

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



Título:

Evaluación de la actividad antifúngica a partir de extractos de plantas nativas de la región de Mapimí, Durango

Por:

MARIA GUADALUPE CASTILLO NIETO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Evaluación de la actividad antifúngica a partir de extractos de plantas
nativas de la región de Mapimí, Durango

Por:

MARIA GUADALUPE CASTILLO NIETO

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:

M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez
Asesor Principal Interno

Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director Principal

Dr. Antonio S. Ledezma Pérez
Coasesor

M.C. María Brenda Olivia Baylon Palomino
Coasesor

M. C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Evaluación de la actividad antifúngica a partir de extractos de plantas
nativas de la región de Mapimí, Durango

Por:

MARIA GUADALUPE CASTILLO NIETO

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por:

M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez
Asesor Principal Interno

Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director Principal

Dr. Antonio S. Ledezma Pérez
Coasesor

M.C. María Brenda Olivia Baylon Palomino
Vocal Suplente

M. C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Evaluación de la actividad antifúngica a partir de extractos de plantas
nativas de la región de Mapimí, Durango

Por:
MARIA GUADALUPE CASTILLO NIETO

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

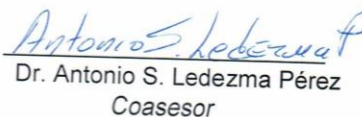
Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez
Asesor Principal Interno



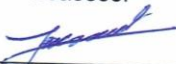
Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director Principal



Dr. Antonio S. Ledezma Pérez
Coasesor



M.C. María Brenda Olivia Baylon Palomino
Coasesor



M. C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Evaluación de la actividad antifúngica a partir de extractos de plantas
nativas de la región de Mapimí, Durango


Por:
MARIA GUADALUPE CASTILLO NIETO

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL


Aprobada por:



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez
Asesor Principal Interno


Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director Principal


Dr. Antonio S. Ledezma Pérez
Coasesor




M.C. María Brenda Olivia Baylon Palomino
Vocal Suplente


M. C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Octubre 2021

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que nada se incurrió en el plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente; así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo tanto, nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original y realizado en el Centro de Investigación en Química Aplicada con el Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso y el Dr. Antonio S. Ledezma Pérez.

Pasante

Director Principal

Firma y nombre

Firma y nombre

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi **Alma Terra Mater** por haberme brindado la educación necesaria para concluir esta etapa de mi vida, como dijo Miguel Rojas Sánchez “La educación es el vestido de gala para asistir a la fiesta de la vida”.

Agradezco a mis profesores por compartirme su conocimiento durante estos años.

Agradezco al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** por brindarme los medios y el sustento monetario para la realización de tesis de licenciatura a través del proyecto “Generación de estrategias científico-tecnológicas con un enfoque multidisciplinario e interinstitucional para afrontar la amenaza que representan los complejos ambrosiales en los sectores agrícola y forestal de México”, 2017-08-FORDECYT-292399.

A mis doctores y asesores el **Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso** y **Dr. Antonio S. Ledezma Pérez** por acompañarme con su profesionalismo y capacidad, sin su apoyo hubiera sido imposible concluir esta investigación, la **M.C. Alejandra Escobar Sánchez** por apoyarme durante el tiempo de mi carrera y que me estuvo asesorando y brindándome apoyo.

Agradezco a mi amiga y asesora la **M.C. María Brenda Olivia Baylon Palomino** por acompañarme a lo largo de este proceso, así como brindarme su ayuda y conocimientos durante el trabajo de laboratorio.

Quiero agradecer, a mis padres el **Sr. Juan Adán Castillo Linares** y la **Sra. Ma Olga Nieto Corona** y hermanos por apoyarme a lo largo de este recorrido, por creer en mí y darme fuerza en todo momento. Agradezco que son un ejemplo a seguir. Por su apoyo constante y confiar siempre en mí, por brindarme su confianza y cariño.

Agradezco a la **Ing. Pamela Rubí Sánchez Ramos** por alentarme en esta etapa de vida, por brindarme apoyo cuando lo necesitaba y a mis amigos por la confianza puesta sobre mi persona.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres el **Sr. Juan Adán Castillo Linares** y la **Sra. Ma Olga Nieto Corona**, y a mis hermanos **Pedro Castillo Nieto**, **Montserrat Castillo Nieto** y **Miguel Castillo Nieto**, por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi camino, así como han estado para mí en cada etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	1
1. HIPÓTESIS	3
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Desierto Chihuahuense	4
3.1.1. Diversidad biológica del desierto Chihuahuense	5
3.1.2 Aprovechamiento de especies vegetales.....	6
3.1.2.1 Uso medicinal.....	7
3.1.2.2 Uso alimenticio	8
3.1.2.3 Uso antimicrobiano.....	8
3.2 Metabolitos secundarios.....	9
3.2.1. Compuestos polifenólicos.....	15
3.3 Métodos de obtención de extractos vegetales.....	16
3.3.1.1 Infusión	17
3.3.1.2 Destilación	17
3.3.1.3 Maceración.....	17
3.3.1.4 Digestión	18
3.3.1.5 Método de extracción por Soxhlet	18
3.3.1.6 Sistema de extracción acelerada.....	20
3.4 Familias botánicas de plantas estudiadas	20
3.4.1 Familia Asteraceae.....	20
3.4.2 Familia Zygophyllaceae	20
3.4.3 Familia Ephedraceae.....	20
3.4.4 Familia Euphorbiaceae	20
3.4.5 Familia Bignoniaceae.....	21
3.4.6 Familia Asparagaceae.....	21

3.5 Curvas de calibración de los metabolitos secundarios.....	22
3.5.1 Fenoles	22
3.5.2 Flavonoides	23
3.5.3 Taninos	23
3.5.4 Capacidad antioxidante	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1 Colecta e identificación de material vegetal.....	25
4.2 Obtención de extractos crudos de plantas nativas del desierto de Mapimí, Durango.	27
4.3 Caracterización bioquímica para determinar flavonoides, taninos, fenoles y capacidad antioxidante de los extractos obtenidos.	30
4.3.1 Determinación del contenido de fenoles.	31
4.3.2 Determinación del contenido de flavonoides.....	32
4.3.3 Determinación del contenido de taninos.....	32
4.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante.	33
4.3.5 Análisis estadístico	33
4.4 Determinación de la capacidad antifúngica mediante el método de envenenamiento de medio en agar frente a la cepa <i>Fusarium oxisporum</i>.	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1 Colecta y preparación de plantas del desierto de Mapimi, Durango.	36
5.2. Extracción de metabolitos secundarios	37
5.2.1 Extracción de fenoles totales	37
5.2.2 Extracción de flavonoides totales.....	39
5.2.3 Extracción de taninos totales.....	40
5.2.4 Extracción de capacidad antioxidante.....	42
5.3. Efecto antifúngico de extractos acetónicos en base al porcentaje de inhibición frente al hongo <i>Fusarium oxisporum</i>	43
6. CONCLUSIONES.....	45
7. BIBLIOGRAFÍA.....	46
8. ANEXOS	49
Peso de extracto de muestras por solvente.....	49
Realización de curvas de calibración	49
Fenoles	49

Flavonoides	50
Taninos	51
Capacidad antioxidante	51
Extracción de muestras en solvente Metanol	52
Extracción de muestras en solvente acetona	54
Extracción de muestras en solvente agua	56

