

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

División de Estudios de Posgrado e Investigación

**ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTINFLAMATORIA DE EXTRACTOS DE
HOJAS DE *Agave potatorum* Zucc.**

TESIS QUE PRESENTA:

Marbella Diaz Santos

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTORA:

Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles

CODIRECTORA:

Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2023.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

División de Estudios de Posgrado e Investigación

**ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTINFLAMATORIA DE EXTRACTOS DE
HOJAS DE *Agave potatorum* Zucc.**

TESIS QUE PRESENTA:

Marbella Diaz Santos

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTORA:

Dra. Gisela Virginia Campos Ángeles

CODIRECTORA:

Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela

Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2023.



ESTUDIO HOLÍSTICO
DE RECURSOS NATURALES.



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

La presente tesis titulada: Actividad antioxidante y antiinflamatoria de extractos de hojas de *Agave potatorum* Zucc., fue realizada bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTORA:

Dra. Gisela Virginia Campos Angeles



CODIRECTORA

Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela



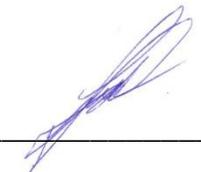
ASESOR:

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz



ASESOR:

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle



El presente estudio se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), a través de la beca para la realización de estudios de posgrado con número 1153987, con el tema de investigación “Actividad antioxidante y antiinflamatoria de extractos de hojas de *Agave potatorum* Zucc.”.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la sabiduría y fuerza para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida, por protegerme durante todo mi camino y poder culminar esta etapa de mi vida. Agradezco a mis padres, por ser el apoyo fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Especialmente agradezco a los Maestros mezcaleros Alejandro Martínez y Rafael García de Santa María Sola de Vega por el apoyo y colaboración brindada en todo momento, al Dr. Fernando Salas López de la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO), UR Culiacán por el apoyo brindado en la realización de los diferentes análisis de laboratorio y a mi Comité Tutorial, la Dra. Gisela Virginia Campos Angeles, Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela, Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz: Dr. José Raymundo Enríquez del Valle por sus asesorías, para facilitar la elaboración de este proyecto. Gracias a aquellas personas, que están y que han estado a mi lado, que compartieron sus conocimientos conmigo. Personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Magdalena Santos Calvo, pilar importante en mi vida, quien ha estado siempre a mi lado para darme fuerza y continuar, me ha sabido demostrar siempre su cariño y su apoyo incondicional. A mi padre Osvaldo Díaz Morales quien ha sabido guiarme a lo largo de mi vida con sus consejos e impulsándome a ser mejor persona cada día y que ha sabido esforzarse para que nada nos falte. A mi Hermano Osvaldo Diaz Santos quien llego a alegrar mi vida dándome un motivo más para superarme. Y a mi familia en general, por compartir conmigo buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
CAPÍTULO II EL AGAVE EN LA MEDICINA TRADICIONAL DE MÉXICO	4
Resumen.....	4
Abstract	5
2.1 INTRODUCCIÓN	6
2.2 EVOLUCIÓN DEL <i>Agave</i> EN LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA.....	9
2.2.1 Distribución de la familia <i>Agavaceae</i>	9
2.2.2 Generalidades del género <i>Agave</i>	10
2.2.3 Una breve historia de los Dioses.....	12
2.2.4 El <i>Agave</i> en México	13
2.2.5 El <i>Agave</i> en la medicina tradicional	14
2.2.6 Usos y propiedades medicinales del <i>Agave</i>	15

2.2.7 Compuestos activos.....	19
2.3 COMENTARIOS FINALES.....	22
2.4 REFERENCIAS.....	23
CAPÍTULO III VARIACIÓN MORFOLÓGICA EN DOS POBLACIONES DE <i>Agave potatorum</i> Zucc. EN SANTA MARÍA SOLA DE VEGA.	27
Resumen.....	27
Abstract.....	28
3.1 INTRODUCCIÓN	29
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.2.1 Descripción de los sitios de estudio	32
3.2.2 Establecimiento de los sitios	32
3.2.3 Análisis estadístico.....	33
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.4 CONCLUSIONES.....	38
3.5 REFERENCIAS.....	39
CAPÍTULO IV CONTENIDO DE FENOLES, Y FLAVONOIDES TOTALES DE EXTRACTO DE HOJAS DE <i>Agave potatorum</i> ZUCC.	42
Resumen.....	42
Abstract.....	43
4.1 INTRODUCCIÓN	44
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	46
4.2.1 Material vegetal.....	46
4.2.2 Extracción de fitoquímicos libres.....	46
4.2.3 Determinación de Fenoles Totales.....	47
4.2.4 Determinación de Flavonoides totales (FT)	47
4.2.5 Determinación de la actividad antioxidante (ABTS)	48
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.4 CONCLUSIONES.....	53
4.5 REFERENCIAS.....	54

CAPITULO VI CONCLUSIONES GENERALES.....57

CAPITULO VIII CONSIDERACIONES GENERALES58

CAPITULO IX REFERENCIAS59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
2.1	Principales partes y usos del <i>Agave</i>	15
2.2	Análisis fitoquímico de las distintas especies de <i>Agave</i>	21
3.1	Comparación de medias de dos sitios de <i>Agave potatorum</i> Zucc. bajo diferentes condiciones.....	34
3.2	Correlación de variables de una población silvestre de <i>Agave potatorum</i> Zucc.....	36
3.3	Correlación de variables de una población cultivada de <i>Agave potatorum</i> Zucc.....	37
4.1	Fenoles y flavonoides totales de los extractos.....	50
4.2	Actividad antioxidante de los extractos.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
2.1	Distribución de la familia Agavaceae.....	10
2.2	Distribución de <i>Agaves</i> en México.....	11
2.3	Mayáhuél, Diosa del maguey.....	12
2.4	Evidencias Arqueológicas de <i>Agave</i>	14
2.5	Estructura de las saponinas.....	21
3.1	Localización geográfica del área de estudio.....	33
4.1	Concentración de fenoles totales (FT), flavonoides totales (FLT) y actividad antioxidante (ABTS) en diferentes muestras.....	53

RESUMEN

El *Agave potatorum* Zucc. es una especie utilizada en la elaboración de mezcal, dicha actividad genera grandes cantidades de residuos sólidos. Durante la cosecha, las hojas representan más del 50% del material vegetal. El objetivo de esta investigación fue determinar el uso potencial de los compuestos activos obtenidos de las hojas de *Agave potatorum* Zucc. Se realizó un muestreo dirigido, en diferentes sitios de cosecha donde se registraron las variables: altitud, pendiente, exposición, PH y humedad. Y variables de las plantas maduras y cosechadas: Al (Altura de la planta), DR (diámetro de la roseta), NH (Número de hojas), PH (peso total de las hojas) y Peso de la piña, y a estas variables se les realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey ($P < 0.05$) y correlación de Pearson para identificar las diferencias existentes entre los dos sitios (silvestre y cultivado), con la caracterización del *A. potatorum*. También se colectaron hojas de base, medias y puntas de plantas para la extracción de fitoquímicos libres mediante el método descrito por Dewanto *et al.*, (2002), y se determinó el contenido de fenoles, flavonoides totales y actividad antioxidante. significativas en las características de las plantas sitio silvestre respecto a las cultivadas. Los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa en las variables de la altura (H), diámetro de roseta (DR) y número de hojas (NH), y tienen un contenido promedio de fenoles totales de 878 mg equivalentes ácido Gálico, y una concentración de flavonoides de 233.62 mg Eq Catequina lo cual se ve muy relacionado con la ubicación de las hojas en las plantas.

Palabras clave: medicina tradicional, compuestos activos, culturas, enfermedades

SUMMARY

Agave potatorum Zucc. is a species used in producing mezcal, which generates large quantities of solid waste. The leaves represent more than 50% of the plant material during harvesting. This research aimed to determine the potential use of the active compounds obtained from the leaves of *Agave potatorum* Zucc. A directed sampling was carried out in different harvest sites where the following variables were recorded: altitude, slope, exposure, pH, and humidity. PH and humidity. And variables of the mature and harvested plants: AI (plant height), DR (rosette diameter), NH (number of leaves), PH (total leaf weight), and pineapple weight, and these variables were subjected to analysis of variance and Tukey mean comparison ($P < 0.05$) and Pearson correlation tests to identify the differences between the two sites (wild and cultivated), with the characterization of *A. potatorum*. Base, middle, and tip leaves of plants were also collected for the extraction of free phytochemicals by the method described by Dewanto et al. (2002), and the content of phenols, total flavonoids, and antioxidant activity was determined. The results showed significant differences in the characteristics of the wild site plants compared to the cultivated ones. The results show a statistically significant difference in the variables of height (H), rosette diameter (RD), and number of leaves (NH), and have an average total phenol content of 878 mg gallic acid equivalents, and a flavonoid concentration of 233.62 mg Catechin Eq, which is closely related to the location of the leaves on the plants.

Keywords: traditional medicine, active compounds, cultures, diseases

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El género *Agave*, pertenece a la familia Agavácea, son plantas que están adaptadas para ser exitosas en climas áridos, se distribuyen en matorrales, pastizales, bosques de pino y encino, bosques secos y húmedos, incluso en afloramientos rocosos con poco suelo (CONABIO, 2021). Se encuentran en altitudes hasta de 3400 metros, pero es más común que se encuentren entre 1 000 y 2000 metros (García-Mendoza, 2007). Se caracterizan por su forma de roseta con raíces muy ramificadas, cutículas gruesas, hojas carnosas con estomas hundidos y metabolismo fotosintético conocido como ácido de las crasuláceas (CAM) (Domínguez *et al.*, 2008). Comprende alrededor de 273 especies, que se distribuyen en todo el Continente Americano (García-Mendoza 2019); México es un país con un gran privilegio debido a la gran diversidad de *agaves* que dispone; es el punto de origen y diversidad natural (Gentry, 1982) ya que 215 de ellas se encuentran exclusivamente en México en donde 151 son endémicas y se encuentran principalmente en los estados de Oaxaca, Jalisco, Durango, Coahuila, Chihuahua y Sonora, (CONABIO, 2021; García-Mendoza & Galván, 1995; SEMARNAT, 2019).

En Mesoamérica los agaves fueron las primeras plantas en ser aprovechadas por los pobladores (Sierra, 2010), Los primeros reportes de su uso en México datan de hace más de 10,000 años, e incluyen alimentos, bebidas, medicinas, materiales de construcción, fibra y otros por lo que tuvo una gran relevancia con la cultura y la sociedad (CONABIO, 2021a). El tequila es una de las principales bebidas destiladas por su valor económico e historia, sin embargo, a partir de los finales del siglo XX el mezcal ha sido muy valorado, ya que se convirtió en una opción viable para aumentar las ganancias de los productores y así mejorar las condiciones familiares (Plascencia de la Torre & Peralta, 2018) por lo que su producción se ha incrementado. Para obtenerlo se usan solo los tallos de las plantas por lo que las hojas se convierten en un desecho al que no se le da un uso definido, y en el mejor de los casos se recoge como leña y forraje sin que represente un importante valor económico de la planta. En ellas se han reportado de manera general compuestos como flavonoides, alcaloides, saponinas, terpenos, esteroides, cumarinas, fenoles, azúcares reductores, inulina, fructanos, entre otros, (Camacho-Campos *et al.*, 2020; Eskander *et al.*, 2010; Leal-Díaz *et al.*, 2015) sin embargo, no se han documentado los compuestos específicos que pueden contener cada especie ya que para la elaboración del mezcal se usan *Agave. Angustifolia*; *A. durangensis*; *A. salmiana*; *A. cupreata*; *A. potatorum*; *A. tequilana*; *A. karwinskii*; *A. cupreata*; *A. tequilana* entre otras 86 especies (COMERCAM, 2022).

1.1. Objetivo general

Determinar el uso terapéutico potencial de los compuestos activos obtenidos de las hojas de *Agave potatorum* Zucc.

1.2. Objetivos específicos

Identificar las características morfológicas de las plantas maduras de *Agave potatorum* Zucc. cultivadas y silvestres en Santa María Sola.

Estimar el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, así como la actividad antioxidante en extractos de hojas de *Agave potatorum* Zucc.

1.3. Hipótesis

Las hojas de *Agave potatorum* Zucc. contienen compuestos activos que pueden ser utilizados con diferentes propósitos en la medicina humana.

CAPÍTULO II

EL *Agave* EN LA MEDICINA TRADICIONAL DE MÉXICO

Resumen

La Medicina Tradicional, constituye una gran variedad de conocimientos empíricos, prácticas y técnicas basadas en las creencias, teorías, y experiencias propias que aborda al ser humano y al proceso de su salud, tanto física como mental. A través del tiempo la flora y fauna se han utilizado como medicamento por ello es que se ha estudiado y registrado en casi todo el territorio mexicano distintas plantas de uso medicinal, y se ha considerado un fenómeno de distintas culturas nacional que tiene características propias. El *Agave* es una planta la cual se ha utilizado para satisfacer distintas necesidades como la alimentación, bebidas, vivienda, protección y medicina. México es el principal país donde se distribuyen diferentes especies de y se considera un recurso natural, económico que es utilizado por la población para tratar diversas enfermedades, por ello es que se realizó un estudio en la medicina tradicional, a través de la búsqueda bibliográfica bases de datos de contenidos científicos, realizándose el estudio botánico, distribución geográfica, usos, propiedades y compuestos. El objetivo principal de dicha búsqueda fue contextualizar el conocimiento sobre el *Agave* en la medicina tradicional.

palabras clave: Medicina Natural, salud, enfermedades, cultura

Abstract

Traditional Medicine is a wide variety of empirical knowledge, practices, and techniques based on beliefs, theories, and experiences that address the human being and the process of health, both physical and mental. Throughout time, the flora and fauna have been used as medicine, which is why different plants for medicinal use have been studied and registered in almost all the Mexican territory, and it has been considered a phenomenon of different national cultures that have their own characteristics. *Agave* is a plant that has been used to satisfy different needs such as food, beverages, housing, protection, and medicine. Mexico is the main country where different species of and is considered a natural, economic resource that is used by the population to treat various diseases, for this reason, a study on traditional medicine was carried out through a bibliographic search of scientific databases, including botanical studies, geographical distribution, uses, properties and compounds. The main objective of this search was to contextualize the knowledge about *Agave* in traditional medicine.

keywords: Natural Medicine, health, diseases, culture

2.1 INTRODUCCIÓN

Hace 2.500 años, un famoso "sofista" griego, Protágoras, revelaba que "el hombre era la medida de todas las cosas" (Echánove, 2008). En ese tiempo, bajo las enseñanzas de Aristóteles y Sócrates, se confirmó que el hombre es la imagen original de la historia, es decir, sin el hombre no existiría el pensamiento (Arrillaga, 2014). En la mitología griega se conocía como creador de la medicina a Apolo (Jaramillo-Antillón, 2001; Morales *et al.*, 2011). El cual compartió sus conocimientos médicos con los héroes griegos Jasón, Hércules, Aquiles, Asclepio (Kyriakou *et al.*, 2022). En Egipto en el año 2700 a. C Imhotep, era uno de los mejores médicos del mundo antiguo y fue respetado por el pueblo (UNACH, 2016). En el marco de la medicina tradicional, la historia revela los experimentos del hombre antiguo utilizando los recursos proporcionados por el medio ambiente para tratar enfermedades. (García, 2013). A lo largo de la evolución, grupos de humanos han mostrado atributos comunes, tanto físicos como espirituales, en términos de creencias, prácticas y remedios médicos. Están interconectados y conforman una cantidad que controla la configuración del universo a su alrededor (Lain-Entralgo, 2011). El origen de la ciencia médica se remonta a la antigüedad, por un lado, se confunde con el empirismo y la superstición lo que dio lugar al conocimiento popular, que es la base de la observación básica y del orden médico, este fenómeno continúa entre los pueblos salvajes; al mismo tiempo, la superstición produjo la medicina sacerdotal. (Pascual *et al.*, 2014).

