrado a temperatura constante de 45 °C por calentamiento directo en estufa (Estufa industrial con horno, Coriat ©, México) hasta obtener una concentración de 35 ± 1 °Brix (Refractómetro portátil FG-113 Brix/ATC 0~32 %, The scientific ©, U.S.A.), obteniendo alícuotas cada 15 min (hasta 45 min) para su posterior análisis, de esta manera, los extractos presentaron la misma concentración de sólidos solubles totales. Las muestras finales fueron congeladas y liofilizadas (Liofilizadora Labconco ©, FreeZone6, Kansas USA.) durante cuatro días a una temperatura constante de -55 ± 1 °C y vacío constante de 0.140 mbar. Por último, se mantuvieron en almacenamiento por refrigeración durante ocho meses. Las determinaciones fueron llevadas a cabo cada dos meses de almacenamiento. Para todas las determinaciones, los extractos liofilizados fueron rehidratados al 65 %.

Determinación de composición proximal

El porcentaje de humedad se determinó mediante el método por secado en estufa (Método Oficial de la AOAC 920.151, 2006). Para ello, se tararon los crisoles en los que se pesó una alícuota igual a cinco gramos de la muestra, la cual fue posteriormente introducida al horno de secado (115 °C) por tres horas hasta que se obtuvo su peso constante. Por último, se pesó el crisol con la muestra y se realizó la diferencia, se obtuvo el porcentaje de agua contenida (Horno eléctrico de secado Scorpion Scientific ©, México).

El porcentaje de proteína se evaluó por el método Kjeldahl (Método Oficial de la AOAC 920.152, 2006) con el equipo automático Kjeldahl (Sistema de Digestión Kjeldatherm © (digestor), Alemania), el cual determinó la concentración de nitrógeno presente en la muestra y se multiplicó por el factor de conversión (6.25) y se obtuvo porcentaje de proteína. El método se basó en la digestión de un gramo de muestra, la cual fue preparada con 15 mL de ácido sulfúrico concentrado, una tableta catalizadora Kjeltabs CX y dos mL de agua desionizada. Durante la digestión se formó sulfato de amonio que en presencia de un exceso de hidróxido de sodio al 32 % liberó amoníaco, el cual fue

destilado al recibir ácido bórico al 3 % que formó borato de amonio el cual posteriormente fue valorado con ácido clorhídrico al 0.98 N.

El método que se utilizó para el contenido de cenizas (Mufla Furnace © 1500 Mod. FDI535M Thermolyne, U.S.A.) fue el gravimétrico por incineración de la muestra (Método Oficial de la AOAC 940.26, 2006). Se tararon los crisoles en los que se pesaron cinco gramos de las muestras, las cuales fueron deshidratadas y posteriormente calcinadas a fuego directo con mechero en campana de extracción. Después de ser calcinadas, se introdujeron a la mufla (550 °C) por cinco horas para ser incineradas. Por último, se enfriaron en desecador durante 15 min, y se pesó el residuo. Se reportó en porcentaje de cenizas (AOAC, 2006).

Determinación de fibra dietética total

La determinación de fibra dietética total fue obtenida por el procedimiento enzimático gravimétrico del equipo de fibra dietética SIGMA (Total Dietary Fiber Kit ©, SIGMA TDF100).

Se prepararon las alícuotas por cuadruplicado para someterlas a un proceso de digestión enzimática, esta consistió en la degradación de las proteínas (proteasa) y el almidón (α -amilasa, amiloglucosidasa). Posteriormente se realizó una precipitación con etanol al 78 %, seguido de etanol al 95 % y por último acetona al 99.7 %, en crisoles Gooch (F 40-60 micras). Al residuo se le determinó proteína y cenizas como se describió anteriormente.

Para la determinación de fibra dietética se empleó la Ecuación 1.

$$\text{Ecuación 1: \%FDT} = \frac{(\text{Masa residual} - \text{masa de proteína} - \text{masa de cenizas} - \text{blanco})}{\text{Masa de la muestra}} * 100$$

Azúcares reductores

Los azúcares reductores fueron determinados acorde al método reportado por Bouaziz, *et al.* (2014), en el cual se utilizó ácido 3, 5-dinitrosalisílico (DNS) para provocar la oxidación de los RS y al mismo tiempo su propia reducción.

El método se inició con la preparación de la solución de DNS. En la técnica para la curva y la muestra de estudio se vertieron 30 μ L de muestra y 180 μ L de DNS, se incubaron en agua en ebullición durante 15 min, posteriormente se les agregó 1,230 μ L de agua desionizada para atemperar la muestra y se realizó la lectura de absorbancia de 540 nm.