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LAS REGIONES DESÉRTICAS EN EL MUNDO (BUCHOT, 2019).....	4
FIGURA 2. ELEMENTOS BÁSICOS DEL METABOLISMO PRIMARIO Y EN RELACIÓN CON EL METABOLISMO SECUNDARIO DE PLANTAS (AVALOS Y PÉREZ-URRIA, 2009).....	11
FIGURA 3. ELEMENTOS DEL METABOLISMO DEL CARBONO EN RELACIÓN CON LAS RUTAS DE SÍNTESIS DE METABOLISMOS SECUNDARIOS.....	12
FIGURA 4. MAPA GEOGRÁFICO DE BOLSÓN DE MAPIMÍ EN COAHUILA AL NORTE DE MÉXICO...	25
FIGURA 5. PROCESAMIENTO DE PLANTAS DEL DESIERTO DE MAPIMÍ, DURANGO.....	26
FIGURA 6. PROCESO DE OBTENCIÓN DE EXTRACTOS CRUDOS DE LAS PLANTAS NATIVAS DEL DESIERTO DE MAPIMÍ, DURANGO.	28
FIGURA 7. PROCEDIMIENTO APLICADO PARA LA CONCENTRACIÓN Y SECADO A BAJA TEMPERATURA MEDIANTE LIOFILIZACIÓN DE LOS EXTRACTOS CRUDOS OBTENIDOS.	29
FIGURA 8. EXTRACTO DE DIFERENTES ESPECIES EN TUBOS FALCÓN Y EN VIALES ÁMBAR.	30
FIGURA 9. EXTRACTOS DE PARTHENUIM ARGENTATUM, BACCHARIS SALICIFOLIUS, EUPHORBIA ANTISYPHILITICA, CHILIOPSIS LINEARIS, AGAVE LECHUGUILLA (COGOLLO Y PENCA) Y JATROPHA DIOICA (RAÍZ Y TALLO) EN 5 ML DE AGUA.	31
FIGURA 10. BIOENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA MEDIANTE EL MÉTODO DE ENVENENAMIENTO DE MEDIO EN AGAR.....	35
FIGURA 11. VEGETACIÓN IDENTIFICADA EN LA COLECTA DE LA REGIÓN GEOGRÁFICA DEL DESIERTO DE MAPIMÍ, DURANGO.	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. EXTRACCIÓN DE FENOLES TOTALES EN TODAS LAS ESPECIES DESÉRTICAS ESTUDIADAS EN SOLVENTE METANOL, ACETONA Y AGUA.	39
GRÁFICA 2. EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDES TOTALES EN TODAS LAS ESPECIES DESÉRTICAS ESTUDIADAS EN SOLVENTE METANOL, ACETONA Y AGUA.	40
GRÁFICA 3. EXTRACCIÓN DE TANINOS TOTALES EN TODAS LAS ESPECIES DESÉRTICAS ESTUDIADAS EN SOLVENTE METANOL, ACETONA Y AGUA.	41
GRÁFICA 4. EXTRACCIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN TODAS LAS ESPECIES DESÉRTICAS ESTUDIADAS EN SOLVENTE METANOL, ACETONA Y AGUA.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES METABOLITOS SECUNDARIOS Y PRIMARIOS (CARRIÓN Y GARCÍA, 2011)	13
TABLA 2. DIFERENCIAS ENTRE METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS.....	14
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS (TAIZ Y ZEIGER, 2006).	15
TABLA 4. CLAVE DE ESTUDIO, DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA Y NOMBRE COMÚN DE LAS ESPECIES VEGETALES EVALUADAS EN EL ESTUDIO.....	37
TABLA 5. EFECTO ANTIFÚNGICO DE EXTRACTOS ACETÓNICOS EN BASE AL PORCENTAJE DE INHIBICIÓN FRENTE AL HONGO FUSARIUM OXYSPOURUM.	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación estuvo orientado en evaluar la cantidad de polifenoles presentes en los extractos crudos de las especies nativas del desierto Chihuahuense que se encuentran asociadas a su capacidad antifúngica. Como objetivo principal se propuso obtener extractos acuosos, acetónicos y metanólicos de especies nativas del desierto Chihuahuense para ser utilizados como posibles fuentes de productos naturales biológicamente activos contra enfermedades fúngicas de los cultivos agrícolas. Con el propósito de generar una alternativa ante el uso de agroquímicos y no menos importante disminuir el impacto ambiental de los mismos. La metodología consistió en la extracción de metabolitos secundarios que se llevó a cabo por medio del método de extracción acelerada, con el fin de obtener extractos metanólicos, acetónicos y acuosos, para ser utilizados como posibles fuentes de productos naturales biológicamente activos contra enfermedades fúngicas de los cultivos agrícolas. La cuantificación de metabolitos secundarios se llevó a cabo con la técnica de espectrofotometría de absorción, la cual se fundamenta en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y, a su vez, la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Se realizaron cuatro curvas de calibración para medir fenoles, flavonoides, taninos y capacidad antioxidante. La especie *Larrea tridentata* (gobernadora) obtuvo un porcentaje de 13.53 mg/ gr en fenoles totales, siendo la mayor en comparación con las demás especies estudiadas, el contenido de flavonoides totales 61.85, 77.71 y 27.09 mg/gr (metanol, acetona y agua respectivamente), siendo la gobernadora la que obtuvo valores mayores en los tres solventes diferentes, así como en taninos y capacidad antioxidante. Cabe mencionar que *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla) obtuvo valores similares a *Larrea tridentata* en la extracción de taninos totales, utilizando agua como solvente.

Para la determinación de capacidad antifúngica de los extractos crudos provenientes de las plantas del desierto de Mapimí, mediante el método de envenenamiento de medio en agar, se utilizó como cepa objetivo *Fusarium oxysporum*. Para la propagación del hongo se preparan placas con agar de papa y dextrosa (PDA), se inocularon por

estriado y se incubaron por un periodo de 5 días a 28° C. Los extractos crudos se prepararon en un vial stock a una concentración de 0.1 gr de extracto en 4 ml de solvente, en base a esta solución madre se hicieron las diluciones correspondientes para tener concentraciones de 1000, 500, 250, 125, 62.5 y 31.2 ppm. *Larrea tridentata* al tener concentraciones mayores de polifenoles en comparación con las demás especies estudiadas obtuvo resultados favorables para ser una alternativa ante el uso de agroquímicos. La capacidad antifúngica de la gobernadora tuvo un 100% de inhibición ante el hongo *Fusarium oxisporum*.

PALABRAS CLAVE: Metabolitos secundarios, *Larrea tridentata*, extractos, capacidad antifúngica.

INTRODUCCIÓN

El desierto Chihuahuense (DC) es el de mayor extensión en Norteamérica y es considerado como una de las regiones secas con mayor riqueza de especies en todo el mundo. La distribución de anfibios y reptiles en la vegetación, así como el clima y la flora del DC, hizo que este se subdividiera en tres regiones, una de ellas es la región media que incluye el Mapimí, parte del oriente de Chihuahua, Coahuila y parte de Durango. El Mapimí forma parte de la Sierra Madre Oriental y se encuentra ubicado en la zona lacustre: esta subprovincia está conformada por cuencas endorreicas con alturas que oscilan de los 1,000 a 1,200 m.s.n.m. y llanuras desérticas, denominadas bolsones.