La Medicina Tradicional es un término muy amplio el cual se utiliza para llamar a la medicina indígena, incluyendo diferentes prácticas y experiencias terapéuticas en términos culturales que implican el uso de hierbas, animales o incluso minerales. También incluyen terapia sin medicamentos como en el caso en la acupuntura, las obras manuales y las terapias espirituales (Uribe, 2019). Es parte del valor cultural de la humanidad, y se ha desarrollado en distintos países, para usar los recursos disponibles, es la consecuencia de un avance lento, pero garantizado (Pascual *et al.*, 2014). Hoy en día es un conjunto de técnicas fundamentales, importante para la visión de los pueblos indígenas, simbolizando milenios de conocimiento sobre la madre tierra, especialmente al utilizar plantas medicinales protegidas por ancestros y pueblos, tiene un valor valioso en el fortalecimiento y percepción de la identidad.(Jiménez, 2017). Es una obra muy compleja con partes de distintas culturas, que históricamente han señalado el progreso de la tradición nacional. La cuál proviene de la relación que se produjo entre diferentes saberes que se fusionaron en el siglo XVI (Jiménez, 2017). Los aztecas desarrollaron empíricamente distintos medicamentos que producían efectos fisiológicos respecto con sus creencias, su intensa actividad militar les dio extensa oportunidad para practicar y experimentar distintos tratamientos para curar heridas. El agente principal para tal fin era la savia de *Agave*, (Davidsona *et al.*, 1983). Las principales especies utilizadas por los aztecas eran *Agave mexicana* y *A. potatorum*. Un indicador de la actividad terapéutica de la medicina popular es su conservación a lo largo del tiempo, especialmente si se presenta en varias culturas La savia de maguey cumple con este criterio como tratamiento para heridas en México (Davidsona *et al.*, 1983).

Los agaves son plantas perennes y monocárpicas que mueren después de florecer y producir frutos con semilla (Villanueva-Rodríguez *et al.*, 2015). De acuerdo con su descripción taxonómica, basada en la biología floral y el tamaño y forma de las hojas, se clasifica en dos subgéneros *Littaeae* y *Agave* este segundo está integrado por 82 especies, que muestran una inflorescencia paniculada, esto es que la inflorescencia presenta ramas laterales de donde nacen las flores (Campos, 2022).

Las especies de *Agave* crecen en un gran número de hábitats de México, en una altitud 1 000 y 2 000 metros, aunque también se han encontrado hasta llegar a los 3400 m. Son abundantes en las planicies y bases de las montañas de las zonas áridas y semiáridas (García-Mendoza, 2007). Su riqueza se puede explicar en función del desarrollo de la adaptación fisiológica, morfológicas y ecológicas desarrolladas desde hace 8 a 10 millones de años, lo que ayudó a que los favorecieron, por ello es importante contextualizar el conocimiento sobre el *Agave* en la medicina tradicional.

2.2 EVOLUCIÓN DEL *Agave* EN LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA

2.2.1 Distribución de la familia Agavaceae

La familia Agavaceae corresponde al orden Asparagales; cuenta con alrededor de 300 especies en diferentes géneros, agrupados en las subfamilias Yuccoideae y todas las especies se distribuyen en el continente americano (Hernández-Sandoval, 1995). La subfamilia Agavoideae, cuenta con 25 géneros y 637 especies (Judd *et al.*, 2007). Los géneros más representados son *Agave* con alrededor de 300 especies, *Yucca* (40 especies), *Anthericum* (65 especies), *Chlorophytum* (150 especies) y *Hosta* (40 especies). *Agave*, *Yucca*, *Manfreda*, *Furcraea*, *Polygonum*, *Beschermetia*, *Hesperaloe* y *Prachnyanthes* con características reproductivas diferentes, ya que algunos géneros son policárpicos y los individuos se reproducen cada año, mientras que otros son monocárpicos produciendo una inflorescencia solo una vez en su vida para después morir (Eguiarte *et al.*, 2000). Son plantas perennes que van desde hierbas hasta árboles. Tiene hojas fibrosas en la base o en los extremos de las ramas, a veces con espinas en los bordes, y es carnosa. Sus inflorescencias suelen estar sobre pedicelos erectos y el fruto está contenido en una cápsula. (Peralta, 2019). La Familia es originaria de América, pero se distribuye por todo el mundo y México es considerado el centro de distribución, (Figura 2.1). El género *Agave* es el que se encuentra en diferentes zonas como templadas y áridas



Figura 2.1. Distribución de la familia Agavaceae

2.2.2 Generalidades del género *Agave*

El *Agave* significa "nombre admirable", del griego *Agavos*, acuñado por el naturalista sueco Carlos Linnaeus en 1753 para identificar aquellas plantas americanas con hojas carnosas que rodean tallos cortos dispuestos en espiral con espinas marginales y terminales en el ápice (García-Mendoza, 2012), e intenta describir la gran importancia económica y cultural en diversas especies de esta familia botánica (Granados, 1993). Son plantas perennes y monocárpicas que mueren después de florecer y producir frutos con semilla (Villanueva-Rodríguez *et al.*, 2015). De acuerdo con su descripción taxonómica, basada en la biología floral y el tamaño y forma de las hojas, se clasifica en dos subgéneros *Littaeae* y *Agave* este último está integrado por 82 especies, muestran una inflorescencia paniculada, esto es que la inflorescencia presenta ramas laterales de donde nacen las flores (Campos, 2022). Es endémico de América y de sus aproximadamente 200 especies, de las cuales 159 tienen presencia en territorio mexicano, es decir 75% del total por ello se considera a México el foco central respecto a la diversidad biológica de los *Agaves* a nivel mundial, (Figura 2.2) (García-Mendoza, 2018).

2.2.3 Una breve historia de los Dioses

Mayáhuel, Diosa del *Agave*, dentro de la cosmovisión mesoamericana se creía que era una diosa que bajó del cielo, ya que vivía con su abuela y la mantenía totalmente aislada de los demás dioses (Noriega, 2014), además de su belleza tenía en su poder una planta mágica que les brindaría alegría, y sobre todo techo, bebida, y comida. Al enterarse de esto, los dioses encomendaron a Quetzalcóatl de traerla (SENASICA, 2023). En la huida, los dioses se enamoraron y se juraron amor eterno, sin embargo, la felicidad se opacó cuando se dieron cuenta que eran perseguidos por los hermanos de Mayáhuel y para no ser encontrados, se transformaron en su planta mágica. Sus hermanos no vieron nada más que piedras y plantas, pero al distinguir una muy diferente se dieron cuenta que era su hermana a la que cruelmente destrozaron. Quetzalcóatl, que se había salvado, recobró su forma, y con los restos de su amada la sembró, con el tiempo la planta mágica resurgió, aunque Mayáhuel no pudo volver a su forma, quedándose para siempre en el sagrado Maguey o *Agave* (SENASICA, 2023 y Noriega, 2014).



Figura 2.3. Mayáhuel, diosa del maguey. (Fuente: Códice Borbónico)

2.2.4 El *Agave* en México

La relación del *Agave* con los grupos humanos mexicanos es ancestral. Se han encontrado restos en los estados de Oaxaca, Tamaulipas y Puebla, lo que sugiere que se consumió durante más de 6.000 años y fue una de las especies clave que acompañó la transición de grupos nómadas de cazadores-recolectores a agricultores sedentarios. (Vela, 2014). En territorio mexicano entre las plantas más importantes, de las zonas áridas y semiáridas, se encuentran los agaves o también conocidos como magueyes, era una de las primeras plantas que se aprovecharon en Mesoamérica, y se consideraban especies de suma importancia su abundancia y por los recursos que les brinda a diferentes organismos (García-Mendoza, 2007). Después de la conquista española, la explotación del *Agave* fue en gran medida una cuestión de necesidad. Muchos usos persisten aún hoy, ya que es explotado para otros fines en la actualidad y ha perdido su equilibrio con los humanos a lo largo de los siglos. El *Agave* tiene evidencias arqueológicas relacionadas con su uso, que muestran que fue uno de los principales alimentos, ya que se encontraron agaves en grandes cantidades en las cuevas secas del valle de Puebla Tehuacán y la orquídea Cueva de Gila Oaxaca; estos desechos de consumo humano representaron el 80% de casi 5,000 muestras de *Agave* (Figura 2.4) (Montúfar y Anzuarez, 2014). Fue considerado una fuente de alimento por productos como la miel, pulque, vinagre, y el consumo de tallos, flores y pencas. Otros usos que se registraron fueron como, medicina, jabón, fibras, papel y textiles, Las hojas actúan como contenedores y canales, en arquitectura se utilizan como amarres, "tejas" y forman muros, mientras que el paisaje floral sirve como vigas. Toda la planta se utiliza como borde, una cerca viva para retener la tierra en las terrazas labradas y una vez seca es un excelente combustible (Montúfar & Anzuarez, 2014).

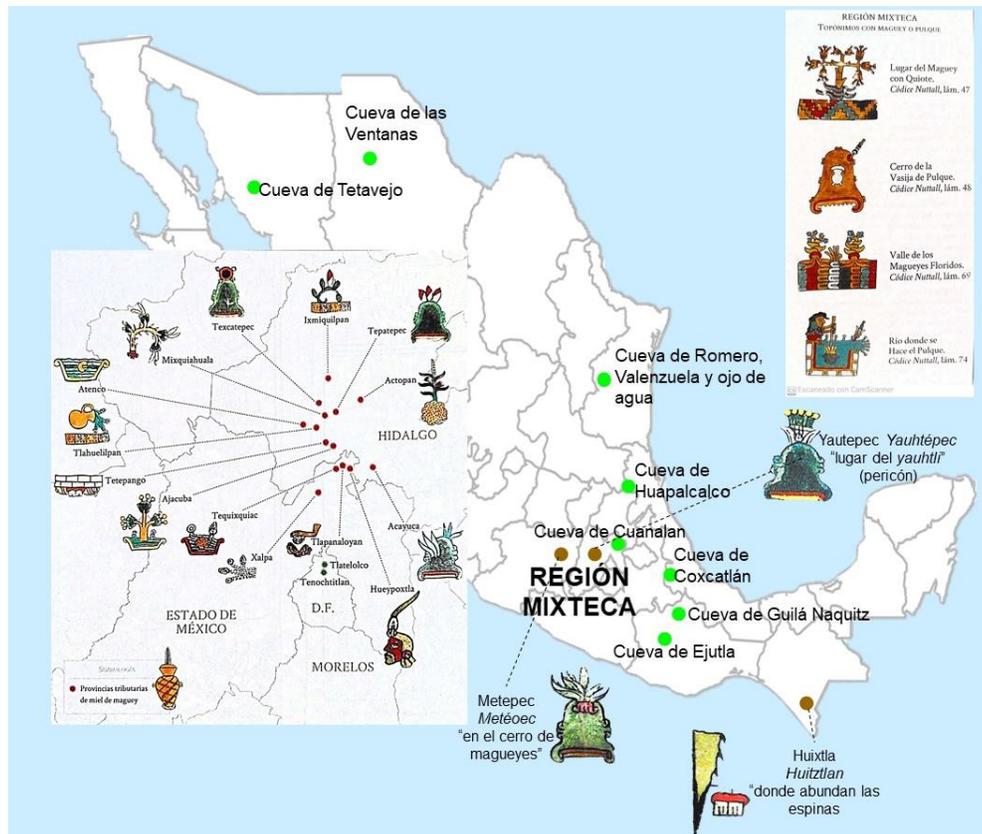


Figura 2.4. Evidencias Arqueológicas de *Agave*

Oaxaca es uno de los más importantes productores de mezcal y el más importante de esta industria. Según el (COMERCAM, 2022) la producción fue de 8,099,591 litros. Involucrando diferentes especies, principalmente el espadín (*A. angustifolia*) el cual es el más utilizado para la elaboración del mezcal; maguey cenizo (*A. durangensis*), maguey verde (*A. salmiana*), maguey papalote (*A. cupreata*) y el tobalá (*A. potatorum*).