Se empleó una curva estándar con solución stock de glucosa diez mg/mL, de la cual se obtuvo las siguientes concentraciones: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/mL, posteriormente se tomaron 30 μ L de cada concentración y se les aplicó el método antes descrito. La absorbancia medida fue de 540 nm (Lector de microplacas Biotek Power Wave © XS, U.S.A.), y los resultados fueron reportados como mg de azúcares reductores por litro (mg AR/L) ($y = 0.1846x - 0.0022$, $R^2 = 0.9996$).

Preparación de muestras para análisis de extracción

Se utilizó un g del extracto de penca liofilizada a la cual se le adicionó diez mL de metanol-agua (80:20; v/v) y se agitó en vórtex para su mezcla. Una vez obtenida la mezcla homogénea, fue centrifugada (Centrífuga Beckman Coulter ©, AllegraTM 25R California) a 3,000 rpm durante cinco min a 4 °C. Se recuperó el sobrenadante por concentración en rotavapor (Rotavapor Büchi labortechnik ©, GAE CH-9230 Suiza), por último, fue resuspendido con diez mL de metanol-agua (50:50; v/v) y almacenado a -20 °C para su posterior análisis (Puente-Garza, *et al.* 2017^b). Los tres extractos fueron preparados de la misma manera para cada una de las muestras.

Determinación de compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos fue cuantificado por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Georgé, *et al.* (2005). Se empleó una curva estándar de ácido gálico para comparar los resultados de las muestras tratadas.

Las muestras utilizadas fueron diluidas 1:50 con agua desionizada. Al igual, se realizó una curva estándar de la concentración de compuestos fenólicos, para esto se preparó una solución con 400

mg de ácido gálico por litro de agua desionizada. A partir de esta solución se prepararon las siguientes concentraciones: 0, 100, 200 y 300 mg/L, se tomaron 100 μ L de cada concentración para la obtención de la curva.

La técnica para la curva y la muestra de estudio consistió en verter 100 μ L de solución de Folin-Ciocalteu (1:10 en agua desionizada) y 400 μ L de solución de carbonato de sodio al 7.5 %. Las muestras se agitaron en vórtex y se reposaron a temperatura ambiente durante 30 min. La absorbancia fue medida a 764 nm (Lector de microplacas Biotek Power Wave © XS, U.S.A.) y los resultados fueron reportados como mg de ácido gálico por litro (mg GAE/L) ($y = 0.005x + 0.032$, $R^2 = 0.998$).

Quantificación de ácido ascórbico

Se empleó el método colorimétrico para ácido ascórbico descrito por Dürüst, *et al.* (1997). Consistió en el uso del reactivo 2, 6-diclorofenolindofenol (DCPI) tanto para las muestras como para la curva estándar de referencia de ácido ascórbico.

Inicialmente se realizó una dilución 1:100 de la muestra en agua desionizada y se prepararon las siguientes soluciones: DCPI, amortiguador de acetatos al uno M con pH de 6 y solución de ácido ascórbico. Se realizó la curva estándar, para esto se efectuaron concentraciones a partir de la solución de ácido ascórbico: 0, 10, 20, 30, 40, y 50 mg/L, se tomaron 100 μ L de cada concentración para la obtención de la curva.

La técnica para la curva y la muestra de estudio se realizó vertiendo 100 μ L de la muestra previamente diluida, 100 μ L de amortiguador de acetatos y 800 μ L de DCPI. Se utilizó ácido oxálico como blanco al 0.4 %.

La absorbancia fue medida a 520 nm (Lector de microplacas Biotek Power Wave © XS, U.S.A.) y los resultados fueron expresados como mg de ácido ascórbico por litro (mg AA/L) ($y = -0.0027x + 0.1498$, $R^2 = 0.9995$).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue calculada por el método de 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH, radical libre estable), descrita por Morales & Jiménez-Pérez (2001), la cual fue comparada con una curva estándar de Trolox (sustancia susceptible de atrapar radicales libres).

Las muestras se diluyeron 1:9 y se realizó la solución de DPPH al 0.07 % en metanol. Se realizó una curva estándar de Trolox, la cual es la molécula de referencia con las siguientes concentraciones en etanol: 0, 50, 100, 200 y 300 μ mol Trolox/L, para la obtención de la curva.

Para realizar la técnica para la curva y la muestra de estudio, se vertieron 100 μ L de la muestra diluida y 500 μ L de la solución de DPPH, se agitaron en vórtex y se reposaron a temperatura ambiente durante 60 min, transcurrido el tiempo se centrifugaron a 10,000 rpm/cinco min, a 4 °C y se midió la absorbancia del sobrenadante a 517 nm (Lector de microplacas Biotek Power Wave © XS, U.S.A.), y los resultados fueron expresados como μ mol equivalentes de Trolox por litro (μ mol TE/L) ($y = -0.0012x + 0.9615$, $R^2 = 0.9922$).

Determinación de actividad quelante

Para la determinación de la actividad quelante se empleó el método descrito por Gulcin, *et al.* (2003). Consistió en la actividad quelante de la molécula de referencia ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) del ión ferroso (Fe^{2+}).