Por otra parte, la importancia de las plantas de clima desértico, es que pueden sobrevivir en ambientes extremos, debido al tipo de edafología y climatología en la que se encuentran, así como al desarrollo de metabolitos secundarios, los cuales juegan un papel muy importante para resistir estrés tanto abióticos como bióticos; ya que dichos metabolitos no cumplen funciones esenciales para el desarrollo del crecimiento fisiológico-químico de la planta y destacando que cumplen funciones de defensa contra ciertos patógenos y predadores, de la misma manera atrayendo polinizadores. Los metabolitos secundarios intervienen en las interacciones ecológicas entre la planta y el medio que lo rodea. Por lo anterior, las plantas del desierto podrían jugar un papel muy importante en lo que se refiere a su uso como fuentes biológicas para contrarrestar enfermedades fúngicas de los cultivos de interés agrícola.

Por lo anterior, se entiende por capacidad antifúngica a aquellas sustancias que tienden a inhibir el crecimiento de algunos hongos y en algunos casos causar la muerte. Es por esto que se han realizado diversos estudios para contrarrestar el crecimiento de especies fúngicas de una manera más amigable con el medio ambiente, enfocando la investigación hacia la aplicación de diversas especies vegetales del desierto con características específicas que ayudan en este conflicto. Por tal motivo, los metabolitos secundarios tienen características importantes y

destacadas para ser estudiados como fuentes biológicas antifúngicas las cuales han sido la base sólida de esta investigación.

La cuantificación de los metabolitos secundarios difiere de las familias de las especies vegetales e inclusive de los géneros, es por ello que en este trabajo se estudiaron las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra antisiphilitica*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* y *Jatropha dioica*.

Las especies vegetales estudiadas en este trabajo pertenecen a 6 diferentes familias tales como *Asteraceae*, *Zygophyllaceae*, *Ephedraceae*, *Euphorbiaceae*, *Bignoniaceae* y *Asparagaceae*; todas ellas pertenecientes al grupo de las xerófitas por poseer cualidades como estar adaptadas a una escasez de agua por lo que pueden tolerar enormes sequías, altas radiaciones, elevadas temperaturas, salinidad etc., ya que están específicamente asociadas a un medio de vida seco.

Por todo lo anterior el presente trabajo consistió en obtener extractos vegetales acuosos, acetónicos y metanólicos de 9 especies nativas del desierto Chihuahuense para ser utilizados como posibles agentes biocidas, cuantificando los compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y capacidad antioxidante presentes por medio de una caracterización bioquímica, con base en su fisionomía y en la recolección de ejemplares vegetales para su posterior identificación taxonómica.

1. HIPÓTESIS

La cantidad de polifenoles presentes en los extractos crudos de las especies nativas del desierto Chihuahuense se encuentra asociada a su capacidad antifúngica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Obtener extractos acuosos, acetónicos y metanólicos de especies nativas del desierto Chihuahuense para ser utilizados como posibles fuentes de productos naturales biológicamente activos contra enfermedades fúngicas de los cultivos agrícolas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar extracciones vegetales con los solventes: agua, acetona y metanol de 9 especies nativas del desierto Chihuahuense
- Cuantificar los compuestos polifenólicos presentes en los extractos por medio de una caracterización bioquímica.
- Evaluar la capacidad antifúngica de los extractos sobre *Fusarium oxysporum*.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Desierto Chihuahuense

De la superficie total de la Tierra cerca de una quinta parte la cubren los desiertos (figura 1). Aunque la mayoría de la gente asocia la palabra “desierto” con dunas de arena que ondulan al sol o con nómadas que recorren sus vastas extensiones, también existen otros tipos de desierto como las regiones antárticas o el gran norte y las regiones áridas y semiáridas (UNESCO, 1994). Así, las regiones áridas y semiáridas representan más de un tercio de la superficie continental, y están concentradas en dos zonas, entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, a ambos lados del ecuador, esto se debe a la circulación general de la atmósfera en nuestro planeta en rotación siendo la principal causa de aridez (UNESCO, 1994). Siendo ésta una gran zona terrestre con temperaturas extremas que pueden ir de los 57°C durante el día y descender a -10°C en la noche.



FIGURA 1. Las regiones desérticas en el mundo (Buchot, 2019).

Por otra parte, el desierto Chihuahuense es el más grande del Continente Americano, está flanqueado por montañas que impiden el paso de los vientos húmedos: la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Occidental (en México) y Las Rocallosas (en Estados Unidos); cubre una superficie de 507,000 km², desde Nuevo México y Texas en Estados Unidos, hasta porciones de los estados de Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y Durango, en México (Granados y Sánchez-González, 2011).

El DC se encuentra en un rango de altitudes que van de los 1000 a los 3050 msnm, su superficie está formada en su mayoría por suelos calcáreos derivados de la piedra caliza. Su clima incluye inviernos fríos y secos, que presentan temperaturas bajo cero y nevadas dispersas, su temperatura anual es de 5.5-35°C con una precipitación anual que oscila entre 175 - 400 mm (Henrickson y Johnston, 2007). Su extensión no tiene delimitaciones definidas, por lo que se han propuesto diversas clasificaciones para obtener límites precisos. En 1977 Morafka propone una delimitación basada en la distribución de anfibios y reptiles, Henrickson y Straw (1976) y Shreve (1942) toman como base la vegetación, Henrickson y Johnston (2007), Hernández et al. (2004), Johnston (1974) y Muldavin (2002), consideran la composición florística, CONABIO (1999) la fundamenta en características topográficas, Schmidt (1979) en la edafología, datos climáticos y topográficos, Medellín (1982) en el índice de aridez y en 2008 se propuso con base en la distribución de especies endémicas de cactáceas. (Hernández et al., 2008). Su extensión abarca poco más de una sexta parte de la superficie territorial (Henrickson y Johnston, 2007). México se ve engrandecido por su riqueza florística y endémica, debido a que es una de las zonas áridas biológicamente más ricas del mundo (Balleza y Villaseñor, 2011) (Villarreal-Quintanilla et al., 2017).

3.1.1. Diversidad biológica del desierto Chihuahuense

A pesar de las drásticas condiciones ambientales, en el DC existe una gran diversidad de especies dentro de un mosaico muy variado de asociaciones vegetales tales como: matorral desértico microfilo, matorral desértico rosetófilo, matorral desértico

crassicaule, encinares, pastizales, vegetación riparia y bosques de pino piñonero (Rzedowski, 1978). En 2011 se actualizaron las asociaciones principales que se encontraron en el DC siendo: el matorral desértico microfilo de *Larrea tridentata*, el matorral desértico rosetófilo de *Agave lechuguilla*, matorral rosetófilo de *Dasylliron* spp., izotal, el pastizal, el chaparral, la nopalera, el mezquital, la vegetación de dunas y la vegetación halófito, (Granados et al., 2011).

Existen alrededor de 3382 especies de plantas vasculares descritas para la región del DC, de las cuales 826 se encuentran en una clasificación de endémica de la región estas se encuentran confinadas en 67 familias y 263 géneros. Las familias con más especímenes son: Cactaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fabaceae, Poaceae y Lamiaceae (Villareal et al., 2017).

3.1.2 Aprovechamiento de especies vegetales

Las especies vegetales son una gran fuente de productos naturales biológicamente activos, debido a que producen un gran número de constituyentes químicos con un amplio rango de estructuras que imparten propiedades físico-químicas y biológicas importantes (Giral, 2013).

Florísticamente, la zona árida chihuahuense es única y muy importante, ya que presenta un alto grado de endemismo (Ana B, 2008). La riqueza de las plantas de las zonas áridas y su variabilidad en cuanto a las condiciones climáticas dan como resultado un gran número de formas de vida o formas de crecimiento de las plantas. Lo que hace que los habitantes en particular del norte de México exploten los recursos que el desierto les proporciona. Dentro de estos recursos de interés económico se encuentran gomas, resinas, látex, almidón, granos y proteínas, ácidos grasos; también se encuentran metabolitos secundarios con posibilidades de uso en la farmacopea u otras industrias.