2.2.5 El *Agave* en la medicina tradicional

En algunos grupos de gran importancia de plantas medicinales es de suma importancia conocer lo que son los metabolitos secundarios que las conforman y su comportamiento, se localizan los agaves. Grupos humanos en México, Brasil y Colombia avanzaron junto con los pueblos de esas regiones. El *Agave* es importante de diferentes maneras (Paneque et

al., 2019). En México se utiliza principalmente en inflamaciones, trastornos digestivos, diurético, laxante, como contra esguinces y fracturas de huesos e incluso para el tratamiento contra el cáncer. (Rubio *et al.*, 2018). Estas especies han sido investigadas por su potencial como nutracéuticos, prebióticos, edulcorantes naturales y biocombustibles (García-Vieyra *et al.*, 2014). Diversas especies del género establecen una fuente importante de saponinas esteroides, principalmente heconina. En la industria farmacéutica, estos compuestos naturales se utilizan para la semi-síntesis de esteroides medicinales (Camacho-Campos *et al.*, 2020).

2.2.6 Usos y propiedades medicinales del *Agave*

El *Agave* se ha utilizado para diversas necesidades (Cuadro 2.1) y principalmente para elaborar bebidas alcohólicas más populares de México, que son el Tequila y el Mezcal, considerados parte de la cultura del país y que en tiempos pasados era muy usado como alimento, para la obtención de fibras para manufacturar la vestimenta, para la construcción y también para uso doméstico y entre los pobres lo usaban como desinfectante, al igual los combatientes de las distintas guerras (Davidsona *et al.*, 1983; Leal-Díaz *et al.*, 2015).

Cuadro 2.1. Principales partes y usos del *Agave*

Partes de la planta	Usos	Producto
tallo (piña)	Comida	Azúcar
flores y frutas (Quiote)		Guisos Dulces
Hojas	Bebida	Envoltura de barbacoa
Hojas		Mixiotes
Cogollo cutícula Flor		Pan de pulque
Tallo (piña)		Aguamiel,

		atole de aguamiel, Mezcal, Pulque Tequila, Jarabe, Sotol, Bacanora, Vinagre, Golpes, lesiones internas, miembros sin movimiento, prevención del escorbuto Antiinflamatorio, anemia
Hojas Miel y Pulque	Medicina	
Toda la planta	Agrícola	Cercos vivos Evita la erosión de suelo Líder de ecosistemas composta (fertilizante)
Abono de hojas Hojas, escapo floral, inflorescencia, bagazo	Forraje	Bovina, caprina, porcina
Escapo floral Hojas Hojas Residuos de fibra	Construcción	Cercas, chozas, corrales Tejas Canales de recolección de agua
Semilla Toda la planta hojas de fibra Toda la planta	Ornamental	Accesorios (anillos y aretes) Decoración (navideña Arcos florales Jardines, calles y lomas)
Hojas, tallos y raíces. tallo (piña)	Uso domestico	Jabón y detergente Champú

hojas y tallos	Palillos para extraer lombrices
espina terminal	comestibles
Espina terminal	Aguja con hilo
Hojas, raíces, tallos y Otros	Industria química y
semillas, Hojas (residuos	farmacéutica, medicamentos y
de pulpa y fibra), Hojas	productos esteroidales
(residuos de pulpa y fibra,	(saponinas)
bagazo, jugo)	Productos de celulosa para
	papel
	Producción de etanol, celulosa
	y glucósidos

Fuente: (Nava-Cruza *et al.*, 2014)

El *Agave* contiene el 70% de fructanos aproximadamente de los sólidos solubles, los cuales son de suma importancia en la producción de jarabes. Cuenta con el 67% de humedad y 33% de sólidos solubles entre los que se encuentran la celulosa (36.20%), fructano (69.75%) y la lignina (17.02%) (Tinto *et al.*, 2005). El tequila es una de las bebidas alcohólicas más popular de México, antiguamente era muy utilizado como un desinfectante muy fuerte, en los combatientes de las guerras a lo largo de la historia (Leal-Díaz *et al.*, 2015).

Vitaminas y saponinas son los fitoquímicos más importantes que contiene el *Agave*, estos contienen beneficios para la salud, en algunas situaciones estos se pueden perderse o disminuir durante los procesos de fabricación de diferentes productos como el tequila y mezcal, durante el cocimiento de la piña, (CONABIO, 2020). Gracias a las propiedades digestivas y hepáticas, las hojas secas se utilizan en infusión. También se utilizan comúnmente para curar la irritación de los ojos, El jugo de la hoja verde se utiliza para curar heridas e irritaciones de la piel. (González-Elizondo *et al.*, 2017). El jugo de *Agave* tiene

propiedades antisépticas y se ha utilizado para tratar trastornos digestivos causados por el crecimiento bacteriano, en especial los causantes de úlceras, esto ayuda a las personas que padecen problemas de gastritis y a la vez ayuda a fortalecer el sistema inmunológico de nuestro organismo, así como también es una planta rica en vitaminas A, B, B2, C, fósforo, hierro, niacina y proteína (Frisby *et al.*, 2018). También tiene propiedades prebióticas que favorecen el tránsito intestinal, al mismo tiempo es rico en fructooligosacáridos e inulina, que le confieren un sabor dulce, lo que permite su uso como edulcorante con un índice glucémico inferior al 25%.

Existen diferentes formas de utilizar el *Agave* dependiendo del malestar que se presente unas de las más utilizadas son

- Heridas: con una penca de *Agave* fresco, se asa y el zumo con sal, (los aztecas lo utilizaban también con orina) se pone en la herida (Davidsona *et al.*, 1983).
- Dolor de muela: se come la goma que se produce en la parte inferior de las pencas, se mete un trocito en la carie y se mantienen en la boca.
- Golpes: el jugo de la hoja de *Agave*, se hierve y se le agrega azúcar y algunas uvas pasas, se le administra al paciente en pequeñas dosis, otra forma sería frotar la parte del golpe con el jugo caliente de la penca asada del maguey.
- Dolor de riñones: se cose la penca, se pela y se serena una noche, y se toma el jugo una o dos veces.
- Malestares estomacales: se muelen para sacarles el jugo, se toman uno o dos vasos hasta que haga efecto.

El *Agave* continente beneficios para la salud todo por sus propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas, y usado primordialmente en la medicina tradicional en las familias mexicanas (Leal-Díaz *et al.*, 2015) Relacionado con esto, al contener bajos niveles de glucosa, ayuda al sistema inmunológico y reduce el colesterol, lo que lo convierte en un excelente endulzante natural (García-Suarez & Serrano, 2014). Otros grandes beneficios que ofrece son: es recomendado para el control de peso en la dieta ya que es bajo en calorías y por lo tanto muy recomendable; reduce los y triglicéridos y niveles de colesterol, también mejora el metabolismo de las toxinas en el organismo; aumenta la absorción de calcio y magnesio; previene la formación de caries dental por el Polifructosano bajo no es caldo de cultivo para bacterias (Paneque *et al.*, 2019).

2.2.7 Compuestos activos

El *Agave* es una planta que ha sido utilizada como cura de diversas enfermedades bacterianas y estrés oxidativo. Estas son capaces de acumular altas cantidades de azúcares, no difíciles de degradar en comparación con la celulosa, por lo que es una alternativa para el cultivo energético (Nava-Cruza *et al.*, 2014). Una característica importante es la alta acumulación de carbohidratos solubles no estructurales, lo que podría convertirlas en una importante materia prima para la fabricación de etanol (Sukumaran *et al.*, 2009). Por sus características morfológicas y bioquímicas, el *Agave* no compite con los cereales y vegetales utilizados como alimento (Bansal *et al.*, 2012).

La familia Agavaceae es reconocida como una fuente importante de saponinas con naturaleza esteroidal y principalmente de saponinas, que es el principio en la síntesis de hormonas esteroidales en laboratorio (Figura 2.5) (Eskander *et al.*, 2010). En los agaves se han encontrado metabolitos secundarios, con compuestos como triterpenos, esteroides, taninos, cumarinas volátiles, flavonoides, alcaloides, derivados antracénicos libres, cardiotónicos y azúcares reductores también están presentes en las plantas de *Agave* (Ahumada-Santos *et al.*, 2013a).

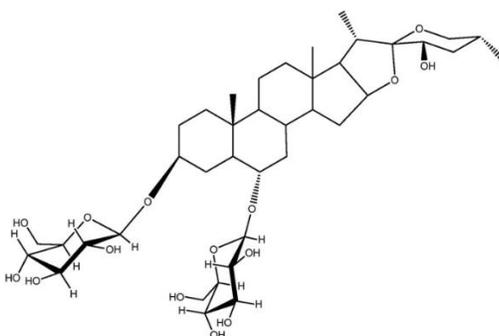


Figura 2.5. Estructura de las saponinas. Fuente: (Eskander *et al.*, 2010)

En el estudio realizado por Ahumada-Santos *et al.*, 2013 muestra que en diferentes especies de *Agave* y con diferentes extractos, revelaron distintas familias de compuestos (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Análisis fitoquímico de las distintas especies de *Agave*

Especies de Agaves	Compuestos
<i>A. impressa</i>	Triterpenos y/o esteroides Saponinas Cumarinas volátiles
<i>A. ornithobroma</i>	Triterpenos y/o esteroides Flavonoides Taninos Saponinas
<i>A. rzedowskiana</i>	Triterpenos y/o esteroides taninos saponinas Cumarinas volátiles
<i>A. tequilana</i>	Triterpenos y/o esteroides saponinas Azúcares reductores
<i>A. schidigera</i>	Triterpenos y/o esteroides saponinas
<i>A. angustifolia</i>	Triterpenos y/o esteroides Saponinas Cumarinas volátiles

Fuente: (Ahumada-Santos *et al.*, 2013)

2.3 COMENTARIOS FINALES

Los resultados de la investigación muestran el desarrollo histórico que tuvo el *Agave* en la medicina tradicional de México, usos y aplicaciones medicinales, su hábitat natural y los compuestos activos, que son cruciales para el desarrollo de la ciencia médica en general, es necesario profundizar en su estudio, para fundamentar su uso y dar la posibilidad de hacer formulaciones dosificadas de acuerdo con la especie recomendada y el padecimiento tratado.

2.4 REFERENCIAS

- Ahumada-Santos, Y. P., Montes-Avila, J., Uribe-Beltrán, M. de J., Díaz-Camacho, ç S. P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J. Á., Heredia, J. B., & 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>
- Arrillaga, E. S. (2014). Origin of scientific medicine. *Angiologia*, 66(6), 343–344. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2014.05.011>
- Bansal, N., Tewari, R., Soni, R., & Soni, S. K. (2012). Production of cellulases from *Aspergillus niger* NS-2 in solid state fermentation on agricultural and kitchen waste residues. *Waste Management*, 32(7), 1341–1346. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.006>
- Camacho-Campos, C., Pérez-Hernández, Y., Rubio-Fontanills, Y., & Fuentes-Alfonso, L. (2020). Evaluación fitoquímica, antibacteriana y molusquicida de extractos de hojas de *Agave* spp. *Revista Cubana de Química*, 32.
- Campos, S. N. (2022). ¿Cómo se clasifican los *agaves* de acuerdo con la Biología? *Revistas Quixe corazón de cultura y humanidades*. (Consultado: 10/08/2022). Disponible en: <https://revistaquixe.com/2022/03/01/como-se-clasifican-los-agaves-de-acuerdo-con-la-biologia-primera-parte/>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020). Qué nos aportan los *agaves*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. (Consultado: 15/11/2021). Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_agaves.
- Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. (COMERCAM). (2022). Informe estadístico (Consultado: 10/05/2022). Disponible en: https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2022/06/INFORME-2022-_II_-SINTESIS.pdf.
- Davidsona, J. R., Ortiz, B. R. & Montellanob, D. E. (1983). The antibacterial properties of an aztec wound remedy. *Journal of Ethnopharmacology*, 8, 149–161. DOI: 10.1016/0378-8741(83)90051-x
- Domínguez, R. M. S., González Jiménez, M. L., Rosales Gómez, C., Quiñones Valles, C., Delgadillo Díaz de León, S., Mireles Ordaz, S. J., & Pérez Molphe Balch, E. (2008). El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia*, 41, 53–62.
- Echánove, J. (2008). *Ecós del desierto El origen histórico del monoteísmo*. Central Bookssupply. 424p.

- Eguiarte, L. E., Souza, V. & Silva-Montellano, A. (2000). Evolución de la familia Agavaceae: Filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Botanical Sciences*, 66, 131–150. <https://doi.org/10.17129/botsci.1618>
- Eskander, J., Lavaud, C. & Harakat, D. (2010). Steroidal saponins from the leaves of *Agave macroacantha*. *Fitoterapia*, 81(5), 371–374. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.11.002>
- Frisby, M. A., Córdova, Y. A., & Medina, O. F. A. (2018). Diversificación en el uso del agave del bacanora: oportunidad económica para Sonora (eds.). *Impacto socio-ambiental, territorios sostenibles y desarrollo regional desde el turismo*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, México. pp. 502-517.
- García, S. D., J. (2013). Consideraciones sobre la Medicina Natural y Tradicional, el método científico y el sistema de salud cubano. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39(3).
- García-Mendoza, A., J. (2007). Los Agaves de México, Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*, 14–23
- García-Mendoza, A., J. (2018). México cuenta con 159 especies de agave. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. (Consultado: 09/05/2021). Disponible en: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_045.html
- García-Mendoza, A. J. (2012). México, país de magueyes. *La Jornada Del Campo*, 53. (Consultado: 10/05/2022). Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2012/02/18/campais.html>
- García-Suarez, M. D., & Serrano, H. (2014). El Agave como planta medicinal. *TecnoAgro*, 92. (Consultado: 10/01/2023). Disponible en: <https://tecnoagro.com.mx/no.-92/el-agave-como-planta-medicinal>
- García-Vieyra, M. I., Del Real, A. & López, M. G. (2014). Agave fructans: their effect on mineral absorption and bone mineral content. *Journal of Medicinal Food*, 17(11), 1247–1255. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0137>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Tena-Flores, J. A., González Gallegos, J. G., Ruacho-González, L., Melgoza-Castillo, A., Villarreal-Quintanilla, J. Á. & Estrada-Castillón, A. E. (2017). Diagnóstico del conocimiento taxonómico y florístico de las plantas vasculares del norte de México. *Botanical Sciences*, 95(4), 760–779. <https://doi.org/10.17129/botsci.1865>
- Granados Sánchez, D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo. Primera Edición. P 252. ISBN: 9688842257
- Gschaedler, A. C., Villarreal, H. S., Gutiérrez, M.-A., Ortiz, B. R. I., Moreno, T. R., Lappe, O. P. E., Larralde, C. C. P., Contreras, R. S. M., Dávila, V. G., & Gallardo, V. J. (2017). Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Primera Edición Electrónica. P 302.