El método consistió en verter 100 μ L de muestra en viales Eppendorf ámbar, se le adicionó 50 μ L de solución de cloruro férrico y 450 μ L de metanol, se agitaron en vórtex y se reposaron durante cinco min a temperatura ambiente, después se le agregaron 400 μ L de ferrozina y se reposaron de nuevo a temperatura ambiente por diez min, transcurrido el tiempo se realizó la lectura de absorbancia. Como agente quelante de referencia se utilizó al EDTA a 0.1 M y como muestra control se empleó agua desionizada en las mismas condiciones.

La absorbancia fue leída a 562 nm (Lector de microplacas Biotek Power Wave © XS, U.S.A.), reportando los resultados como porcentaje de actividad quelante calculada con la Ecuación 2.

$$\text{Ecuación 2. \%AQ} = \frac{\text{AC} - \text{AM}}{\text{AC}} * 100$$

Donde:

%AQ = Porcentaje de actividad quelante.

AC = Absorbancia control a 562 nm.

AM = Absorbancia de la muestra a 562 nm.

Identificación de compuestos fenólicos

La identificación de compuestos fenólicos fue llevada a cabo mediante el equipo HPLC UV/VIS (Agilent ©, 1100 Series, Waldbronn Alemania) para los tres extractos de penca de maguey y su comparación entre ellos. La identificación fue realizada acorde a Puente-Garza, *et al.* (2017^b), se empleó una columna Zorbax Eclipse © XDB-C18, 4.6 X 150 mm (cinco µ). Las fases móviles consistieron en: fase A (agua con 0.1 % de ácido fórmico), y fase B (acetonitrilo con 0.1 % ácido fórmico) a flujo de 0.8 mL/min.

El gradiente fue configurado y ejecutado de la siguiente manera: el 82 % de la fase A se mantuvo durante los primeros 15 min y después fue disminuido al 25% durante diez min, fue mantenido durante cinco min antes de reducirse al 0 % en diez min para la incorporación únicamente con el 100 % de la fase B durante diez min. Los datos fueron colectados a 340 nm para cuantificar el contenido de flavonoides mediante el uso de estándares de referencia de kaempferol y quercetina (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO).

Los resultados se compararon con los estándares de referencia tratados con las mismas condiciones según el método de análisis. Los cromatogramas se obtuvieron y analizaron mediante el software HP Agilent ©, ChemStation, California, E.U. Todos los disolventes utilizados fueron de grado HPLC.

Análisis microbiológico

Se realizó el recuento de mesófilos aerobios en medio Agar Métodos Estándar, incubado a 30 °C (Incubadora Precision Innovents © 30 °C, Thelco Laboratory, U.S.A.) durante 48 horas (Richardson, 1985). Recuento de *Enterobacteriaceae* en agar bilis rojo violeta glucosado (VRBG), incubado a 37 °C (Incubadora Felisa © 37 °C, Mod. F3133D, México) durante 24 horas (Westhoff, 1981) en los meses cero, dos, cuatro, seis y ocho de almacenamiento en refrigeración.

Los resultados se reportaron en Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/mL).

Diseño experimental

Para la experimentación de extracción de compuestos bioactivos se utilizó un diseño experimental 4x4 con tres repeticiones, la cual se asignó a las determinaciones para la capacidad antioxidante: compuestos fenólicos, ácido ascórbico, DPPH y actividad quelante (4) por el tiempo de extracción de compuestos (4) (minutos 0, 15, 30 y 45).

Para el contenido de compuestos bioactivos y su bioactividad durante el almacenamiento se empleó un diseño 5x3, con tres repeticiones. Se estableció el contenido de compuestos fenólicos, ácido ascórbico, DPPH, actividad quelante y azúcares reductores (5) por los extractos de penca de maguey *A. salmiana* (3) (US, PS y FS).

Análisis estadístico

Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado. Los compuestos fenólicos, ácido ascórbico, azúcares reductores, la capacidad antioxidante y la actividad quelante, así como la actividad microbiológica, fueron cuantificados en almacenamiento por refrigeración durante ocho meses. Los datos obtenidos fueron procesados en un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y comparación por pares de Tukey con una significancia del 5 % para las medias. El análisis estadístico se realizó comparando los resultados en el mismo tratamiento y entre tratamientos. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software SPSS (IBM SPSS © Statistics, version 25, 2022).