En base a la forma en la que son aprovechados los diversos productos se presenta la siguiente clasificación:

- a) Recolección y uso directo
- b) Recolección y una transformación sencilla inicial (por ejemplo, la obtención de fibras a partir de *Agave lechuguilla*, talladas directamente o con un proceso de remojo previo en agua acidulada).
- c) Recolección y un tratamiento que requiere de un proceso más elaborado como es el caso de la cera de candelilla que necesita colecta, limpieza y extracción (Tunnell, 1981).
- d) Aquellos que requieren un proceso más detallado que llegan a la industrialización como la extracción de saponinas esteroidales de la *Yucca* sp. que son usadas ampliamente en la industria de alimentos, en el área médica y cosmética (Flaoyen et al., 2002).

Dentro de estos diversos usos, se destacan las aplicaciones dirigidas hacia el ámbito medicinal, alimenticio y antimicrobiano.

3.1.2.1 Uso medicinal

Desde tiempos remotos, las plantas se han utilizado como nuevos agentes terapéuticos y sus usos se han transmitido de generación en generación, de forma oral o escrita. La importancia de los productos naturales en medicina, se basa no solamente en sus efectos farmacológicos o quimioterapéuticos, sino en la posibilidad que ofrecen para poder desarrollar a partir de sus estructuras, nuevas drogas. En este sentido México se ha ido sumando a la corriente mundial en la búsqueda de nuevos compuestos y a lo largo del país existen instituciones científicas que se dedican a la búsqueda de nuevos fitofármacos (Garza y Verde., 2010).

En la Reserva Ecológica Natural y Cultural de Wirikuta se encontraron diversas plantas utilizadas por sus habitantes de manera recurrente de forma medicinal destacando: la especie *Teucrium cubense* que se utiliza en forma de té en el cual la planta es molida y se disuelve en agua, también se prepara para tomar un baño y así disminuir la fiebre, *Manrubium Vulgare* la cual se toma en forma de té para el malestar de riñones e

hígado, *Solanum americanum* Mill es una planta que ayuda en el alivio de las heridas al ser macerada y aplicada sobre la superficie de la herida; *Aloysia gratissima* es preparada en té y sirve para el dolor de estómago, *Larrea tridentata* es utilizada para la preparación de pomadas con propiedades analgésicas y antisépticas (Solano y Blancas, 2018).

Se tiene registradas poco más de 200 especies de plantas, las cuales son utilizadas por sus propiedades medicinales destacando en el Noreste de México los individuos de las familias Lamiaceae y Asteraceae (Gonzalez-Ferrara, 2003). Las cuales podrían ser utilizadas a escala industrial pues se estima que aproximadamente el 50% de los productos farmacéuticos producidos en la actualidad provienen de plantas (GonzálezFerrara, 1998).

3.1.2.2 Uso alimenticio

Las especias constituyen un ejemplo de plantas aromáticas, que, entre otras aplicaciones, han sido utilizadas ampliamente en México para preservar o sazonar diversos alimentos, aunque también se han usado como remedios herbolarios para curar algunas enfermedades. Tal es el caso de la especie vegetal *Lippia* sp., conocido comúnmente como “orégano” que además de ser utilizado como potencializador de sabor se utiliza como agente medicinal debido a que sus aceites poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antisépticas y antiparásitos (Castillo et al., 2017).

3.1.2.3 Uso antimicrobiano

Las especies desérticas presentan un gran potencial por considerarse como una alternativa al uso de agroquímicos y de manera importante ayudar a reducir el impacto ambiental de estos.

A este respecto, dentro de la familia Asteraceae, la especie *Tagetes lucida* constituye un miembro de los más abundantes en el desierto Chihuahuense. Esta especie tiene

como característica el poseer propiedades antifúngicas y antibacteriales. Esta propiedad se ha evaluado contra diversos organismos como *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Aspergillus niger*, *Penicillium notatum*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium sporotrichum*, *Rhizoctonia solani* y *Trichophyton mentagrophytes* (Cespedes et al., 2006).

En un estudio con el objetivo de encontrar una alternativa al uso de bromuro de metilo, el cual es un insecticida altamente contaminante, se evaluó el efecto del aceite de orégano contra un insecto plaga (*Rhyzoprtha dominica*) que ataca al trigo, un grano de interés económico obteniendo resultados positivos en cuanto a la mortalidad y repelencia de dicha plaga (Iturralde et al., 2011).

Especies como *Carya illinoensis*, *Selaginella lepidophylla*, *Euphorbia antisiphilitica* Zucc y *Jatropha dioica* han sido evaluadas para establecer la capacidad de inhibición o mitigación del crecimiento y desarrollo de diferentes cepas de bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, mostrando actividad antimicrobiana contra estos microorganismos (Serrano-Gallardo et al., 2017).

La actividad antimicrobiana que se ha encontrado en la evaluación de diferentes especies de plantas, es el resultado de los diferentes tipos de sustancias que producen las plantas como sistema de defensa ante el ataque de microorganismos, insectos o depredadores (Aguilar et al., 2011).

3.2 Metabolitos secundarios

Las plantas desérticas están continuamente expuestas a condiciones ambientales adversas que las someten a una situación de estrés, incluyendo el ataque por numerosos insectos herbívoros. Ya sea por el clima, daño mecánico o por herbívoros o por la invasión de patógenos, esto provoca que se activen sistemas de defensa de la planta. Para que estos sistemas se activen, las señales provocadas por tales ataques son transmitidas desde el tejido dañado hacia el resto de la planta (respuesta sistémica) o son diseminadas sólo localmente, induciendo cambios en la vecindad del

sitio dañado (respuesta local). Estas señales pueden provocar reacciones de defensa y cambios específicos en la planta que conduzcan hacia una mayor resistencia contra organismos invasores (Baldwin et al., 1994, 1997; Walling, 2000). En base a estas condiciones, se tienden a desarrollar ciertas características; pues a diferencia de otros organismos, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y de la energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, y que se denominan metabolitos secundarios (García, Pérez-Urria, 2009).

Se ha sugerido que los metabolitos secundarios, más que subproductos metabólicos, tienen una función en la interacción de las plantas con su ambiente y otros organismos para proveer una defensa contra la infección, depredación o agobio ambiental (Rhodes, 1994).

Se deduce que en condiciones estresantes mediante la síntesis mejorada de metabolitos secundarios las estructuras celulares están protegidas de los efectos oxidativos. Es muy importante para las plantas el desarrollo normal del crecimiento y la defensa contra las infecciones y las lesiones, para ello se deben contar con vitaminas, terpenoides, carotenoides, aceites esenciales y compuestos fenólicos (Mazid 2011).