- Guillot, O. D., Meer, P., V., Lagunas, L. E., & Rosselló, P. J., A. (2009). El género *Agave* L. en la flora alóctona valenciana. *Monografías de la revista Bouteloua*. nº 3, 94 pp.
- Hernández-Sandoval, L. (1995). Análisis cladístico de la familia Agavaceae. *Botanical Sciences*, 56, 57–68. <https://doi.org/10.17129/botsci.1464>
- Jaramillo-Antillón, J. (2001). Importancia de la Medicina: Pasado, presente y futuro. *Acta Médica Costarricense*, 43, 104–113. <https://doi.org/10.51481/amc.v43i3.64>.
- Jiménez, S. A., A. (2017). Medicina tradicional. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. (Consultado: 09/05/2021). Disponible en: www.gob.mx/conamed
- Judd, W. S.; C. S., Campbell, E. A., Kellogg, P. F., Stevens, M. J., & Donoghue. (2015). *Plant systematics: a phylogenetic approach*. 4a edition Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.
- Kyriakou, G., Kyriakou, A. & Malouhou, A. (2022). Práctica médica, leyendas urbanas, mitos y folklore relativos a la Dermatología en la Historia antigua de Grecia. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 113(10), 951–954. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2020.04.023>
- Lain-Entralgo (2011). Aspectos Históricos de la Medicina Tradicional. (Consultado: 09/05/2022). Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2011/etGuate/6.pdf>.
- Leal-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 Saponin Content from Aguamiel (*Agave* Sap). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3924–3930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00883>
- México Prehispánico. La leyenda de Mayahuel, deidad creadora del maguey. Neomexicanismo. (Consultado: 05/05/2023). Disponible en: <https://neomexicanismos.com/mexico-prehispanico/leyenda-de-mayahuel-diosa-pulque-creacion-maguey/>.
- Montúfar, L. A. & Anzures, J. N. (2014). El registro arqueológico e histórico del maguey. *Arqueología Mexicana*, 57.
- Morales, P. M. J., Alañon, F. A. M. & Doblás, D. A. (2011). Asclepio, el Dios griego de la medicina. Gerencia Atención Integrada. <http://apuntes.hgucr.es/2011/10/25/asclepio-el-dios-griego-de-la-medicina/>
- Nava-Cruza, N. Y., Medina-Moralesa, M. A., Martínez, J. L., Rodrígueza, R. & Aguilera, C. N. (2014). *Agave* biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546–559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>
- Paneque, E. T., Polanco, A. M., Jiménez, N. C. & Piquera, P. Y. (2019). Estudio etnofarmacológico de algunas especies endémicas de agave utilizados en la medicina tradicional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2 Dicbre.), 57–66. <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.471>

- Pascual, C. D., Pérez, C. Y. E., Morales, G. I. M., Castellanos, C. I. & González, H. E. (2014). Algunas consideraciones sobre el surgimiento y la evolución de la medicina natural y tradicional. *MEDISAN*, 18(10), 1444.
- Peralta, de A. J. (2019). Familia Agavaceae. Universidad Pública de Navarra. (Consultado: 06/03/2022). Disponible en: https://www.unavarra.es/herbario/invasoras/htm/Agavaceae_i.htm
- Rubio, Y., Leslie, F., Hernández Álvarez, M., Jiménez, J., Yunel Pérez, R., Yadileiny, H., Tundidor, P., Luisa, A., & Avila, V. (2018). Propiedades fitoquímicas y antibacterianas de los extractos de las hojas de *Agave fourcroydes* Lem. (henequén). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 23(2).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2023). Un regalo de los Dioses: el agave. (Consultado: 05/12/2021). Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/un-regalo-de-los-dioses-el-agave>.
- Sukumaran, R. K., Singhanian, R. R., Mathew, G. M. & Pandey, A. (2009). Cellulase production using biomass feed stock and its application in lignocellulose saccharification for bio-ethanol production. *Renewable Energy*, 34(2), 421–424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.008>
- Tinto, W. F., Simmons-Boyce, J. L., McLean, S. & Reynolds, W. F. (2005). Constituents of *Agave americana* and *Agave barbadensis*. *Fitoterapia*, 76(6), 594–597. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.04.013>
- Universidad Autónoma de Chiapas UNACH. (2016). Historia de la medicina. (Consultado: 05/08/2022). Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/book/los-ojos-de-la-piel-la-arquitectura-y-los-sentidos/juhani-pallasmaa/47850>
- Uribe, T. J., H. (2019). Medicina Tradicional. Secretaria de Salud. Consultado: 05/08/2022). Disponible en: <https://ss.puebla.gob.mx/images/areas/informate/Medicina-Tradicional-2019.pdf>
- Vela, E. (2014). El maguey. Breve historia. *Arqueología Mexicana*, 57, 10–11. ISBN [mx_arqueologiamexicana_e057](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00688-7)
- Villanueva-Rodríguez, S. J., Rodríguez-Garay, B., Prado-Ramírez, R. & Gschaedler, A. (2015). Tequila: Raw Material, Classification, Process, and Quality Parameters. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 283–289). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00688-7>

CAPÍTULO III

VARIACIÓN MORFOLÓGICA EN DOS POBLACIONES DE *Agave potatorum* Zucc. EN SANTA MARÍA SOLA DE VEGA.

Resumen

Los agaves son plantas que tienen adaptaciones en su morfología en diferentes ambientes en donde estos pueden influir en su desarrollo, la producción de mezcal ha causado una disminución muy drástica de las poblaciones silvestres. El *Agave* es un cultivo económicamente importante en el estado de Oaxaca y se utilizan unas nueve especies. Aunque el uso de este es muy estricto, existe poca información sobre las características morfológicas. El objetivo de esta investigación fue: Identificar las características de las plantas maduras de *Agave potatorum* Zucc. cultivados y silvestres en Santa María Sola. La investigación se realizó de 2022 a 2023, en dos poblaciones de *Agave potatorum* Zucc. una silvestre y la otra cultivado se midieron variables como Altitud, Pendiente, PH, humedad del suelo, altura, Diámetro de roseta, número de hojas peso de la piña y peso total de las hojas con la caracterización del *A. potatorum* la variación morfológica presente entre los sitios silvestres. Las plantas muestran una diferencia estadísticamente significativa en las variables de la altura (H) ($0.98 \pm 0.05a$; $0.76 \pm 0.03b$), diámetro de roseta (DR) ($1.15 \pm 0.05a$; $0.87 \pm 0.03b$) y número de hojas (NH) ($43.70 \pm 1.3b$; $51.13 \pm 2.24a$) mientras que en las variables del peso de la piña (PP) y peso total de las hojas (PTH) no existe diferencia significativa. La variación estuvo dada por las condiciones del sitio con respecto a la altura de las plantas mientras que el sitio cultivado las condiciones del no influyen en el crecimiento de la planta.

Palabras Clave: variables ambientales, mezcal, morfometría, *Agave*.

Abstract

Agaves are plants that have adaptations in their morphology in different environments where these can influence their development, mezcal production has caused a very drastic decrease in wild populations. *Agave* is an economically important crop in the state of Oaxaca and about nine species are used. Although the use of this is very strict, there is little information on the morphological characteristics. The objective of this research was: To identify the characteristics of mature plants of *Agave potatorum* Zucc. cultivated and wild *Agave potatorum* Zucc. in Santa María Sola. The research was conducted from 2022 to 2023, in two populations of *Agave potatorum* Zucc. one wild and the other cultivated, variables such as altitude, slope, pH, soil moisture, height, rosette diameter, number of leaves, pine cone weight, and total weight of leaves were measured to characterize the morphological variation of *A. potatorum* between the wild sites. The plants show a statistically significant difference in the variables of height (H) ($0.98\pm 0.05a$; $0.76\pm 0.03b$), rosette diameter (RD) ($1.15\pm 0.05a$; $0.87\pm 0.03b$), and number of leaves (NH) ($43.70\pm 1.3b$; $51.13\pm 2.24a$) while in the variables of pine cone weight (PP) and total leaf weight (PTH) there is no significant difference. The variation was given by the site conditions with respect to plant height while the cultivated site conditions did not influence plant growth.

Keywords: environmental variables, mezcal, morphometry, *Agave*.

3.1 INTRODUCCIÓN

Las diversas especies de *Agave* se han cultivado desde la época prehispánica, en México fueron de las primeras plantas aprovechadas, se ha utilizado como fuente de alimento, bebida, medicina, material para elaboración de casas y fibras (CONABIO, 2021; Espinosa *et al.*, 2017). En época colonial se inició su uso en la obtención de bebidas las cuales tenían una relación espiritual, (Colunga-García & May-Pat, 1993.; García-Mendoza, 2007), por lo que se considera que tienen una fuerte relación con la Cultura e historia mexicana (Pérez-Zavala *et al.*, 2020). Los agaves son plantas de importancia social, económica y ecológica que prosperan en diferentes ecosistemas y altitudes. Son originarios de México, aunque también se distribuyen Suroeste de los Estados Unidos, América Central, el Caribe y el norte de América del Sur (Vázquez-García *et al.*, 2007). Son consideradas plantas simbólicas de México, las cuales se han aprovechado desde tiempos ancestrales y se siguen utilizando en diferentes aplicaciones, una de las más conocidas es la producción de bebidas destiladas (Aguirre Rivera *et al.*, 2017). El género *Agave* pertenece a la familia Agavaceae e incluye más de 300 especies (García-Mendoza *et al.*, 2019). Las cuales se encuentran en las regiones áridas y tropicales principalmente en México (CONABIO, 2021). Es el centro de diversidad biológica y cultural de los agaves, este género cuenta con 159 especies con presencia en nuestro país, esto es más del 75 % del total (García-Mendoza, 2018).

Los magueyes son plantas adaptadas a climas áridos, con hojas suculentas, cutículas gruesas y realizan una fotosíntesis de tipo CAM. La adaptabilidad del *Agave* le permite sobrevivir a la deshidratación hasta 80 o 90 grados cuando se reduce el contenido de agua de los tejidos (Nobel, 2011). Sin embargo, la falta de agua inhibe el crecimiento en plantas de *Agave* (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006). Sobrevivir a condiciones extremas es importante desde un punto de vista ecológico. Sin embargo, cuando las plantas están en crecimiento o se pretende utilizar el crecimiento como materia prima para la producción de mezcal, la tasa de crecimiento es una característica importante porque determina cuándo las plantas maduran y se vuelven utilizables (Sánchez, 1989). Oaxaca es el estado con mayor producción de mezcal del país teniendo una fabricación de 14,165,505 litros de esta bebida en el 2022 siendo esto el 91.34% de la producción del país. Se utilizan unas nueve especies de *Agave*, una de las más representativas es *Agave angustifolia* Haw. y es el único que se ha cultivado (Bautista-Cruz & Martínez-gallegos, 2020). Otras especies se recolectan de forma silvestre o semi-cultivadas con poco o ningún manejo, como *Agave potatorum* Zucc., que hace que el mezcal sea muy demandado en el país. (Nogales, 2020). Produce un mezcal que se distingue por su calidad debido a la gran cantidad de compuestos aromáticos volátiles que contienen (Martínez Ramírez *et al.*, 2012). La cosecha del *Agave* para la elaboración de bebidas destiladas debe cumplir, ciertas características como lo es una coloración verde-amarillo en la base de las hojas (Espinosa *et al.*, 2017) y de un punto bioquímico, el estado de madurez lo define una concentración alta de carbohidratos (Cruz García H., 2013). En los últimos años, la industria del mezcal ha tenido un crecimiento sin precedente (Forbes Staff, 2020). Además, es una actividad económica que ofrece mejores oportunidades a los productores (Espinosa *et al.*, 2017).

La demanda de agaves silvestres para elaborar el mezcal genera una fuerte tensión en las poblaciones, reflejándose en un problema de escasez (Martínez *et al.*, 2019). El *Agave* es un cultivo con una importancia económica en el estado de Oaxaca debido a que es el único con el que se produce el mezcal tobalá, bebida alcohólica muy apreciada por sus suaves cualidades organolépticas y su alto contenido de compuestos volátiles (Soto-Castro *et al.*, 2021). En Oaxaca se utilizan unas nueve especies de *Agave*; *Agave angustifolia* Haw. es el más solicitado (Bautista-Cruz & Martínez-Gallegos, 2020). Las ocho especies restantes se recolectan de poblaciones silvestres o cultivadas como el *Agave potatorum* Zucc., coloquialmente conocido como maguey tobalá, especie que hace un mezcal muy exquisito. (Sánchez-López, 2005). La información sobre las características morfológicas de *Agave potatorum* es escasa a pesar de que tienen un aprovechamiento muy demandante. Por lo que, el objetivo fue evaluar el crecimiento del *Agave potatorum* Zucc. en asociación a dos condiciones diferentes en Santa María Sola de Vega.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Descripción de los sitios de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Santa María Sola de vega, en la Región de la Sierra Sur de Oaxaca, ubicada en las coordenadas de los paralelos 16°30' y 16°38' de latitud norte; los meridianos 96°59' y 97°05' de longitud oeste, cuenta con una altitud que va de 1400 a 2500 m. El municipio presenta un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano (71.62%) y templado subhúmedo con lluvias en verano (28.38%). Con temperaturas que oscilan entre los 14 y 22°C y una precipitación que va desde los 800 hasta los 1 500 mm (INEGI, 2010). En *la comunidad* existen tres ecosistemas dominantes, Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPQ) y Bosque de encino (BQ) (SEMARNAT & CONAFOR, 2013).