Resultados y Discusión

Los compuestos fenólicos, ácido ascórbico, capacidad antioxidante por DPPH y actividad quelante fueron cuantificados en el transcurso de la extracción acuosa de la penca de maguey (*A. salmiana*). Durante el proceso, se observó que el contenido de compuestos fenólicos (Figura 1: A) y de ácido ascórbico (Figura 1: B) tuvieron una concentración mayor al finalizar el tratamiento de extracción utilizado, el cual tuvo como consecuencia el incremento en la capacidad antioxidante medida por el método de DPPH (Figura 1: C). Por otra parte, la actividad quelante no presentó cambios significativos desde el inicio hasta el final del tratamiento utilizado (Figura 1: D). Este comportamiento ha sido relacionado en múltiples estudios, en donde, la capacidad antioxidante ha mostrado un perfil de actividad dependiente de la concentración, en donde el incremento de los valores se ve reflejado por una mayor acumulación de compuestos con capacidad antioxidante (Manssouri, *et al.* 2020).

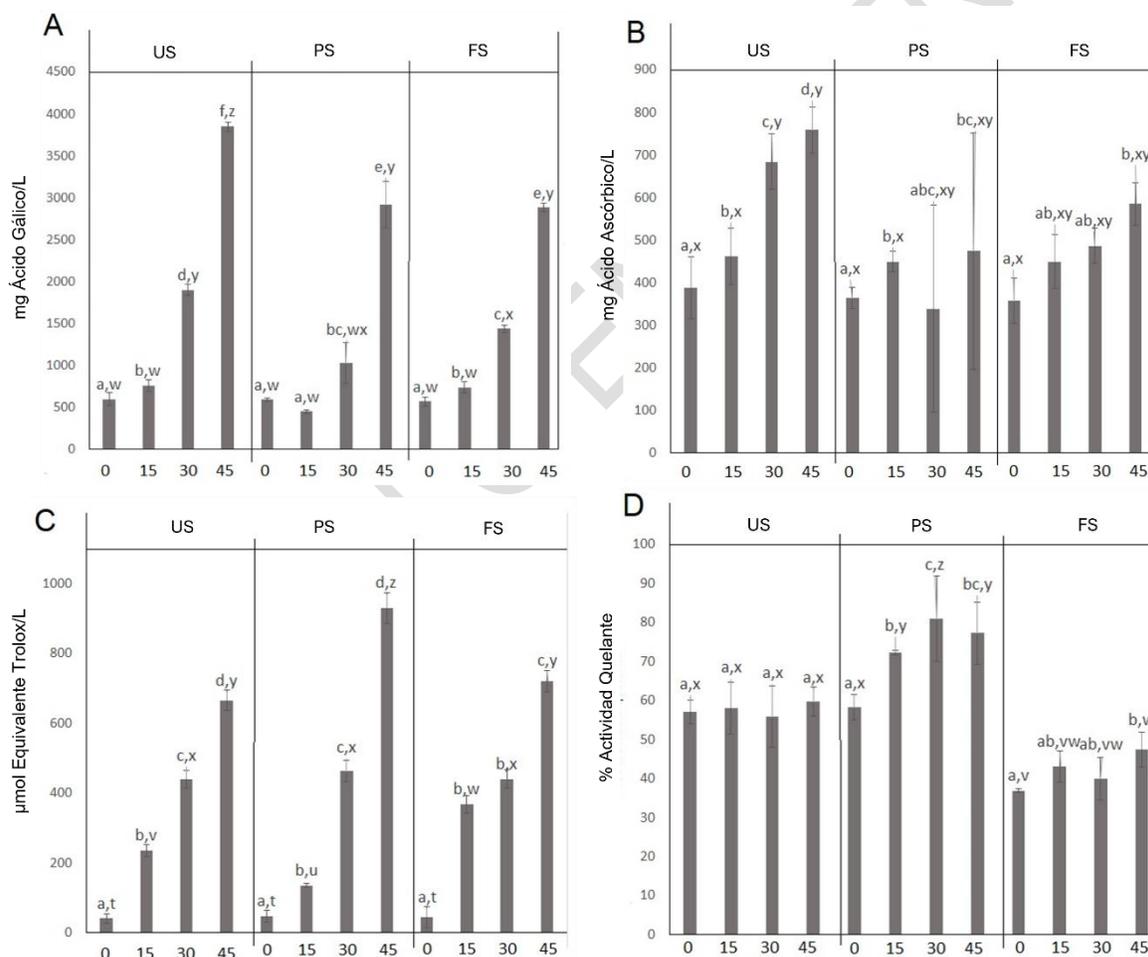


Figura 1. Contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante la elaboración del extracto acuoso de pencas del *A. salmiana*.

Se sabe que la aplicación de tratamientos térmicos en la matriz alimentaria puede romper diferentes membranas que contienen compuestos bioactivos. La ruptura de dichas membranas permite la liberación de compuestos con capacidad antioxidante, como los compuestos fenólicos

(fenoles, flavonoides y antocianinas), dicho comportamiento se observó en el presente estudio, debido a que existió un incremento en la concentración de compuestos fenólicos y por ende, un incremento también de su capacidad antioxidante al finalizar el proceso de extracción (Barba, *et al.* 2017).