Los metabolitos secundarios difieren de los metabolitos primarios debido a que ciertos grupos presentan una distribución restringida en el reino vegetal, es decir, no todos los metabolitos secundarios se encuentran en todos los grupos de plantas. Se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada, estando a menudo su producción restringida a un determinado género de plantas, a una familia, o incluso a algunas especies (figura 2) (García y Carril, 2011)

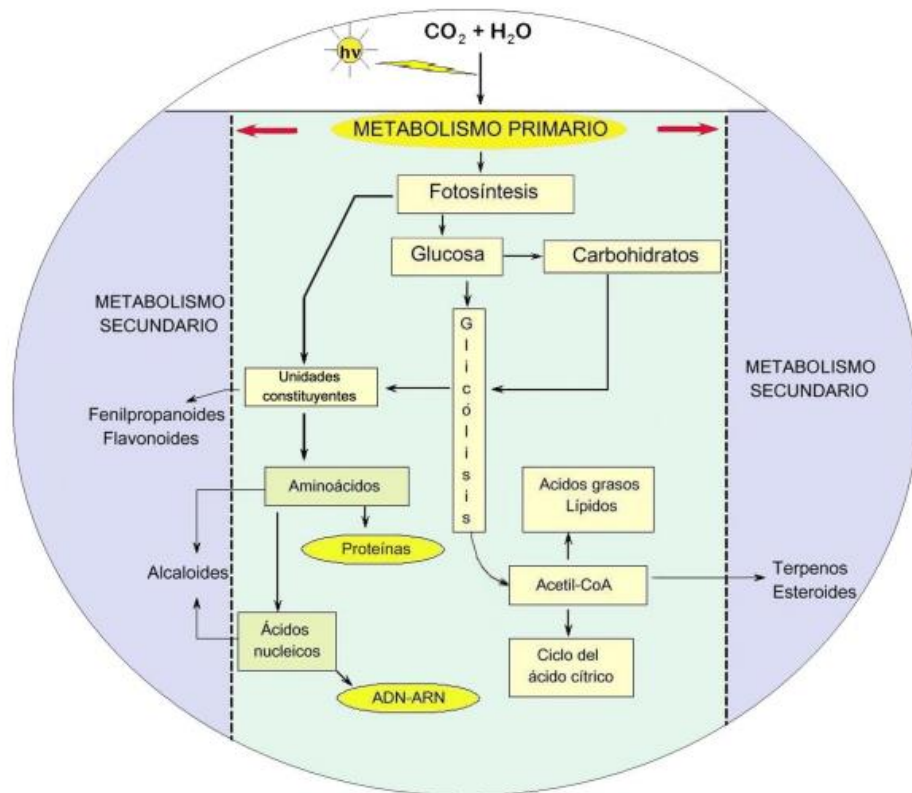
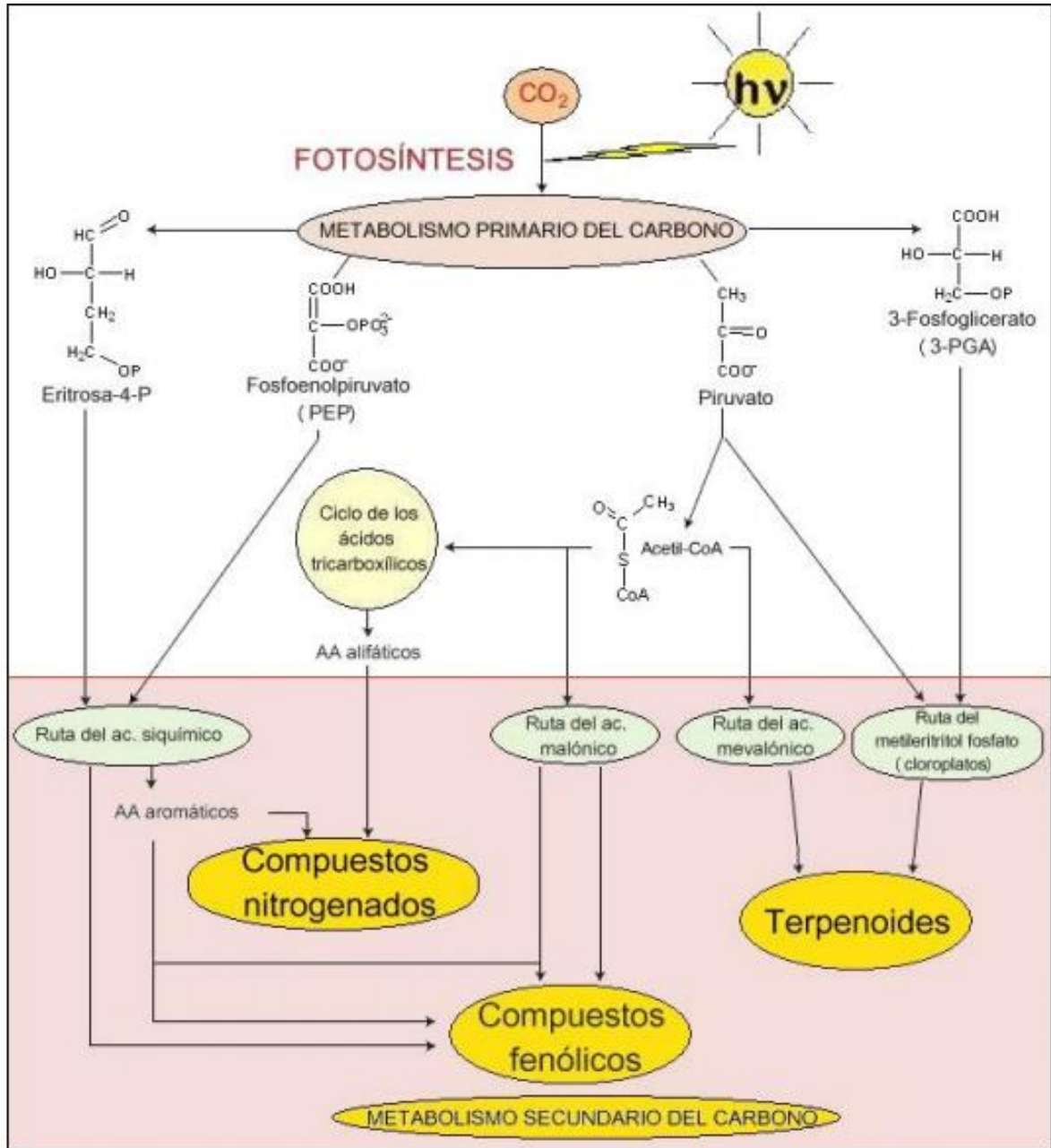


FIGURA 2. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de plantas (Avalos y Pérez-Urria, 2009).

Las principales rutas de biosíntesis de metabolitos secundarios derivan del metabolismo primario del carbono tal como se muestra en la figura 3 (García & Carril,



2009).

FIGURA 3. Elementos del metabolismo del carbono en relación con las rutas de síntesis de metabolitos secundarios.

La tabla 1, muestra los principales metabolitos primarios y secundarios que se presentan en las plantas (Carrión & García, 2010). Los metabolitos primarios son

producidos por todas las plantas por ser esenciales para las vías bioquímicas que controlan el crecimiento, la fotosíntesis, la respiración, asimilación de nutrientes, floración, maduración de los frutos, etc. Tal como se describe en la tabla 1, estas sustancias incluyen carbohidratos, glúcidos, lípidos y grasas, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y compuestos nitrogenados. En el caso de los metabolitos secundarios, son compuestos químicos sintetizados por las plantas que se originan a partir de intermediarios del metabolismo primario. Son muy variados en su estructura y no intervienen en los procesos fisiológicos básicos, sin embargo se considera de manera importante que la función de estos compuestos es intervenir en las interacciones de las plantas con su medio ambiente actuando como sustancias protectoras del ataque de otros organismos (microorganismos, insectos, animales depredadores), como atrayentes para promover la polinización o la dispersión de frutos y semillas así como una fuente de toxinas o bien como sustancias para el combate de enfermedades o antibióticos. Tal como se muestra en la tabla 1, estos compuestos pueden ser Isoprenoides, derivados fenólicos y alcaloides.