3.2.2 Establecimiento de los sitios

Se realizó un muestreo dirigido, en donde se muestrearon dos parcelas de cultivo; silvestre donde las plantas se encontraban en condiciones naturales; y cultivado estas plantas se encontraban en un terreno que anteriormente era utilizado como de cultivo a estas plantas contaban con una fertilización y chaponeo de la malezas, en zonas que el productor determiné ya que no son zonas específicas de producción (Figura 3.1)., se hizo una descripción de cada sitio de acuerdo con sus características tomando en cuenta las variables de: exposición, pendiente, altitud, y vegetación asociada. Se midieron todas las plantas en edad madura, la información de campo se capturo en una base de datos, en la cual se registraron las variables de: altura de la planta (h), diámetro de la roseta (DR), número de hojas (NH), Peso total de la piña, y el peso total de las hojas (PTH). La

caracterización de las poblaciones y morfología se realizó durante la época de cosecha (primavera).

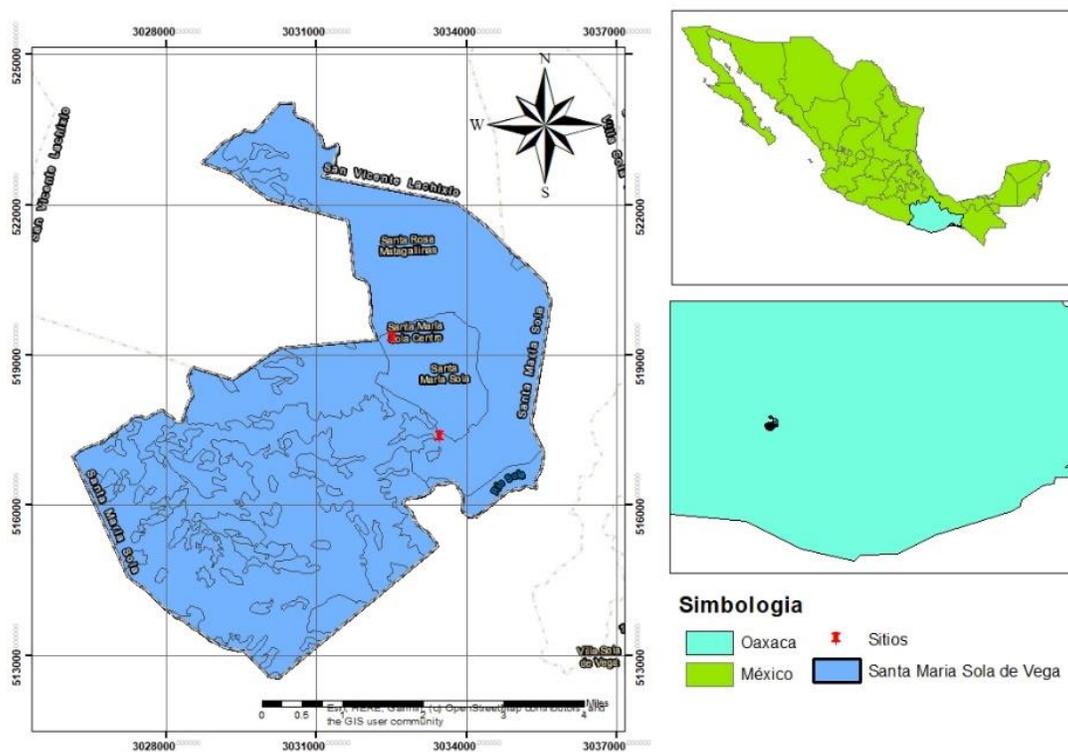


Figura 3.1. Localización geográfica del área de estudio

3.2.3 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en campo se realizó el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias t de Student ($p \leq 0.05$) para poder identificar las diferencias existentes entre el sitio silvestre y cultivado, también se realizó una correlación de Pearson para ver cuanta relación tiene entre variables cada sitio y poder observar que tanto influye unas variables sobre otras, estos análisis se realizaron con el programa estadístico SAS académico.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie *A. potatorum* crece en varios tipos de vegetación, desde dunas costeras hasta bosques de pino encino, con variación fenotípica en función del ambiente, los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en las características de las plantas del sitio silvestre respecto a las cultivadas. En el Cuadro 3.1 se muestra una diferencia estadísticamente significativa en las variables de la altura (H) ($0.98 \pm 0.05a$; $0.76 \pm 0.03b$) y número de hojas (NH) ($43.70 \pm 1.3b$; $51.13 \pm 2.24a$) mientras que en las variables de diámetro de roseta (DR), peso de la piña (PP) y peso total de las hojas (PTH) no existe diferencia significativa.

Cuadro 3.1. Caracterización de dos sitios de agave *potatorum* Zucc. bajo diferentes condiciones.

Variables	silvestre	Cultivado	Valor t
Altura	0.98 ± 0.05	0.76 ± 0.03	2.63**
Diámetro de roseta	1.15 ± 0.05	0.87 ± 0.63	1.63 ^{ns}
Numero de hojas	43.70 ± 1.38	51.13 ± 2.25	2.67**
Piña	15.57 ± 1.59	13.62 ± 1.27	1.55 ^{ns}
Peso total de hojas	10.90 ± 1.30	1.30 ± 1.42	1.20 ^{ns}

^{ns}No significancia ($p > 0.05$), **alta significancia ($p \leq 0.01$), en la prueba t-Student

Los resultados indican que la cobertura de otras plantas que compiten por luz y nutrientes del suelo, son factores fuertemente relacionados a la disminución de la dominancia en altura y DR. Esto concuerda con los datos experimentales de este y otros agaves, que muestran que la radiación fotosintéticamente activa, junto con el agua, es uno de los principales factores limitantes de la tasa de fotosíntesis en jóvenes y adultos (Winter *et al.*, 2014).

El número de hojas es la variables con la media más elevada en el sitio cultivado con un valor promedio de 51 hojas por planta esto quiere decir que la fertilización ayuda a que la

planta genere más hojas mientras que en el sitio cultivado debido a las condiciones este es menor, lo mismo pasa con el peso de la piña, la media del sitio silvestre es mayor (15.57) respecto a la media del sitio cultivado (13.62) esto puede indicar que las plantas silvestres tienen un valor más alto debido a sus sabores y aromas y esto hace que el su precio sea más elevado en comparación con plantas cultivadas (Martínez *et al.*, 2019) , esto se atribuye a al crecimiento rudo por las condiciones climáticas, y así guarda mayor cantidad de azúcar para sobrevivir. (Arias, 2021). Las plantas de *Agave* desarrolladas con fertilización presentaron también valores superiores ($p \leq 0.05$) de Número de hojas, Peso de la piña y Peso total de hojas. El cuidado del *Agave* cultivado sólo generó diferencias en la concentración de sólidos solubles totales en hoja (Martínez *et al.* 2012). Existe evidencia de que el *A. potatorum* y otras especies del mismo género responden positivamente a dosis bajas de fertilizantes (Martínez *et al.*, 2012). En estudios anteriores se han encontrado cuando se fertilizaban con dosis bajas las plantas tienen más hojas (Díaz *et al.* 2011).

En el sitio de plantas silvestres, los resultados de la correlación muestran que entre las variables existe correlaciones positivas y significativas entre Altitud, pendiente, pH y altura (Cuadro 3.2). Las correlaciones más altas se llevaron entre las condiciones del sitio es decir entre las variables de altitud, pendiente y pH (-1.000) aunque la variable altura también tiene correlación con estas tres variables lo que indica que las condiciones del sitio influyen en el crecimiento en H de las plantas.

Cuadro 3.2. Correlación entre variables de una población silvestre de *Agave potatorum* Zucc.

Altitud	Pendiente	PH	H	DR	NH	Piña	PTH
---------	-----------	----	---	----	----	------	-----

Altitud	-	-1.000**	-1.000**	0.517**	0.076	0.233	-0.064	-
Pendiente	-1.000**	-	1.000**	-0.517**	-0.076	-0.233	0.064	-
PH	-1.000**	1.000**	-	-0.517**	-0.076	-0.233	0.064	
H	0.517**	-0.516**	-0.517**	-	0.318	0.368	0.197	-0.186
DR	0.076	-0.076	-0.076	0.318	-	0.185	-0.062	-0.125
NH	0.233	-0.233	-0.233	0.368	0.185	-	0.320	0.304
Piña	-0.064	0.064	0.064	0.197	-0.062	0.320	-	0.401
PTH				-0.186	-0.125	0.304	0.401	-

Alt=Altitud del sitio; Pend=pendiente; PH; H=altura de la planta; DR= diámetro de la roseta; NH=número de hojas; Piña= peso total de la piña y PTH= peso total de las hojas. *significativa $P < 0.05$, ** significativa $P < 0.01$.

Mientras que en el Cuadro 3.3 se muestran los resultados de la correlación entre las variables del sitio cultivado donde solo se obtuvieron correlaciones positivas y significativas entre las variables morfológicas (H, DR, Piña y PTH). Mientras que no existe ninguna relación con las condiciones del sitio. Las correlaciones más altas se llevaron entre la H y el DR (0.827), lo que puede indicar que el crecimiento de las plantas de este sitio no se ve interferido por las condiciones, sino por el manejo que se les puede dar. Lo mismo pasa con el tamaño de la piña y de esta depende el peso de las hojas.

El porcentaje de humedad no provocó diferencias significativas en las variables de respuesta de *A. potatorum* (NH, Piña, PTH) a diferencia al DR. El comportamiento de *A. potatorum* bajo manejo difirió de las plantas silvestres Nobel *et al.*, (1989); señalan que el comportamiento que adquieren estas plantas se debe a que a mayor humedad en el suelo existe una mayor absorción de nutrientes y dióxido de carbono y por tanto una mayor tasa de crecimiento (Andrade *et al.*, 2007).

Cuadro 3.3. Correlación de variables de una población silvestre de *Agave potatorum* Zucc.

Alt	Pend	PH	H	DR	NH	Piña	PTH
-----	------	----	---	----	----	------	-----

Alt					
Pend					
PH					
H		0.827**	-0.156	0.217	0.055
DR	0.827**		-0.245	0.289	0.155
NH	-0.156	-0.245		0.064	0.274
Piña	0.247	0.120	0.735		0.802**
PTH	0.055	0.155	0.274	0.802**	

Alt=Altitud del sitio; Pend=pendiente; PH; H= altura de la planta; DR= diámetro de la roseta; NH=número de hojas; Piña= peso total de la piña y PTH= peso total de las hojas. *significativa $P < 0.05$, ** significativa $P < 0.01$.

Los agaves silvestres que crecen en el campo, sin ninguna consideración humana en el mercado tiene un valor elevado, por sus sabores y aromas, esto hace que su precio se eleve, debido a que su crecimiento es más difícil por las condiciones climáticas, la planta almacena más azúcar para sobrevivir. Por lo tanto, el período de vencimiento es de 10 a 25 años. Mientras que los agaves cultivados requieren cuidados especiales a largo plazo. Y en la mayoría de las ocasiones estas plantas se cultivan con métodos agroecológicos son de menor calidad ya que no fueron capaces de almacenar nutrientes ya que todo lo encuentra en el ambiente en el momento que lo requieren. (Martínez *et al.*, 2019).

En la literatura se ha reportado que la tasa de crecimiento de otras especies pertenecientes a la misma familia que correlaciona positivamente con algunas variables que determinan la calidad del suelo y la competencia por los nutrientes (García-Moya *et al.*, 2011). Se conoce la capacidad de los agaves para sobrevivir en suelos pobres y secos (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014), gracias a esta capacidad de poder sobrevivir la calidad de la planta varía según las condiciones de crecimiento.

3.4 CONCLUSIONES

La alta demanda de *Agave silvestre* para la producción de mezcal tradicional, ejerce una fuerte presión sobre las poblaciones naturales, lo que genera un problema de escasez de materia prima. Por ello, las plantaciones de especies silvestres son cada vez, más frecuentes, provocando que las plantas que se obtienen presenten características morfológicas diferentes. En el caso particular del *A. potatorum* esa variación se hace más notoria en: la altura, diámetro de roseta y número de hojas de las plantas, las cuales están relacionadas con la altitud y la pendiente, dicha relación no es perceptible en los cultivos debido a la uniformidad de los sitios.

3.5 REFERENCIAS

- Aguirre Rivera, J. R., Aldrete Herrera, P. I., Álvarez Aínza, M. L., Amaya Delgado, L., Andrade González, I., & Arrizon Gaviño, J. P. (2017). Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Primera Edición Electrónica. P 302.
- Arias, E. (2021). Agave silvestre o cultivado: el sabor de la tierra. Revista Quixe. (Consultado: 10/12/2022). Disponible en: <https://revistaquixe.com/2021/03/16/agave-silvestre-o-cultivado-un-vistazo-al-desarrollo-sustentable-del-mezcal/>
- Bautista-Cruz, A., & Martínez-Gallegos, V. (2020). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. Terra Latinoamericana, 38(3), 555–567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Colunga-García, P., May-Pat, F. (1993). *Agave studies in Yucatan, Mexico. I. Past and present germplasm diversity and uses.* Econ Bot 47, 312–327 <https://doi.org/10.1007/BF02862301>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). Magueyes. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Consultado: 13/12/2021). Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes>
- Cruz García H. (2013). Nutrimientos y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (6). DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1280>
- Espinosa, M. D., E., Rivera, G. G., & Maldonado, Á. B., E. (2017). Caracterizando la producción y organización de los mezcaleros en Matatlán, México “Capital mundial del mezcal.” Estudios Sociales, 27. <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.465>
- Forbes Staff. (2020). Reporte Regional. Mezcal, la bebida emblemática de Oaxaca. (Consultado: 10/09/2021). Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/author/forbes-staff/>.
- García-Mendoza, A., J. (2007). Los Agaves de México, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciencias, 14–23
- García-Mendoza, A., Franco Martínez. I, S., & Sandoval Gutiérrez. D. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. Acta Botánica mexicana, 126, 1–18. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- García-Mendoza, A., J. (2018). México cuenta con 159 especies de *Agave*. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. (Consultado: 09/05/2021). Disponible en: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_045.html