Durante el proceso de extracción de compuestos, no se alcanzaron temperaturas de ebullición, sin embargo, se efectuó la eliminación de una parte importante de humedad, obteniendo 35 °Brix aproximadamente. El efecto de concentración en la extracción podría relacionarse al incremento de los compuestos fenólicos y al ácido ascórbico, así como su capacidad antioxidante. Al igual, se observó que el extracto de la penca US presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos y de ácido ascórbico al final de la extracción de compuestos, comparado con el PS y el FS, mientras que el extracto obtenido de la penca PS contuvo la mayor capacidad antioxidante y actividad quelante en los minutos 45 y 30 respectivamente, durante proceso de extracción.

Así como se presentó un incremento de compuestos fenólicos y ácido ascórbico, también pudo reflejarse el aumento en la concentración de saponinas, moléculas que ofrecen actividad biológica importante (Brindhadevi, *et al.* 2023). Estas sustancias se encuentran en las pencas de maguey en una concentración elevada (Puente-Garza *et al.* 2021). Leal-Díaz, *et al.* (2015), han descrito que existe un decremento de saponinas cuando el maguey está maduro, sin embargo, en dicho estudio, los resultados fueron obtenidos del aguamiel, no de la propia penca. Por otra parte, un estudio publicado por Pinos-Rodríguez, *et al.* (2008) mencionaron que existió un incremento de saponinas en las pencas en la etapa madura del maguey, por lo tanto, la fase de madurez sería un factor importante en el contenido de saponinas.

En la Tabla 1 se puede observar la composición fisicoquímica del extracto acuoso de la penca de maguey en sus tres estadios, los cuales no mostraron diferencias significativas en el parámetro de humedad. Se observa que existió mayor contenido de proteína en el extracto FS. También, se encontró mayor contenido de cenizas y fibra dietética en los extractos US y FS, teniendo, por lo tanto, menor contenido de estos componentes en el extracto PS. Resultados similares fueron descritos por Pinos-Rodríguez, *et al.* (2008), quienes reportaron que existe un mayor contenido de proteína y fibra dietética en las pencas de maguey que presentan mayor madurez. Las diferencias entre la composición fisicoquímica de las pencas de maguey, radica en el metabolismo de la planta (Pinos-Rodríguez, *et al.* 2008).

Tabla 1. Composición fisicoquímica del extracto acuoso de pencas del *A salmiana*.

Compuestos	US	PS	FS
% humedad	63.4±0.20 ^a	64.4±0.06 ^a	58.6±0.20 ^a
% proteína	0.82±0.02 ^b	0.60±0.0 ^a	1.48±0.03 ^c
% cenizas	2.77±0.0 ^b	1.85±0.04 ^a	2.61±0.0 ^b
% fibra dietética	15.1±0.02 ^b	12.6±0.0 ^a	16.4±0.01 ^b
pH	5.12±0.01 ^a	5.01±0.01 ^a	5.05±0.01 ^a
° Brix	36±0.40 ^a	35±0.30 ^a	35±0.50 ^a
Acidez titulable	6.9±0.03 ^a	6.4±0.01 ^a	6.62±0.05 ^a

Letras diferentes son significativamente diferentes según la significancia de rango múltiple en $p < 0.05$.

El alto contenido de fibra dietética en los extractos US y FS, se debió a la concentración de sólidos totales comprobados por la medición de grados Brix, de ésta manera, se consideraría que los extractos de la penca de maguey podrían promover efectos positivos en los consumidores, por lo que si se compara el contenido de fibra con matrices alimentarias como nopal (Hernández-Becerra, *et al.*, 2022), cahuiche (Sánchez-Franco, *et al.*, 2019), tortilla (Domínguez-Zarate, *et al.*, 2019), la composición y contenido en los extractos de la penca de maguey es mayor o igual que alimentos mínimamente tecnificados.

Como se ha mencionado anteriormente, compuestos fenólicos, ácido ascórbico, capacidad antioxidante por DPPH y la actividad quelante fueron monitoreados durante el almacenamiento hasta los 8 meses bajo condiciones de refrigeración 4 °C.

Como se puede observar en la Tabla 2, los compuestos fenólicos tuvieron un incremento en los 3 extractos (US, PS y FS) durante su conservación. El extracto con mayor contenido de compuestos fenólicos fue el FS. Se ha reportado la presencia de compuestos como fenilalanina amoniaco-liasa, el cual es activado ante estrés o la presencia de temperaturas bajas, efecto resultante en el aumento de la concentración de compuestos fenólicos durante el almacenamiento en refrigeración (King, *et al.* 2022).

Tabla 2. Contenido de compuestos bioactivos y cambios de su bioactividad durante su almacenamiento.