Tabla 1. Principales metabolitos secundarios y primarios (Carrión y García, 2011)

Compuestos procedentes del Metabolismo Primario	Compuestos procedentes del Metabolismo Secundario
<ul style="list-style-type: none"> - Glúcidos - Lípidos y Grasas - Aminoácidos - Proteínas - Ácidos Nucleicos - Compuestos Nitrogenados (glucósidos cianogénicos, enzimas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Isoprenoides: terpenos, aceites esenciales, saponinas, cardiotónicos - Derivados fenólicos: fenoles simples, ácidos fenólicos, taninos, cumarinas, lignanos, quinonas, flavonoides: antocianinas - Alcaloides

En otro tipo de clasificaciones de los metabolitos producidos por las plantas, se establece que en la distinción entre metabolitos primarios y secundarios no existe una división precisa y tal como se describe en la tabla 2, la diferencia solo es funcional, sin distinción en base a moléculas precursoras, estructura química u origen biosintético.

Tabla 2. Diferencias entre metabolitos primarios y secundarios.

Metabolitos primarios	Metabolitos secundarios
Productos del metabolismo general ampliamente distribuidos en plantas y microorganismo indispensables para la vida	Productos del metabolismo especial
Aminoácidos de proteínas, monosacáridos, lípidos, ácidos derivados del ciclo de los ácidos tricarboxílicos, glucósidos, etc.	Biosíntesis a partir del metabolismo primario
	Alcaloides, terpenos, flavonoides, esteroides, curinas, etc.
	Distribución taxonómica restringida

La clasificación de los metabolitos secundarios varía dependiendo de los criterios utilizados dentro de los más aceptados se encuentran por su estructura química, el origen biogenético, acción biológica y su uso en la farmacología (Pedrozo, 2004). Una de las clasificaciones más aceptada es la propuesta por Taiz y Zeiger en 2006 (tabla 3); que dividen a los metabolitos secundarios en productos nitrogenados, productos fenólicos y terpenoides (Taiz y Zeiger, 2006).

Tabla 3. Clasificación de metabolitos secundarios (Taiz y Zeiger, 2006).

Productos nitrogenados	Alcaloides (cocaína, nicotina, morfina entre otros) y glucósidos cianogénicos (nitrilo)	Sajc et al., 2000; Pérez y Jiménez, 2010; Villar, 1999.
Productos fenólicos	Cumarinas, lignanos, flavonoides, ligninas y taninos.	Azcón y Talón, 2000.
Terpenoides	Aceites esenciales y resinas	Keszei et al. 2010

Los compuestos fenólicos se han destacado en la última década debido a que son esenciales en el crecimiento y reproducción de las plantas. Los compuestos fenólicos extraídos de estas tienen usos como antibióticos, pesticidas naturales, agentes protectores contra los rayos UV y sirven como aislantes en las paredes celulares (Shahihi y Naczki, 2004).

3.2.1. Compuestos polifenólicos

Los compuestos polifenólicos (CPF) son metabolitos secundarios de las plantas que poseen en su estructura al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo. Se clasifican como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. Existen alrededor de 8.000 compuestos polifenólicos identificados y la mayoría de estos poseen una estructura de 3 anillos, dos aromáticos (anillos A y B) y uno heterociclo oxigenado (anillo C). Los CPF más sencillos poseen solo un anillo aromático y conforme aumenta el número de sustituyentes, se va incrementando la complejidad de la estructura. Previendo la gran diversidad de estructuras derivadas, a los compuestos polifenólicos se les ha agrupado en 12 familias (Mercado-Mercado et al., 2013).

Por su parte, los taninos son compuestos poliméricos más complejos que se clasifican en hidrolizables y condensados. Los taninos hidrosolubles están constituidos por

unidades de ácido elálgico, y pueden estar unidos a una molécula de glucosa. En cambio, los taninos condensados resultan de la condensación de unidades de flavan-3-oles, tales como la catequina que tienden a polimerizarse (Mercado-Mercado et al., 2013).

La solubilidad de los compuestos polifenólicos está determinada por el tipo de disolvente (polaridad) utilizado, el grado de polimerización de los fenoles y su interacción (A. Djeridane M. Yousfi B. 2006).

Entre las propiedades más benéficas de los CPF están inhibición del crecimiento de tumores, activación de los sistemas de detoxificación hepáticos y bloqueo de las vías metabólicas que pueden ocasionar carcinogénesis y la protección contra lesiones celulares y subcelulares (Mercado-Mercado et al., 2013).

3.3 Métodos de obtención de extractos vegetales.

Dentro de las diferentes metodologías existentes para la obtención de extractos vegetales, el sistema de extracción es la técnica más utilizada para separar un producto de una mezcla de reacción o para aislarlo de sus fuentes naturales. Se puede definir como la separación de un componente de una mezcla por medio de un disolvente. El objetivo de la extracción es separar el producto de una reacción,

Los extractos vegetales se han definido como un concentrado obtenido por tratamiento con solventes apropiados, tales como agua, etanol, metanol o éter, de elementos solubles (normalmente un disolvente orgánico), constituidos por una mezcla de principios activos y sustancias inertes que se producen de la totalidad o de partes de una planta fresca o seca (Choquehuenca, 2019). Diversas investigaciones demuestran que la composición de los aceites esenciales y extractos vegetales puede variar de acuerdo al método de extracción utilizado. Aunque estas variaciones pueden no ser importantes, son detectables por técnicas sensibles como la cromatografía de gases. Las variaciones radican en diferencias en la proporción de los compuestos e incluso en diferencias en el número de los compuestos (Choquehuenca, 2019).

3.3.1 Tipos de extracción

3.3.1.1 Infusión

Es el proceso en el cual el material previamente humedecido se pone en contacto con el solvente a una temperatura igual a la de ebullición del agua por cinco minutos, se deja enfriar hasta obtener una temperatura ambiente y se prepara al 5% (Carrión & García, 2010).

3.3.1.2 Destilación

La destilación por arrastre con vapor de agua es el método más común para la obtención de aceites esenciales. Se trata de un proceso de separación por el cual, mediante el uso de vapor de agua, se vaporizan los componentes volátiles de la materia vegetal (Villaverde, 2018). El procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de vapor a través de la materia prima, de modo que arrastra consigo los aceites esenciales. Posteriormente, estos vapores se enfrían y se condensan, dando lugar al destilado líquido formando por dos fases inmiscibles, la acuosa y la orgánica, que es el aceite esencial. Estas se pueden separar por decantación, debido a la diferencia de densidad existente entre ambas (Villaverde, 2018).

3.3.1.3 Maceración

Esta técnica tiene por objeto el extraer los principios activos de una planta, tras la maceración sucesiva de la muestra hasta agotamiento de la misma (Carrión & García, 2010). Se entiende por extracción de maceración al contacto prolongado durante cierto tiempo de la muestra con el líquido constituyendo un conjunto homogéneamente mezclado en el que la sustancia actúa sincrónicamente sobre todas las proporciones de la muestra, circulando a través en todas las direcciones y sentidos así como

disolviendo sus principios activos hasta producirse una concentración en equilibrio con la del contenido celular (Carrión & García, 2010).

Los solventes comúnmente empleados para la extracción por maceración en muestras vegetales son: acetona, metanol, etanol o medios acuosos. Para la extracción de los fitoquímicos se basan principalmente en la selección de solventes, temperatura o agitación, con el propósito de aumentar la solubilidad, prolongando durante cierto tiempo de la droga con el líquido constituyendo un conjunto homogéneamente mezclado para evitar posibles reacciones y debe agitarse continuamente; el tiempo de maceración es diverso. A partir de este método no se consigue el agotamiento de las sustancias extraídas (Choquehuenca, 2019).