- García-Moya, E., A. Romero-Manzanares y P. S. Nobel. 2011. Highlights for *Agave* productivity. *Global Change Biology, Bioenergy* 3(1): 4-14. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01078.x>
- Gschaedler, A. C., Villarreal, H. S., Gutiérrez, M.-A., Ortiz, B. R. I., Moreno, T. R., Lappe, O. P. E., Larralde, C. C. P., Contreras, R. S. M., Dávila, V. G., & Gallardo, V. J. (2017). Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Primera Edición Electrónica. P 302.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Santa María Sola, Oaxaca.
- Jiménez, R. M., Ruiz-Vega, J., Caballero, M. C., Rivera, M. E. S., & Bernabé, J. L. M. (2019). Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2), 477-485.
- Martínez, J. R., Ruiz-Vega, J., Caballero, C. M., Silva, R. M. E., & Montes, B. J. L. (2019). Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 477–485.
- Martínez Ramírez, S., Trinidad Santos, A., Robles, C., Galvis Spinola, A., Hernández Mendoza, T. M., Santizo Rincón, J. A., Bautista Sánchez, G., & Pedro Santos, E. C. (2012). crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Fitotecnia Mexicana*, 35, 61–68.
- Nobel PS. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO2, agua, cambio climático. 2a ed. Biblioteca Básica de Agricultura, Texcoco.
- Nogales, -L. (2020). Los tobalá. *Mezcologia*. (Consultado: 05/11/2022). Disponible en: <https://mezcologia.mx/tobala/>
- Pérez-Zavala, M. de L., Hernández-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. E. (2020). *Agave*: a natural renewable resource with multiple applications. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 100, Issue 15, pp. 5324–5333). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>
- Pimienta-Barrios E., Zañudo-Hernández J. y García-Galindo J. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40:699-709.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia y R. J. R. Aguirre. 2014. Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences* 92(1): 131-139. DOI: <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.156>
- Sánchez L.A. 1989. Oaxaca, Tierra de Maguey y Mezcal. Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca.
- Sánchez-López. A. 2005. Oaxaca: tierra de maguey y de mezcal. Instituto Tecnológico de Oaxaca. P 194.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNA), & Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). Inventario Estatal Forestal y de Suelos Oaxaca.
- 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>
- Vázquez-García, J. A.; Cházaro, B. M. de J.; Hernández, V. G.; Vargas-Rodríguez Y. L. y Zamora, T. Ma. del P. 2007. Taxonomía del género *Agave* en el Occidente de México: una panorámica preliminar. In: Vázquez-García, M. J.; Cházaro, G.; Hernández, V. E.; Flores, and Vargas-Rodríguez Y. L. (Ed.) *Los Agaves del Occidente de México*. (Ed.) by J. A. Universidad de Guadalajara CUCBA-CUCSH, México. 38-82 pp
- Winter, K., M. García y J. A. M. Holtum. 2014. Nocturnal versus diurnal CO₂ uptake: how flexible is *Agave angustifolia* *Journal of Experimental Botany* 65(13): 3695-3703. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru097>

CAPÍTULO IV

CONTENIDO DE FENOLES, Y FLAVONOIDES TOTALES DE EXTRACTO DE HOJAS DE *Agave potatorum* ZUCC.

Resumen

Algunos compuestos de las plantas poseen una gran actividad biológica derivada de los metabolitos secundarios que han evolucionado como un mecanismo de defensa a diferentes factores del ambiente. El *Agave potatorum* Zucc. es una especie utilizada en la elaboración de mezcal, durante la cosecha, las hojas representan más del 50% de desechos. Los cuales son abandonados en el suelo donde son degradados por un largo tiempo. La cantidad de metabolitos secundarios y de productos de las fotosíntesis capturados en estas, representan un gran esfuerzo de energía para las plantas, los cuales podrían ser aprovechados ya que se ha documentado que se usan en la medicina tradicional para combatir enfermedades como la obesidad, mejorar la diabetes y reducir la osteoporosis. El objetivo de esta investigación fue identificar el uso potencial de los compuestos activos contenidos en las hojas de *Agave potatorum* Zucc. Se recolectaron hojas de base, medias y puntas de plantas que se encontraban en la sombra y otras expuestas al sol, para relacionar estas características con el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, posteriormente se sometieron a liofilización y se realizó la extracción de fitoquímicos se realizó mediante el método descrito por Dewanto *et al.*, (2002), de los extractos obtenidos se determinó el contenido de compuestos. Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de fenoles totales tiene un promedio de 878 mg Eq Ac Gálico y para la actividad antioxidante tiene un promedio de 72.12 ABTS (Mol Eq TROLOX) y una concentración de flavonoides de 233.62 mg Eq Catequina lo cual se ve muy relacionado con la ubicación de las hojas en las plantas. De acuerdo con los resultados son las hojas medias las que presentaron mayor contenido de compuestos.

Palabras Clave: metabolitos secundarios, fitoquímicos, composición química, fotosíntesis

Abstract

Some plant compounds possess high biological activity derived from secondary metabolites that have evolved as a defense mechanism to different environmental factors. *Agave potatorum* Zucc. is a species used in the production of mezcal, during the harvest, the leaves represent more than 50% of the waste. The leaves are left on the ground where they are degraded for a long time. The number of secondary metabolites and products of photosynthesis captured in them represent a great effort of energy for plants, which could be used in traditional medicine to combat diseases such as obesity, improve diabetes and reduce osteoporosis. The objective of this research was to identify the potential use of the active compounds contained in the leaves of *Agave potatorum* Zucc. Leaves were collected from base, middle and tips of plants that were in the shade and others exposed to the sun, to relate these characteristics with the content of phenols, flavonoids, and antioxidant capacity, then subjected to freeze-drying and extraction of phytochemicals was performed by the method described by Dewanto et al. (2002), from the extracts obtained was determined the content of compounds. The results obtained showed that the total phenol content averaged 878 mg Eq Gallic acid and the antioxidant activity averaged 72.12 ABTS (Mol Eq TROLOX) and a flavonoid concentration of 233.62 mg Eq Catechin, which is closely related to the location of the leaves on the plants. According to the results, the middle leaves showed the highest content of compounds.

Keywords: secondary metabolites, phytochemicals, chemical composition, photosynthesis.

4.1 INTRODUCCIÓN

México es el epicentro de la diversidad biológica y cultural del *Agave* a escala mundial, comprende alrededor de 211 de las cuales 159 especies son endémicas (García-Mendoza, 2018). El género *Agave* es considerado una fuente de metabolitos secundarios con diferentes propiedades biológicas (Rubio *et al.*, 2018). Estas plantas están distribuidas en diferentes partes del país y tienen una fuerte capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008). México es el país del *Agave* ya que alberga alrededor del 75% de las especies que existen en el mundo. El centro más diverso está en los límites de Puebla y Oaxaca (Soto-Castro *et al.*, 2021).

En Oaxaca se utilizan aproximadamente nueve especies de *Agave*, para la elaboración de mezcal, el *A. angustifolia* Haw. y el *A. potatorum* Zucc. son los de mayor demanda (Bautista-Cruz & Martínez-Gallegos, 2020). Sin embargo, de toda la planta, solo se aprovecha la piña, quedando como desecho las hojas (López-Romero *et al.*, 2018). Este subproducto natural podría ser una fuente de extracción de compuestos por bioactivos, (Zapata & Sánchez-Teyer, 2009). La estructura química de los compuestos contenidos en el *Agave* cambia dependiendo de las condiciones edafológicas y climáticas (Iser *et al.*, 2020). Estos tienen una capacidad amplia de adaptación (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008). Las diferentes especies tienen un alto valor económico debido a que la mayoría se usan para la elaboración de bebidas alcohólicas que alcanzan un precio alto en el mercado, además de que también se usan para alimentación, construcción, medicinal, religión, textil, decoración, biocombustibles y fibras (Nava-Cruza *et al.*, 2015).

Los fitoquímicos son componentes que corresponden a los metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, por ello es que son ampliamente investigados por su utilización en la salud (Gasaly *et al.*, 2020; Muñoz Jáuregui *et al.*, 2014). Los metabolitos secundarios son sustancias de origen naturales no fibrosas, transformadas en un sistema de defensa frente a diferentes ataques de bacterias, insectos, pájaros etc., en algunas ocasiones, son el resultado del metabolismo en plantas sometidas a estrés (Zandalinas *et al.*, 2017). Los estudios fitoquímicos de extractos de hojas realizados a varias especies de agaváceas, muestran una gran gama de metabolitos secundarios y primarios como flavonoides, alcaloides, saponinas, terpenos, esteroides, cumarinas, fenoles, azúcares reductores, inulina, fructanos, entre otros (Rubio *et al.*, 2018). Estos ayudan a proteger a las plantas a distintos tipos de estrés, tanto biótico como abiótico, incluyendo infecciones, depredadores, rayos ultravioletas y estrés hídrico o salino (Gasaly *et al.*, 2020). Es por ello que el objetivo de esta investigación fue identificar el uso potencial de los compuestos activos contenidos en las hojas de *Agave potatorum* Zucc.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Material vegetal

Las hojas de *A. potatorum* Zucc. se recolectaron en diferentes sitios de la comunidad de Santa María Sola de Vega Oaxaca. (16°30' y 16°38' de latitud norte; los meridianos 96°59' y 97°05' de longitud oeste. Altitud: 1400 a 2500 m), se utilizó un muestreo dirigido, el estudio se realizó con las hojas eliminadas durante la cosecha. Se colocaron en papel para ser transportadas al laboratorio de la Universidad autónoma de Occidente Unidad Regional de Culiacán Sinaloa (25°48'50"N 108°57'43"O). Las hojas fueron cortadas en trozos de 5x5 cm, con un grosor de 3 mm, y llevados al liofilizador a -58 °C durante 24 hrs. Para después ser molidos y obtener un polvo fino.

4.2.2 Extracción de fitoquímicos libres

La extracción de los fitoquímicos se llevó a cabo con el método descrito por Dewanto *et al.*, (2002). Primero se usaron 0.5 g de muestra con 10 mililitros (mL) de etanol (80% v/v), se revolvió en un rotator OVAN® noria R, EUA 2010 (25 rpm / 10 min). Inmediatamente se centrifugó (ZEIGEN® 80-2s (5,000xg / 10°C/10 min)). Las partículas que flotan se guardón en un tubo cónico hasta el momento en que se utilice

4.2.3 Determinación de Fenoles Totales

Los fenólicos totales se comprobaron con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, (Singleton *et al.*, 1999). En frascos de 2 mL, se colocó 20 μL (una millonésima parte de un litro) de solución estándar de ácido gálico para realiza la curva de calibración, y 20 μL de muestra, se le agregó agua destilada y poco tiempo después se les agregó 100 μL de Folin-Ciocalteu, se incorporaron 300 μL de Carbonato de sodio (NaCO_3) al 7% y se dejó reposar durante 8 min. Después de cierto tiempo, se agregaron 380 μL de agua destilada completando 2 mL, dejó por 90 min en total oscuridad. Pasados los 90 min se realizó la lectura en un espectrofotómetro (UV-vis Genesys 10 UV Thermo Electron Corporation, Madison, WI, EUA) a 765 nm durante tres repeticiones por cada una de las muestras.

4.2.4 Determinación de Flavonoides totales (FT)

Para la evaluación de flavonoides totales se colocaron 20 μL del extracto y se le adiciono 80 μL de agua destilada. Después se le agregaron 6 μL de Nitrato de sodio (NaNO_2) al 5%, y se dejó reposar durante 5 min, se le adicionaron 12 μL de Cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10% y 40 μL de hidróxido de sodio (NaOH 1M). Por último, después de 30 min se midió la absorción. a 510 nm con la ayuda de un lector de microplaca (SynergyTM HT Multidetecction, Biotek, Inc., Winooski, VT). Se preparó una curva de calibración utilizando Catequina y el contenido de flavonoides se expresó como mg equivalentes de Catequina (mg CAE) por 100 g de muestra en base seca (Heimler *et al.*, 2005).

4.2.5 Determinación de la actividad antioxidante (ABTS)

La actividad antioxidante se determinó en términos de actividad captadora de radicales libres por el ensayo decoloración del catión radical ABTS (Re *et al.*, 1999). El ensayo se enfoca en la disminución del radical ABTS** por los antioxidantes presentes en los extractos. El compuesto ABTS se diluyó en agua desionizada a una 7mM. Se generó una solución stock del catión radical ABTS** por medio de la reacción de la solución de ABTS con persulfato de potasio (2.45 mM concentración final), la mezcla se dejó en reposo por 12 horas en la oscuridad. Con una alícuota de la solución con el radical ABTS** se disolvió en PBS hasta llegar a una absorción de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se trasladaron 20 μ L del blanco y los extractos en una celda de cuarzo, el ensayo comenzó al añadir 80 μ L de la solución ABTS**. Se registró la absorbancia a 734 nm en 15 min después de iniciado el ensayo y se calculó la pérdida de absorbancia del ABTS** respecto a un blanco. Se utilizó una curva de calibración con Trolox y los datos se expresaron como μ mol equivalente de Trolox por 100 g de muestra en base seca (μ mol de ET/100 g, bs).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la cuantificación del contenido de fenoles y flavonoides totales de seis muestras de hojas de *Agave potatorum* Zucc. Las hojas medias expuestas al sol (muestras 3), presentó el mayor contenido de fenoles totales, con un valor de 1054 ± 58 mg GAE/g (Cuadro 4.1). Asimismo, las hojas de puntas expuestas al sol presentan el valor mínimo de 806 ± 8.5 mg GAE/g. El contenido de fenoles totales en cada una de las muestras se ha expresado como ácido gálico (GAE) / 100 g de muestra.

Cuadro 4.1. Fenoles y flavonoides totales de los extractos

MUESTRA	FT (mg Eq Ac Gálico)	FLT (mg Eq Catequina)
1	806 ± 8.5	213.32 ± 4.55
2	820 ± 62.6	217.23 ± 2.56
3	1054 ± 58.0	282.61 ± 8.18
4	852 ± 73.19	226.17 ± 7.3
5	859 ± 36.4	228.12 ± 6.4
6	881 ± 35.0	234.27 ± 0.44

Los valores representan la media y la desviación estándar. 1= Hojas de la base con exposición al sol, 2= Hojas de la base con exposición a la sombra, 3= Hojas medias con exposición al sol, 4= Hojas medias con exposición a la sombra, 5= Hojas de la punta con exposición al sol, 6= Hojas de la punta con exposición a la sombra, FT (mg Eq Ac Gálico) = Fenoles totales miligramos equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g de muestra y FLT (mg Eq Catequina) = Flavonoides totales miligramos equivalentes de Catequina (mg CAE) por 100 g de muestra

El estudio reveló que la ubicación de las hojas respecto a la planta y la exposición al sol afectan la concentración de flavonoides totales (Cuadro 4.1) expresado como Catequina (mg CAE) por 100 g de muestra en base seca. El máximo contenido vuelve a coincidir con la muestra 3 con un valor de 282.61 ± 8.18 mg QE/100g, en este caso los valores más bajos son los de la muestra 1 y 2 38.39 ± 5.2 mg QE/100g y 44.89 ± 4 mg QE/100g respectivamente.