Compuestos bioactivos	Extracto	Meses				
		0	2	4	6	8
Compuestos fenólicos mg AG/L	US	3847±55.07 ^{b,yz}	3873.3±15.27 ^{b,z}	3813.33±64.2 ^{b,y}	3806.66±61.65 ^{b,y}	3343.33±77.85 ^{a,x}
	PS	2913.33±77.9 ^{a,v}	2873.33±15.27 ^{a,uv}	2966.66±55.07 ^{b,v}	2932.33±15.27 ^{b,v}	3213.33±64.29 ^{c,w}
	FS	2850.0±50 ^{a,v}	3156.66±40.41 ^{b,w}	3461.66±53.71 ^{c,x}	3643.33±17.87 ^{d,x}	3715.66±61.63 ^{e,y}
Ácido ascórbico mg AA/L	US	758.02±56.57 ^{d,z}	696.29±65.75 ^{c,y}	683.95±42.76 ^{c,y}	585.18±56.57 ^{b,x}	498.76±21.83 ^{a,y}
	PS	474.07±6.96 ^{a,w}	511.11±37.07 ^{b,wx}	535.80±21.38 ^{b,wx}	548.14±37.08 ^{b,wx}	486.42±37.07 ^{a,w}
	FS	585.18±37.03 ^{ab,x}	597.53±56.57 ^{b,x}	585.18±56.57 ^{ab,x}	561.72±42.7 ^{ab,wx}	523.45±21.38 ^{a,wx}
Capacidad antioxidante µmol ET/L	US	665.27±29.26 ^{a,v}	804.16±48.11 ^{bc,x}	910.50±50.23 ^{c,y}	862.50±12.78 ^{c,xy}	763.83±30.04 ^{b,w}
	PS	930.7±44.09 ^{ab,y}	887.83±44.09 ^{a,xy}	849.61±48.11 ^{a,xy}	937.50±25.45 ^{ab,y}	996.61±49.72 ^{a,z}
	FS	730.83±30.04 ^{b,w}	629.16±25.81 ^{a,v}	599.16±30.04 ^{a,v}	754.16±26.78 ^{b,w}	796.04±12.72 ^{c,x}
% Actividad quelante	US	59.67±2.30 ^{a,w}	54.15±2.04 ^{c,y}	50.49±1.90 ^{d,z}	52.82±1.16 ^{c,y}	46.24±2.30 ^{b,x}
	PS	77.23±1.43 ^{b,yz}	75.85±1.16 ^{ab,y}	79.52±0.67 ^{b,z}	68.75±2.04 ^{a,x}	69.53±1.70 ^{a,x}
	FS	47.47±3.49 ^{b,v}	54.25±1.29 ^{c,u}	55.25±0.94 ^{c,u}	49.52±1.16 ^{b,v}	39.46±0.49 ^{a,u}
Azúcares reductores mg AR/L	US	274.85±3.79 ^{a,y}	279.90±1.74 ^{a,y}	281.24±8.81 ^{a,y}	274.69±1.36 ^{a,y}	293.29±4.81 ^{b,z}
	PS	123.29±7.93 ^{a,r}	139.10±3.80 ^{b,s}	147.47±4.43 ^{b,t}	156.61±5.68 ^{c,t}	175.98±4.42 ^{d,u}
	FS	239.8±4.41 ^{a,w}	242.69±3.61 ^{a,w}	259.87±4.81 ^{b,x}	279.05±2.05 ^{c,y}	294.29±2.36 ^{d,z}

Desviación estándar (DE, ±): (n = 3); Valores en la misma columna con diferentes letras en superíndices son estadísticamente significativos ($p < 0.05$), a,c en el mismo tratamiento; v,z entre tratamientos. AG: ácido gálico; AA: ácido ascórbico; ET: equivalente de trolox; AR: azúcares reductores.

A pesar de ello, el comportamiento puede diferir de una muestra a otra por la presencia de los compuestos fenólicos, madurez de la penca, actividad enzimática, contenido de proteínas y carbohidratos (algunos de ellos con efectos de crioprotección), biosíntesis durante y después de la cosecha (Neri, *et al.* 2020). Los compuestos fenólicos al tener un incremento durante el almacenamiento, se relaciona a la degradación celular, la cual permite la liberación de dichos compuestos desde la estructura celular (Sablani, 2015).

Por otra parte, se observó una disminución del ácido ascórbico en los tres extractos, remarcando un mayor deterioro en el extracto US. Se ha reportado que las temperaturas elevadas y la actividad de agua son condiciones que pueden acelerar las tasas de pérdida del contenido de ácido ascórbico (Lee & Labuza, 1975), intención por la cual las condiciones de los extractos fueron deshidratados y almacenados bajo congelación (-16 °C).