3.3.1.4 Digestión

Es una maceración realizada a una temperatura suave que oscila alrededor de los 50 o 60°C. Al aumentar medianamente la temperatura se consigue un mayor rendimiento de la extracción, puesto que disminuye la viscosidad del solvente lo que hace que éste pueda ingresar más rápidamente al interior de las células y así extraer los principios activos (Carrión & García, 2010)

3.3.1.5 Método de extracción por Soxhlet

El proceso de extracción por Soxhlet, se basa en la transferencia de los componentes parcialmente solubles de un sólido a la fase líquida utilizando un equipo denominado “extractor Soxhlet”. Mediante este procedimiento, la sustancia sólida se introduce en un cartucho poroso de celulosa que se sitúa dentro de la “corneta” del equipo. Asimismo, se conecta un matraz bola al sistema donde se coloca el volumen de solvente que se utiliza en la extracción. Por el extremo superior del recipiente o corneta, se coloca un condensador. Mediante esta técnica, el solvente se calienta y los vapores ascienden por el tubo, se condensan en el refrigerante y cae dentro del

recipiente impregnando al sólido que se encuentra en el cartucho. El recipiente se va llenando lentamente de líquido hasta que llega al tope del tubo y se descarga dentro del matraz bola, y así se repite automáticamente hasta que la extracción se completa. El solvente de extracción se evapora, recuperando de esta manera la sustancia deseada (Choquehuenca, 2019).

Las ventajas que puede ofrecer el sistema de extracción Soxhlet son:

- La muestra está en contacto repetidas veces con porciones frescas de disolvente.
- La extracción se realiza con el disolvente caliente, así se favorece la solubilidad de los analitos.
- No es necesaria la filtración después de la extracción.
- La metodología empleada es muy simple.
- Es un método que no depende de la matriz.
- Se obtienen excelentes recuperaciones, esta gran variedad de métodos oficiales cuya etapa de preparación de muestra se basa en la extracción con Soxhlet.

Desventajas de la extracción Soxhlet

- El tiempo requerido para la extracción normalmente está entre 6-24 horas.
- La cantidad de disolvente orgánico (50-300 ml)
- La descomposición térmica de los analitos termolábiles, ya que la temperatura del disolvente orgánico está próxima a su punto de ebullición.
- No es posible la agitación del sistema, la cual podría acelerar el proceso de extracción.
- Es necesaria una etapa final de evaporación del disolvente para la concentración de los analitos.
- Esta técnica no es fácilmente automatizable.

La extracción Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente usada para la determinación del contenido graso en muestra de diferente naturaleza. Aunque

también puede ser usada como técnica preparativa de muestra como paso previo al análisis mediante otra técnica instrumental (Ambientales, 2004).

3.3.1.6 Sistema de extracción acelerada

Este tipo de extracción utiliza una combinación de temperatura y presión elevadas con solventes comunes para aumentar la eficiencia del proceso de extracción, por esta razón incrementa la velocidad y eficiencia en el proceso de extracción. Siendo una técnica automática para la extracción de analitos de muestras sólidas y semisólidas con disolventes líquidos, ya sean orgánicos o acuosos.

3.4 Familias botánicas de plantas estudiadas

Los extractos obtenidos y estudiados en esta investigación son a partir de plantas pertenecientes a las siguientes familias, tales como *Asteraceae*, *Zygophyllaceae*, *Ephedraceae*, *Bignoniaceae* y *Asparagaceae*.

3.4.1 Familia Asteraceae

Origen etimológico de nombre de la familia: El nombre del género *Aster* L. proviene del término latino “aster” que significa “estrella” y que se refiere a la forma de las inflorescencias (UNNE, 2004).

3.4.2 Familia Zygophyllaceae

Especies de esta familia también proporcionan aceites esenciales para la elaboración de perfumes, como en el caso de *Larrea divaricata* subsp. *tridentata* que se usa como medicinal y sus botones florales como sucedáneos de la alcaparra (UNNE, 2004).

3.4.3 Familia Ephedraceae

Son subarborescentes, arbustos o hasta pequeños arbolitos dioicos, raramente monoicos, erectos, trepadores o rastreros, rizomatosos. Ramas cilíndricas, retamoides, estriadas, erguidas o apoyantes. Con hojas rudimentarias, reducidas a escamas, opuestas decusadas o en verticilos 3-4 metros (Hunziker & Novara, 1998).

3.4.4 Familia Euphorbiaceae

Se calcula que en México las Euphorbiaceae están representadas por 43 géneros y 782 especies, más 32 taxones intraespecíficos: 8 sus especies y 24 variedades.

Las euforbiáceas son dicotiledóneas, y pertenecen al orden Euphorbiales. La variación morfológica en la familia es enorme, lo que dificulta su caracterización. La familia también es de las más grandes y diversas del país, constituyendo el centro de diversidad para muchos géneros (Mexicana, 2002).

La familia se encuentra ampliamente distribuida a través de la república mexicana desde el nivel del mar hasta poco más de 3,000 m de altitud, lo que la lleva estar representada en los diez principales tipos de vegetación reconocidos en México (Mexicana, 2002).

3.4.5 Familia Bignoniaceae

Familia constituida por alrededor de 112 géneros y 840 especies, con distribución en los trópicos y subtropicos, principalmente en América tropical, presentando la mayor diversidad en el Norte de Sudamérica (Torres & Perez, 2006). De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad se han consignado 41 géneros y 91 especies para México, distribuidos principalmente en las regiones cálidas húmedas de ambas vertientes (Guzmán et al., 2015).

3.4.6 Familia Asparagaceae

El género contiene aproximadamente 210 especies, 159 están presentes en México (75% del total) y 129 son endémicas del territorio mexicano, que representan 61% de las especies del mundo y 81% de las que se distribuyen en México; sin embargo, estas cifras probablemente se modificarán cuando se estudien de manera crítica las especies del Caribe.

Asparagaceae presenta una morfología heterogénea y desde un punto de vista molecular aún no está bien caracterizada, se considera que los límites intrafamiliares no están bien definidos y los criterios para delimitar las subfamilias son arbitrarios (García-Mendoza & Gutiérrez, 2019).

3.5 Curvas de calibración de los metabolitos secundarios

Validar un método analítico, es verificar y documentar su calidad y su adecuación a unos determinados requisitos establecidos, es decir que se verifica si es adecuado siempre para su finalidad, para el problema analítico que se presenta. La validación de la metodología analítica es clave para asegurar la calidad del análisis químico (Cuadrado, 2016).

Una curva de calibración es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito. La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva, y, en consecuencia, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto de una muestra, dentro de un determinado intervalo de trabajo (Dosal & Villanueva, 2008).

Dentro de las técnicas analíticas frecuentemente usadas para la cuantificación de metabolitos secundarios se encuentra la espectrofotometría de absorción, la cual se fundamenta en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y, a su vez, la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración, cumpliendo con la ley de Lambert y Beer (Rojas L, 2015).

3.5.1 Fenoles

Los fenoles, nombre popular de los hidroxibencenos, compuestos que constituyen un amplio grupo de sustancias, presentes en las plantas con diferentes estructuras químicas y actividades metabólicas, existen más de 8000 compuestos identificados, con uno o más grupos hidroxilos, incluyendo derivados funcionales. Entre los principales grupos de compuestos fenólicos se encuentran los fenoles simples que son poco frecuentes y se encuentran en las plantas en forma de heterósidos, y los ácidos fenólicos, compuestos de un anillo fenólico y una función orgánica de ácido carboxílico (Rojas L, 2015).