Las plantas del desierto al presentar estrés por sequía, sufren un aumento en el contenido de fenoles totales, esto podría estar pasando en estos resultados (Puente-Garza *et al.*, 2017). En los extractos de hojas de *A. potatorum*, la muestra las muestras medias expuestas a el sol supera su contenido de fenoles y flavonoides totales (Cuadro 4.1) en comparación a la que están expuestas a la sombra.

Independientemente de las hojas, el contenido fenólico en *A. potatorum* es superior a lo reportado por Soto-Castro *et al.*, (2021) y Ahumada-Santos *et al.*, (2013), para *A. potatorum* y otras seis diferentes especies (*A. tequilana*, *A. rzedowskiana* *A. impressa*, *A. ornithobroma*, *A. schidigera*, y *A. angustifolia*), en las que dicho contenido oscilaba entre 2,06 a 12,37 mg de equivalentes de ácido gálico/g. Con respecto a los fenoles y flavonoides, ambos metabolitos son considerados como uno de los principales compuestos encargados de las funciones terapéuticas, (Delgado-Alvarado., 2021).

Los fenoles que se encuentran en los extractos de *A. potatorum* logran mostrar una aplicación a distintas enfermedades, ya existen registros que atribuyen propiedades antioxidantes (Kendir & Köroğlu, 2015). A estas sustancias también se le atribuyen una actividad antibacteriana, antifúngica, a y estimuladora del sistema inmunitario, esto hace posible el uso de esta especie para la elaboración de fármacos que ayudan salud humana y animal (Dunder *et al.*, 2013). Los flavonoides que se describieron son compuestos que cuentan con actividades antioxidantes, esto hace que puede usar para tratar enfermedades como los procesos inflamatorios, las enfermedades de Parkinson y de Alzheimer, la Diabetes mellitus, el cáncer, entre otras (Duhne Backhauss.; Sinha *et al.*, 2015).

Cuadro 4.2. Actividad antioxidante de los extractos

MUESTRA	ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$)
1	38.39 \pm 5.2
2	44.89 \pm 4.0
3	153.51 \pm 6.8
4	59.74 \pm 8.4
5	63.00 \pm 7.8
6	73.21 \pm 2.0

Los valores representan la media y la desviación estándar. 1= Hojas de la base con exposición al sol, 2= Hojas de la base con exposición a la sombra, 3= Hojas medias con exposición al sol, 4= Hojas medias con exposición a la sombra, 5= Hojas de la punta con exposición al sol, 6= Hojas de la punta con exposición a la sombra y ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$) = μmol equivalente de Trolox por 100 g de muestra en base seca

Los antioxidantes naturales se asociaron generalmente a compuestos fenólicos, flavonoides y taninos. Los resultados obtenidos respecto a la actividad antioxidante la cual está representada como ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$) demuestran que las hojas con exposición al sol contienen mayor actividad respecto a las hojas bajo sombra (Cuadro 4.2). La actividad se vuelve a concentrar en la muestra 3 con un valor de 153.51 ± 6.8 ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$), (Ribeiro *et al.*, 2013) seguida de la muestra 6 (73.21 ± 2 ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$)), en este caso también los valores más bajos son los de la muestra 1, 38.39 ± 5.2 ABTS ($\mu\text{Mol Eq TROLOX}$).

Esto puede indicar que la actividad antioxidante es mayor cuando las hojas están maduras que cuando las hojas son más viejas y jóvenes, posiblemente debido a que la planta produce compuestos antioxidantes en una etapa más temprana. Como mecanismo de defensa a el ataque de depredadores, o para reducir el crecimiento de las plantas cercanas que compiten por los nutrientes (Ribeiro *et al.*, 2013).

En la Figura 4.1 se observan el comportamiento de cada uno de los componentes con respecto a las diferentes posiciones de las hojas y su exposición al sol. Una disminución del contenido de flavonoides puede presentarse como respuesta a un estrés por sequía, las enzimas reducen su actividad en condiciones de estrés hídrico en diversas plantas (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2011).

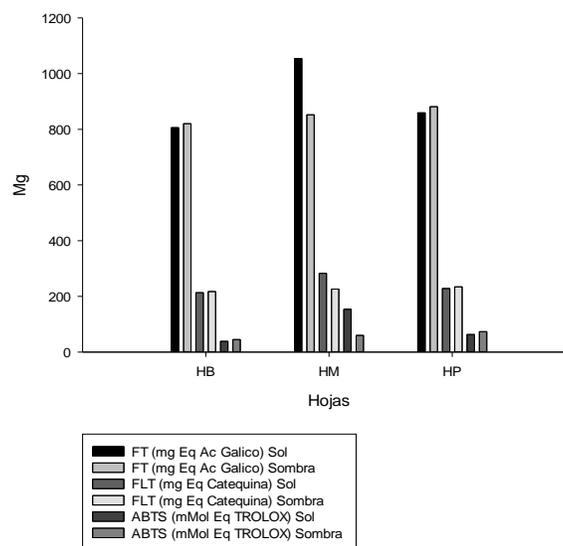


Figura 4.1. Concentración de fenoles totales (FT), flavonoides totales (FLT) y actividad antioxidante (ABTS) en diferentes muestras

Los metabolitos secundarios están relacionados con las interacciones ecológicas entre plantas y medio ambiente, (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2003) es por ello es que se le puede atribuir que el *Agave potatorum* Zucc con un metabolismo CAM tenga una mayor concentración de contenidos en las hojas expuestas al sol ya que al tener más contacto los metabolitos secundarios servir como protector ante los rayos ultravioleta

4.4 CONCLUSIONES

En los extractos de hojas de *A. potatorum* se identificó la presencia de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante. La mayor concentración se detectó en las hojas localizadas en parte media de la planta, mientras que las concentraciones mas bajas se encontraron en las hojas de la base expuestas al sol. Aunque no es posible detectar si el contenido de los compuestos anteriores es suficiente para producir una acción terapéutica, esto es una posibilidad.

4.5 REFERENCIAS

- Ahumada-Santos, Y. P., Montes-Avila, J., Uribe-Beltrán, M. de J., Díaz-Camacho, ç S. P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J. Á., Heredia, J. B., & 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>
- Bautista-Cruz, A., & Martínez-Gallegos, V. (2020). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 555–567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Delgado-Alvarado, E. A., Ávila-Reyes, J. A., Torres-Ricario, R., Naranjo-Jiménez, N., Chaidez-Ayala, A. I., & Almaraz-Abarca, N. (2021). Caracterización fitoquímica de *Agave shrevei* Gentry. *ECUCBA*, 16, 56–59. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi16.200>
- Dewanto, V., Xianzhong, W., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014. <https://doi.org/10.1021/jf0115589>
- Duhne Backhauss, M. Maguey para frenar el cáncer. ¿Como Ves?, 81, Consultado: 01/02/2020). Disponible en: https://www.comoves.unam.mx/assets/revista/81/rafagas_81.pdf
- Dunder, R. J., Ferreira, a. L., Alves de Almeida, A. C., Meira de Faria, F., Takayama, C., Rabelo Socca, E. A., Salvador, M. J., Coelho Mello, C., Dos Santos, C., Oliva-Neto, P., & Monteiro Souza-Brito, A. R. (2013). Applications of the hexanic fraction of *Agave sisalana* Perrine ex Engelm (Asparagaceae): control of inflammation and pain screening. *Memorias Del Instituto Oswaldo Cruz*, 108, 263–271. DOI: 10.1590/S0074-02762013000300002
- Gasaly, N., Riveros, K., & Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2), 317–327. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000200317>
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3053–3056. <https://doi.org/10.1021/jf049001r>
- Iser, M., Valdivié, M., Figueredo, L., Nuñez, E., Más, D., & Martínez, Y. (2020). Secondary metabolites, quality indicators and organoleptic characteristics of stems meal from *Agave fourcroydes* (Henequen). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1).

- Kendir, G., & Koroğlu, A. (2015). In vitro Antioxidant Effect of the Leaf and Branch Extracts of Ribes L. Species in Turkey. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Research*, 2(1). <https://doi.org/10.15344/2394-1502/2015/108>
- López-Romero, J. C., Ayala-Zavala, J. F., González-Aguilar, G. A., Peña-Ramos, E. A., & González-Ríos, H. (2018). Biological activities of *Agave* by-products and their possible applications in food and pharmaceuticals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2461–2474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8738>
- Muñoz Jáuregui, A. M., Alvarado-Ortiz U, C., Blanco Blasco T., Castañeda B., Ruiz Quiroz J., & Alvarado Yarasca A. (2014). Determinación de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante en mieles peruanas de diferentes fuentes florales. *Rev. Soc. Quím Perú*, 80(4) <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i4.182>.
- Nava-Cruza, N. Y., Medina-Morales, M. A., Martineza, J. L., Rodriguez, R., & Aguilera, C. N. (2015). *Agave* biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546–559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>
- Pinos-Rodríguez, J., Zamudio, M., & González, 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). DOI:10.4314/sajas.v38i1.4108.
- 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>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231–1237. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3.
- Ribeiro, B. D., Alviano, D. S., Barreto, D. W., & Coelho, M. A. Z. (2013). Functional properties of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and juá (*Ziziphus joazeiro*): Critical micellar concentration, antioxidant and antimicrobial activities. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 736–743. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.08.007>
- Rubio, Y., Leslie, F., Hernández Álvarez, M., Jiménez, J., Yunel Pérez, R., Yadileiny, H., Tundidor, P., Luisa, A., & Avila, V. (2018). Propiedades fitoquímicas y antibacterianas de los extractos de las hojas de *Agave fourcroydes* Lem. (henequén). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 23(2).
- Sánchez-Rodríguez, E., Moreno, D. A., Ferreres, F., Rubio-Wilhelmi, M. D. M., & Ruiz, J. M. (2011). Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: Changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry*, 72(8), 723–729. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.011>

- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., & Rocha-Sosa, M. (2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21, 355–363.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Métodos en Enzimología* 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sinha, P., Jain, A., Jain, A., & Vavilala, S. (2015). Estimation of flavonoid content, polyphenolic content and antioxidant potential of different parts of *Abrus precatorius* (L.). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(8).
- 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>
- Zandalinas, S. I., Sales, C., Beltrán, J., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2017). Activation of secondary metabolism in citrus plants is associated to sensitivity to combined drought and high temperatures. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01954>
- Zapata, N., & Sánchez-Teyer, L. F. (2009). Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology*, 3, 185–191. DOI: 10.2174/187220809789389144.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES GENERALES

Debido a las características favorables del *Agave* y a su alto contenido de fenoles y flavonoides en las hojas de *Agave potatorum* Zucc., y de acuerdo con la importancia que se ha registrado como una de las más importantes en la industria de las bebidas destiladas, es una especie de suma también ya que se han encontrado registros de sus diferentes usos uno de los más importantes es el medicinal.

La actividad antioxidante ha sido reportada en diversas especies de la familia Agavácea, realizándose estudios en diferentes especies del género *Agave*. Sin embargo, a pesar del gran interés señalado por diversos estudios de esta familia, no se ha podido encontrar investigaciones sobre la especie *Agave potatorum* Zucc.

CAPITULO VIII

CONSIDERACIONES GENERALES

Para que esta investigación se profundice es necesario realizar análisis fitoquímicos más profundos, y específicos para determinar qué tipo de fenoles y flavonoides; y para poder comprobar la efectividad de los componentes (Fenoles y Flavonoides totales) se deben realizar análisis que compruebe cada uno de los beneficios establecidos en estudios realizados anteriormente.

También se podría empoderar y capacitar a la comunidad sobre la necesidad de conocer y valorar el uso medicinal del *Agave* realizando un estudio comparativo más profundo en diferentes especies utilizadas en la elaboración de bebidas destiladas y no solo de la planta como tal sino también en los productos derivados de la destilación. Este estudio abre la posibilidad de proponer nuevos usos de los residuos que representan las hojas de *A. potatorum* en la industria del mezcal.