Por consecuencia, existió una disminución aproximada del 25 % de ácido ascórbico en el extracto US, se podría relacionar a la presencia de iones Fe^{3+} , los cuales tiene la capacidad de acelerar o aumentar la oxidación del ácido ascórbico (Giannakourou & Taoukis, 2021), asimismo, el extracto US, reportó un alto contenido de cenizas, o bien, la presencia de minerales. Además, la estabilidad del ácido ascórbico se presenta con mayor frecuencia en un rango de pH entre dos y cuatro. En lo que respecta, los extractos tuvieron un pH de cinco, efecto que pudo intervenir en la oxidación del ácido ascórbico (Herbig & Renard, 2017).

En los tres extractos se presentó un comportamiento diferente para la capacidad antioxidante y la actividad quelante, en donde se pudo visualizar que existió tanto un incremento como un decremento. Para el caso de la actividad quelante, su disminución pudo estar relacionada a la exposición de iones metálicos, que ha demostrado la reacción de alimentos y extractos durante su almacenamiento (Boukhatem, *et al.* 2020). En tanto, la capacidad antioxidante existió un aumento importante de dicha capacidad hasta los ocho meses de almacenamiento, específicamente en los extractos PS y FS, mientras que para la actividad quelante el extracto US fue el que ostentó menor actividad quelante con respecto a la actividad inicial.

Se ha medido el aumento de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento por congelación en diversos materiales vegetales (Bhattacharya, *et al.* 2018). El incremento de la capacidad antioxidante puede deberse a la formación de cristales durante el proceso de congelación, dichos cristales dañan las membranas celulares y rompen las estructuras físicas de la matriz alimentaria, de ello, la liberación de compuestos con capacidad antioxidante (Neri, *et al.* 2020). Este efecto es perjudicial en productos frescos en donde la calidad final es menor por alteración de la textura, a pesar de ello, sería una estrategia cuando se pretendería la liberación de compuestos fenólicos que ostenten cierta capacidad antioxidante (Bhattacharya, *et al.* 2018).

Relacionado a la identificación de los compuestos fenólicos (HPLC UV/VIS), se encontraron un diglicósido y un triglicósido de kaempferol, así como un glicósido de quercetina en los tres extractos por igual. Esta información se asemeja a lo reportado por Puente-Garza, *et al.* (2017^b), también en

penas del maguey *A. salmiana*, lo cual refiere que la extracción acuosa podría ser una buena opción para la obtención de compuestos bioactivos. El hecho de no encontrar diferencias en el contenido de compuestos fenólicos entre los tres extractos acuosos otorga un valor agregado para el aprovechamiento y uso de las penas que han finalizado su raspado para la obtención de aguamiel y que la vida útil del maguey se ha ultimado.

Por último, se sabe que el tratamiento térmico es una buena estrategia para el control de ciertos microorganismos y de las enzimas que descomponen los alimentos. Sin embargo, dependiendo del tipo de almacenamiento que este tendrá se elige el tratamiento térmico a aplicar. Sí el alimento permanecerá en refrigeración durante un tiempo corto, como es el caso de los extractos US, PS y FS, se someten a pasteurización. Por el contrario, sí el objetivo es almacenar a temperatura ambiente por largos periodos, se aplican temperaturas altas a tiempos cortos, garantizando una mejor conservación del alimento (Espinosa, *et al.*, 2020).

Los extractos obtenidos presentaron un nulo crecimiento tanto en el parámetro de mesófilos aeróbios, así como nulo crecimiento de enterobacterias desde el día cero hasta el octavo mes de análisis de US, PS y FS en refrigeración, lo que puede comprobar que no existió contaminación cruzada o bien, los procedimientos para la elaboración y almacenamiento de los extractos fueron idóneos.

Conclusiones

Los extractos de penca de maguey *A. salmiana* presentan una concentración importante de compuestos bioactivos como: fibra dietética y flavonoides, sustancias que confieren efectos positivos en la salud del consumidor. El almacenamiento prolongado por refrigeración conllevó a la degradación de compuestos bioactivos y por consecuencia, el decremento de su capacidad antioxidante en el extracto US. El almacenamiento también ostentó un efecto protector y una capacidad antioxidante recuperada por compuestos fenólicos en los extractos PS y FS. Las penas de maguey en sus diferentes estadios podrían ser empleadas en la elaboración de alimentos funcionales dirigidos para el consumo humano, por tanto, contienen una concentración importante de fibra dietética y compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. El tratamiento térmico aplicado para la obtención de los extractos de penas permitió que no existiese un crecimiento microbiológico, inclusive hasta los ocho meses de almacenamiento en refrigeración lo cual incrementaría la vida de anaquel del extracto para su posterior aplicación en matrices alimentarias.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, AAN, JASF; desarrollo de la metodología, AAN, TBPS, YZA, JASF; manejo de software, AAN; validación experimental, AAN, TBPS, YZA, JASF; análisis de resultados, AAN, JASF; manejo de datos, AAN, TBPS, YZA, JASF; escritura y preparación del manuscrito, AAN, TBPS, YZA, JASF; redacción, revisión y edición, AAN, TBPS, YZA, JASF; administrador de proyectos, JASF.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

- Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2021). Effect of Alternative preservation Steps and Storage on Vitamin C Stability in Fruit and Vegetable Products: Critical Review and Kinetic Modelling Approaches. *Foods*, 10(11), 2630. <https://doi.org/10.3390/foods10112630>
- González-Montemayor, A. M., Flores-Gallegos, A. C., Serrato-Villegas, L. E., López-Pérez, M. G., Montañez-Sáenz, J. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). 6 - Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties. *Natural beverages*, 13, 143-177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00006-7>
- Gulcin, I., Buyukokuroglu, M. E., & Kufrevioglu, O. I. (2003). Metal chelating and hydrogen peroxide scavenging effects of melatonin. *Journal of Pineal Research*, 34(4), 278-281. <https://doi.org/10.1034/j.1600-079X.2003.00042.x>
- Herbig, A. L., & Renard, C. M. (2017). Factors that impact the stability of Vitamin C at intermediate temperatures in a food matrix. *Food Chemistry*, 220, 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.012>
- Hernández-Becerra, E., Aguilera-Barreiro, M. A., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia Ficus Indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*, 95, 105183. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105183>
- IBM Corp. (2022). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 25.0) [Computer software]. IBM Corp.
- King, E. S., Noll, A., Glenn, S., & Bolling, B. W. (2022). Refrigerated and frozen storage impact aronia berry quality. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(3). <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00080-y>
- Lara-Díaz, A. M., Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, H. C., Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldivar, S.O. (2015). Effect of *Agave americana* and *Agave salmiana* ripeness on saponins content from Aguardiente (Agave Sap). *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 63(15), 3924-3930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00883>
- Manssour, M., Znini M., & Majidi, L. (2020). Studies in the antioxidant activity of essential oil and various extracts of *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur. Fruits from Morocco. *Journal of Taibah University for Science*, 14(1), 124-130. <https://doi.org/10.1080/16583655.2019.1710394>
- Medina-Mendoza, C., Mendoza-Tolentino, Y., & Cervantes-Miranda, J. (2022). Determination of bioactive compounds in stalks of maguey pulquero (*Agave salmiana*). *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable*, 10(1), 34-41.
- Morales, F., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related color and fluorescence. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 72(1), 119-125. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)
- Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Scchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant activity in frozen plant foods: Effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage. *Foods*, 9(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/foods9121886>
- Pinos-Rodríguez, J. M., Zamudio, M., & González, S. S. (2008). The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *South African Journal of Animal Science*, 38(1), 43-50. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v38i1.4108>
- Puente-Garza, C. A., Espinosa-Leal, C. A., & García-Lara, S. (2021). Effects of saline elicitors on saponin production in *Agave salmiana* plants grown *in vitro*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 476-482. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.017>
- Puente-Garza, C. A., García-Lara, S., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017^a). Enhancement of saponins and flavonols by micropropagation of *Agave salmiana*. *Industrial Crops & Products*, 105(15), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.014>
- Puente-Garza, C. A., Meza-Miranda, C., Ochoa-Martínez, D., & García-Lara, S. (2017^b). Effect of *in vitro* drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry* 115(1), 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.012>
- Richardson, G. H. (1985). Standard methods for the examination of dairy products, 15th ed. APHA. CALSP. Washington, D.C. pp: 412.
- Sablani, S. S. (2015). Freezing of fruits and impact on anthocyanins. *Processing and Impact on Active Components in Food*, 18, 147-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00018-4>
- Sánchez-Franco, J. A., Ayala-Niño, A., Cariño-Cortés, R., Hernández-Fuentes, A. D., Castañeda-Ovando, A., Campos-Montiel, R. G., Román-Guerrero, A., & Jiménez-Alvarado, R. (2019). *Vaccinium leucanthum* Schlechtendahl fruit, a new source of dietary fiber and antioxidant compounds. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 901-911. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcibi/revmexingquim/2019v18n3/Sanchez>
- Valdivieso-Solís, D. G., Vargas-Escamilla, C. A. Mondragón-Contreras, N., Galván-Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., & Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. *Frontier in Sustainable Food Systems*, 5(1). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>
- Velázquez-De Lucio, B. S., Hernández-Domínguez, E. M., Falcón-León, M. P., Téllez-Jurado, A., & Álvarez-Cervantes, J. (2024). Revalorization of degraded maguey pulquero substrate for *Lycopodium esculentum* germination. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100283>
- Westhoff, D. C. (1981). Microbiology of ultrahigh temperature milk. *Journal of Dairy Science*, 64(1), 167-173. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82545-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82545-3)
- Zhi-Wei, G., En-Ze, G., & Quiang F. (2021). Soluble Dietary Fiber, One of the Most Important Nutrients for the Gut Microbiota. *Molecules*, 26(22), 6802. <https://doi.org/10.3390/molecules26226802>