CAPITULO IX

REFERENCIAS

- Ahumada-Santos, Y. P., Montes-Avila, J., Uribe-Beltrán, M. de J., Díaz-Camacho, ç S. P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J. Á., Heredia, J. B., & 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>
- Arias, E. (2021). Agave silvestre o cultivado: el sabor de la tierra. *Revista Quixe*. (Consultado: 10/12/2022). Disponible en: <https://revistaquixe.com/2021/03/16/agave-silvestre-o-cultivado-un-vistazo-al-desarrollo-sustentable-del-mezcal/>
- Arrillaga, E. S. (2014). Origin of scientific medicine. *Angiologia*, 66(6), 343–344. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2014.05.011>
- Bansal, N., Tewari, R., Soni, R., & Soni, S. K. (2012). Production of cellulases from *Aspergillus niger* NS-2 in solid state fermentation on agricultural and kitchen waste residues. *Waste Management*, 32(7), 1341–1346. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.006>
- Bautista-Cruz, A., & Martínez-Gallegos, V. (2020). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 555–567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Camacho-Campos, C., Pérez-Hernández, Y., Rubio-Fontanills, Y., & Fuentes-Alfonso, L. (2020). Evaluación fitoquímica, antibacteriana y molusquicida de extractos de hojas de *Agave* spp. *Revista Cubana de Química*, 32.
- Campos, S. N. (2022). ¿Cómo se clasifican los agaves de acuerdo con la Biología? *Revistas Quixe corazón de cultura y humanidades*. (Consultado: 10/08/2022). Disponible en: <https://revistaquixe.com/2022/03/01/como-se-clasifican-los-agaves-de-acuerdo-con-la-biologia-primera-parte/>.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020). Qué nos aportan los agaves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. (Consultado: 15/11/2021). Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_agaves.
- Colunga-García, P., May-Pat, F. (1993). Agave studies in Yucatan, Mexico. I. Past and present germplasm diversity and uses. *Econ Bot* 47, 312–327 <https://doi.org/10.1007/BF02862301>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). Diversidad biológica Magueyes. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Consultado: 13/12/2021). Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes/diversidad-magueyes>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). Magueyes. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Consultado: 13/12/2021). Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). Qué nos aportan los agaves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Consultado: 13/12/2021). Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_agaves
- Cruz García H. (2013). Nutrimientos y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (6). DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1280>
- Davidson, J. R., Ortiz, B. R. & Montellano, D. E. (1983). The antibacterial properties of an aztec wound remedy. *Journal of Ethnopharmacology*, 8, 149–161. DOI: 10.1016/0378-8741(83)90051-x
- Delgado-Alvarado, E. A., Ávila-Reyes, J. A., Torres-Ricario, R., Naranjo-Jiménez, N., Chaidez-Ayala, A. I., & Almaraz-Abarca, N. (2021). Caracterización fitoquímica de *Agave shrevei* Gentry. *ECUCBA*, 16, 56–59. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi16.200>.
- Dewanto, V., Xianzhong, W., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014. <https://doi.org/10.1021/jf0115589>
- Domínguez, R. M. S., González Jiménez, M. L., Rosales Gómez, C., Quiñones Valles, C., Delgadillo Díaz de León, S., Mireles Ordaz, S. J., & Pérez Molphe Balch, E. (2008). El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia*, 41, 53–62.
- Duhne Backhauss, M. Maguey para frenar el cáncer. ¿Como Ves?, 81, Consultado: 01/02/2020). Disponible en: https://www.comoves.unam.mx/assets/revista/81/rafagas_81.pdf

- Dunder, R. J., Ferreira, a. L., Alves de Almeida, A. C., Meira de Faria, F., Takayama, C., Rabelo Socca, E. A., Salvador, M. J., Coelho Mello, C., Dos Santos, C., Oliva-Neto, P., & Monteiro Souza-Brito, A. R. (2013). Applications of the hexanic fraction of *Agave sisalana* Perrine ex Engelm (Asparagaceae): control of inflammation and pain screening. *Memorias Del Instituto Oswaldo Cruz*, 108, 263–271. DOI: 10.1590/S0074-02762013000300002
- Echánove, J. (2008). *Ecós del desierto El origen histórico del monoteísmo*. Central Bookssupply. 424p.
- Eguiarte, L. E., Souza, V., & Silva-Montellano, A. (2000). Evolución de la familia Agavaceae: Filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Botanical Sciences*, 66, 131–150. <https://doi.org/10.17129/botsci.1618>
- El Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. (COMERCAM). (2022). Informe estadístico (Consultado: 10/05/2022). Disponible en: https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2022/06/INFORME-2022-_II_-SINTESIS.pdf.
- Eskander, J., Lavaud, C., & Harakat, D. (2010). Steroidal saponins from the leaves of *Agave macroacantha*. *Fitoterapia*, 81(5), 371–374. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.11.002>
- Espinosa, M. D., E., Rivera, G. G., & Maldonado, Á. B., E. (2017). Caracterizando la producción y organización de los mezcaleros en Matatlán, México “Capital mundial del mezcal.” *Estudios Sociales*, 27. <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.465>
- Frisby, M. A., Córdova, Y. A., & Medina, O. F. A. (2018). Diversificación en el uso del agave del bacanora: oportunidad económica para Sonora (eds.). *Impacto socio-ambiental, territorios sostenibles y desarrollo regional desde el turismo*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, México. pp. 502-517.
- García, S. D., J. (2013). Consideraciones sobre la Medicina Natural y Tradicional, el método científico y el sistema de salud cubano. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39(3).
- García-Mendoza, A., J. (2007). *Los Agaves de México*, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciencias, 14–23
- García-Mendoza, A., J. (2018). México cuenta con 159 especies de agave. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. (Consultado: 09/05/2021). Disponible en: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_045.html
- García-Mendoza, A., & Galván-V., R. (1995). Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Botanical Sciences*, 56, 7–24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1461>
- García-Suarez, M. D., & Serrano, H. (2014). El Agave como planta medicinal. *TecnoAgro*, 92. (Consultado: 10/01/2023). Disponible en: <https://tecnoagro.com.mx/no.-92/el-agave-como-planta-medicinal>

- García-Vieyra, M. I., Del Real, A., & López, M. G. (2014). Agave fructans: their effect on mineral absorption and bone mineral content. *Journal of Medicinal Food*, 17(11), 1247–1255. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0137>
- Gasaly, N., Riveros, K., & Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2), 317–327. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000200317>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Tena-Flores, J. A., González, J. G., Ruacho-González, L., Melgoza-Castillo, A., Villarreal-Quintanilla, J. Á., & Estrada-Castillón, A. E. (2017). Diagnóstico del conocimiento taxonómico y florístico de las plantas vasculares del norte de México. *Botanical Sciences*, 95(4), 760–779. <https://doi.org/10.17129/botsci.1865>
- Gschaedler, A. C., Villarreal, H. S., Gutiérrez, M.-A., Ortiz, B. R. I., Moreno, T. R., Lappe, O. P. E., Larralde, C. C. P., Contreras, R. S. M., Dávila, V. G., & Gallardo, V. J. (2017). Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Primera Edición Electrónica. P 302.
- Guillot, O. D., Meer, P., V., Lagunas, L. E., & Rosselló, P. J., A. (2009). El género *Agave* L. en la flora alóctona valenciana. *Monografías de la revista Bouteloua*. nº 3, 94 pp.
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3053–3056. <https://doi.org/10.1021/jf049001r>
- Hernández-Sandoval, L. (1995). Análisis cladístico de la familia Agavaceae. *Botanical Sciences*, 56, 57–68. <https://doi.org/10.17129/botsci.1464>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Santa María Sola, Oaxaca.
- Iser, M., Valdivié, M., Figueredo, L., Nuñez, E., Más, D., & Martínez, Y. (2020). Secondary metabolites, quality indicators and organoleptic characteristics of stems meal from *Agave fourcroydes* (Henequen). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1).
- Jaramillo-Antillón, J. (2001). Importancia de la Medicina: Pasado, presente y futuro. *Acta Médica Costarricense*, 43, 104–113. <https://doi.org/10.51481/amc.v43i3.64>.
- Jiménez, S. A., A. (2017). *Medicina tradicional*. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. (Consultado: 09/05/2021). Disponible en: www.gob.mx/conamed
- Judd, W. S.; C. S., Campbell, E. A., Kellogg, P. F., Stevens, M. J., & Donoghue. (2015). *Plant systematics: a phylogenetic approach*. 4a edition Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.

- Kendir, G., & Köroğlu, A. (2015). In vitro Antioxidant Effect of the Leaf and Branch Extracts of Ribes L. Species in Turkey. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Research*, 2(1). <https://doi.org/10.15344/2394-1502/2015/108>.
- Kyriakou, G., Kyriakou, A., & Malouhou, A. (2022). Práctica médica, leyendas urbanas, mitos y folklore relativos a la Dermatología en la Historia antigua de Grecia. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 113(10), 951–954. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2020.04.023>.
- Lain- Entralgo (2011). Aspectos Históricos de la Medicina Tradicional. (Consultado: 09/05/2022). Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2011/etGuate/6.pdf>.
- Leal-Díaz, A. M., Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, H. C., Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2015a). Effect of *Agave americana* and *Agave salmiana* Ripeness on Saponin Content from Aguamiel (*Agave Sap*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3924–3930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00883>
- López-Romero, J. C., Ayala-Zavala, J. F., González-Aguilar, G. A., Peña-Ramos, E. A., & González-Ríos, H. (2018). Biological activities of Agave by-products and their possible applications in food and pharmaceuticals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2461–2474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8738>
- Martínez Ramírez, S., Trinidad Santos, A., Robles, C., Galvis Spinola, A., Hernández Mendoza, T. M., Santizo Rincón, J. A., Bautista Sánchez, G., & Pedro Santos, E. C. (2012). crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Fitotecnia Mexicana*, 35, 61–68.
- México Prehispánico. La leyenda de Mayahuel, deidad creadora del maguey. Neomexicanismo. (Consultado: 05/05/2023). Disponible en: <https://neomexicanismos.com/mexico-prehispanico/leyenda-de-mayahuel-diosa-pulque-creacion-maguey/>.
- Montúfar, L. A. & Anzures, J. N. (2014). El registro arqueológico e histórico del maguey. *Arqueología Mexicana*, 57.
- Morales, P. M. J., Alañon, F. A. M., & Doblás, D. A. (2011). Asclepio, el Dios griego de la medicina. Gerencia Atención Integrada. (Consultado: 05/08/2022). Disponible en: <http://apuntes.hgucr.es/2011/10/25/asclepio-el-dios-griego-de-la-medicina/>
- Muñoz Jáuregui, A. M., Alvarado-Ortiz U, C., Blanco Blasco T., Castañeda B., Ruiz Quiroz J., & Alvarado Yarasca A. (2014). Determinación de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante en mieles peruanas de diferentes fuentes florales. *Rev Soc Quím Perú*, 80(4) <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i4.182>.
- Nava-Cruza, N. Y., Medina-Moralesa, M. A., Martineza, J. L., Rodriguez, R., & Aguilera, C. N. (2014). Agave biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546–559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>

- Paneque, E. T., Polanco, A. M., Jiménez, N. C., & Piquera, P. Y. (2019). Estudio etnofarmacológico de algunas especies endémicas de agave utilizados en la medicina tradicional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2 Dicbre.), 57–66. <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.471>
- Pascual, C. D., Pérez, C. Y. E., Morales, G. I. M., Castellanos, C. I., & González, H. E. (2014). Algunas consideraciones sobre el surgimiento y la evolución de la medicina natural y tradicional. *MEDISAN*, 18(10).
- Peralta, de A. J. (2019). Familia Agavaceae. Universidad Pública de Navarra. (Consultado: 06/03/2022). Disponible en: https://www.unavarra.es/herbario/invasoras/htm/Agavaceae_i.htm
- Pinos-Rodríguez, J., Zamudio, M., & González, 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). DOI:10.4314/sajas.v38i1.4108.
- Plascencia de la Torre, M., F., & Peralta, G. L., M. (2018). Análisis histórico de los mezcales y su situación actual desde una perspectiva ecomarxista. *Eutopía, Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 14. <https://doi.org/10.17141/eutopia.14.2018.3579>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicin*, 26, 1231–1237. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3.
- Ribeiro, B. D., Alviano, D. S., Barreto, D. W., & Coelho, M. A. Z. (2013). Functional properties of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and juá (*Ziziphus joazeiro*): Critical micellar concentration, antioxidant and antimicrobial activities. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 736–743. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.08.007>
- Rubio, Y., Leslie, F., Hernández Álvarez, M., Jiménez, J., Yunel Pérez, R., Yadileiny, H., Tundidor, P., Luisa, A., & Avila, V. (2018). Propiedades fitoquímicas y antibacterianas de los extractos de las hojas de *Agave fourcroydes* Lem. (henequén). *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 23(2).
- Sánchez-Rodríguez, E., Moreno, D. A., Ferreres, F., Rubio-Wilhelmi, M. D. M., & Ruiz, J. M. (2011). Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: Changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry*, 72(8), 723–729. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.011>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). Agaves, maravillosas y magnánimas plantas. (Consultado: 05/12/2021). Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/agaves-maravillosas-y-magnanimas-plantas>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNA), & Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2013). Inventario Estatal Forestal y de Suelos Oaxaca.

- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2023). Un regalo de los Dioses: el agave. (Consultado: 05/12/2021). Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/un-regalo-de-los-dioses-el-agave>.
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., & Rocha-Sosa, M. (2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21, 355–363.
- Sierra Carrillo, D. (2013). El maguey, planta sagrada en la religión mesoamericana. *Revista De antropología*, (7), 113–119. <https://doi.org/10.15381/antropologia.v0i7.19936>.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Métodos en Enzimología* 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sinha, P., Jain, A., Jain, A., & Vavilala, S. (2015). Estimation of flavonoid content, polyphenolic content and antioxidant potential of different parts of *Abrus precatorius* (L.). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(8).
- 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>
- Sukumaran, R. K., Singhanian, R. R., Mathew, G. M., & Pandey, A. (2009). Cellulase production using biomass feed stock and its application in lignocellulose saccharification for bio-ethanol production. *Renewable Energy*, 34(2), 421–424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.008>
- Tinto, W. F., Simmons-Boyce, J. L., McLean, S., & Reynolds, W. F. (2005). Constituents of *Agave americana* and *Agave barbadensis*. *Fitoterapia*, 76(6), 594–597. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.04.013>
- Universidad Autónoma de Chiapas UNACH. (2016). Historia de la medicina. Universidad Autónoma de Chiapas. (Consultado: 05/08/2022). Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/book/los-ojos-de-la-piel-la-arquitectura-y-los-sentidos/juhani-pallasmaa/47850>
- Uribe, T. J., H. (2019). Medicina Tradicional. Secretaria de Salud. Consultado: 05/08/2022). Disponible en: <https://ss.puebla.gob.mx/images/areas/informate/Medicina-Tradicional-2019.pdf>
- Vela, E. (2014). El maguey. Breve historia. *Arqueología Mexicana*, 57, 10–11. ISBN mx_arqueologiamexicana_e057
- Villanueva-Rodríguez, S. J., Rodríguez-Garay, B., Prado-Ramírez, R., & Gschaedler, A. (2015). Tequila: Raw Material, Classification, Process, and Quality Parameters. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 283–289). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00688-7>

- Zandalinas, S. I., Sales, C., Beltrán, J., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2017). Activation of secondary metabolism in citrus plants is associated to sensitivity to combined drought and high temperatures. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01954>
- Zapata, N., & Sánchez-Teyer, L. F. (2009). Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology*, 3, 185–191. DOI: 10.2174/187220809789389144.