Los tres grupos más importantes en los que se dividen los compuestos fenólicos son: flavonoides, ácidos fenólicos y polifenoles. Químicamente los fenoles pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados funcionales (Porrás & López, 2009).

3.5.2 Flavonoides

Los flavonoides poseen una impresionante diversidad de más 6.000 sustancias diferentes que se encuentran en prácticamente todas las plantas, y son responsables de muchos de los colores de las mismas (Kathirvel, 2016).

Los flavonoides pertenecen a uno de los grandes grupos de compuestos fenólicos junto con los ácidos fenólicos, son un grupo extenso de compuestos derivados del benzopirano. Los flavonoides poseen un gran número de grupos hidroxilos insustituídos o azúcares, son considerados polares, siendo ligeramente solubles en disolventes polares, como el metanol, etanol, acetona, dimetilsulfoxido (DMSO) o agua (Nava & Alejandro, 2016).

Los flavonoides se emplean como captadores de ROS (Especies reactivas del oxígeno) neutralizando los radicales antes que causen daño, juntos con otros compuestos fenólicos absorben luz UV para su síntesis (Puthur 2016).

3.5.3 Taninos

Los taninos son metabolitos secundarios presentes en las plantas, constituyen un tipo de compuesto fenólico, no nitrogenado, soluble en agua y no en alcohol ni solventes orgánicos. Este tipo de compuestos abundan en las maderas, en algunas raíces y en una multitud de frutas.

La clasificación de los taninos se realiza comúnmente en dos grandes grupos

Taninos condensados o proantocianidínicos, cuya particularidad es que liberan tras una hidrólisis ácida una antocianidina. En el caso del tanino de pepita se libera cianidina, por lo que se denomina procianidina. En el caso del tanino de hollejo se trata de una mezcla de procianidina y prodelfinidina. El nombre genérico de proantocianidina se usa cuando se desconoce la antocianidina formada. Químicamente se trata de polímeros de flavanoles.

Taninos hidrolizables, en los cuales después de una hidrólisis ácida se libera ácido gálico o ácido elágico. Se denominan galotaninos o elagitaninos respectivamente. Los elagitaninos están estructurados como moléculas lineales de glucosa enlazadas a las funciones carboxilo de los grupos hexahidroxidifénicos del ácido elágico, mientras que los galotaninos están constituidos por núcleos de glucosa en forma cíclica que forman enlaces con la función ácida del ácido gálico. En ambos casos se trata de estructuras de una complejidad relativa (Álvarez, 2007).

3.5.4 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son captadores de radicales libres y por ello retrasan o inhiben la etapa de iniciación del proceso de oxidación, lo que disminuye la consecuente formación de productos de descomposición volátiles. El potencial antioxidante de los compuestos fenólicos dependerá del número y disposición de los grupos hidroxilo en las moléculas de interés (Gallego Iradi, 2016).

La determinación de la capacidad antioxidante de extractos complejos se lleva cabo usualmente por diferentes métodos complementarios, que evalúen diversos mecanismos de acción. Algunos de los métodos más utilizados, por su simplicidad y reproducibilidad, son FRAP, DPPH (Depleción del oxido 2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y ABTS (Depleción del 2,2'-Azinobis-3-etil-benzotiazolína-6-acido sulfónico) (Mercado-Mercado et al., 2013).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Colecta e identificación de material vegetal.

La colecta de diferentes especies vegetales nativas del desierto chihuahuense y en específico mediante la ubicación y traslado de una zona de colecta en la región geográfica de Mapimí, Durango, se muestra en la figura 4. Esta colecta se realizó, tomando principalmente como criterios los usos y costumbres de los habitantes de la zona (comunicación personal) así como una revisión bibliográfica de especies vegetales de esta región. Las diferentes muestras fueron tomadas a partir de plantas sanas. La identificación de las plantas colectadas se realizó en colaboración con el Ing. Pedro Nájera Quezada; Ing. Agroecólogo de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).



FIGURA 4. Mapa geográfico de Bolsón de Mapimí en Coahuila al norte de México

Una vez efectuada la colecta, el material vegetal se trasladó al laboratorio del departamento de agroplasticultura ubicado en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coahuila para su procesamiento.

Dicho procesamiento consistió en el secado del material en una estufa de secado con circulación de aire y ajustado a una temperatura de 40 grados centígrados variando el tiempo dependiendo de la especie colectada, para finalmente efectuar una prueba de determinación del contenido de humedad. Asimismo, cada especie vegetal procesada, se cortó en trozos pequeños y recibió un tratamiento de molienda utilizando un molino ultra centrifuga marca Retsch, modelo ZM100, USA. El tratamiento de molienda se efectuó hasta constituir un polvo para de esta forma conservarse en bolsas plásticas para su uso posterior en la obtención de extractos. Las etapas de secado, corte y molienda se describen en la figura 5.



FIGURA 5. Procesamiento de plantas del desierto de Mapimí, Durango.

4.2 Obtención de extractos crudos de plantas nativas del desierto de Mapimí, Durango.

La obtención de los extractos crudos a partir de las plantas nativas del desierto de la región de Mapimí, Durango se llevó a cabo utilizando un sistema de extracción acelerada con solventes. Para ello, se utilizó un equipo automatizado de extracción acelerada con solvente "Speed extractor", marca BUCHI, modelo E-916. Inicialmente, se procedió a establecer los parámetros óptimos para el proceso de extracción de las muestras realizando ensayos donde se varió la cantidad de muestra, presión del equipo, temperatura de extracción, así como número de ciclos y tiempo de extracción tal como se muestra en la figura 6. Una vez definidos los parámetros anteriormente mencionados, el procedimiento aplicado para la extracción de las muestras consistió en el pesado de 3 gr de muestra el cual se colocó en la celda de extracción para enseguida agregar 15 gr de arena de cuarzo y colocar los filtros requeridos, así como colocar la tapa de la celda de extracción. Es importante mencionar que el equipo tiene capacidad para 6 celdas de extracción por lo que en cada corrida se efectuó la extracción de 2 muestras con sus 3 repeticiones para cada muestra. Las muestras vegetales se extrajeron con tres distintos solventes cada una de ellas, metanol, acetona y agua, a distintas condiciones según el solvente (acetona; 40°C, metanol; 55°C y agua destilada 80°C, con un tiempo de retención de 5 minutos). El proceso de extracción consistió de 3 etapas; llenado con una duración de 14 minutos, retención con lapso de 5 minutos y por último descarga con 1 minuto. Cada uno de los extractos obtenidos con cada solvente fue concentrado mediante el uso de un equipo de evaporación múltiple marca BUCHI, modelo Multivapor P-6. Una vez concentrado el extracto se procedió a depositarlo en tubos falcón previamente etiquetados y pesados, se llenaron con un máximo de 25 ml por tubo falcón, siendo que algunas muestras requerían hasta tres tubos falcón, después de esto se llevaron a congelar para así poder realizar el secado y completa evaporación del solvente mediante el procedimiento de secado a baja temperatura aplicando el sistema de liofilización utilizando un equipo Freeze Dry System, modelo Freezone 4.5. Una vez seco el extracto se transfirió a viales ámbar y se pesaron para determinar la cantidad de

extracto obtenido, así como para conservar el material para los análisis y estudios subsecuentes. La figura 7, muestra el procedimiento aplicado para la concentración y secado a baja temperatura mediante liofilización de los extractos crudos obtenidos.

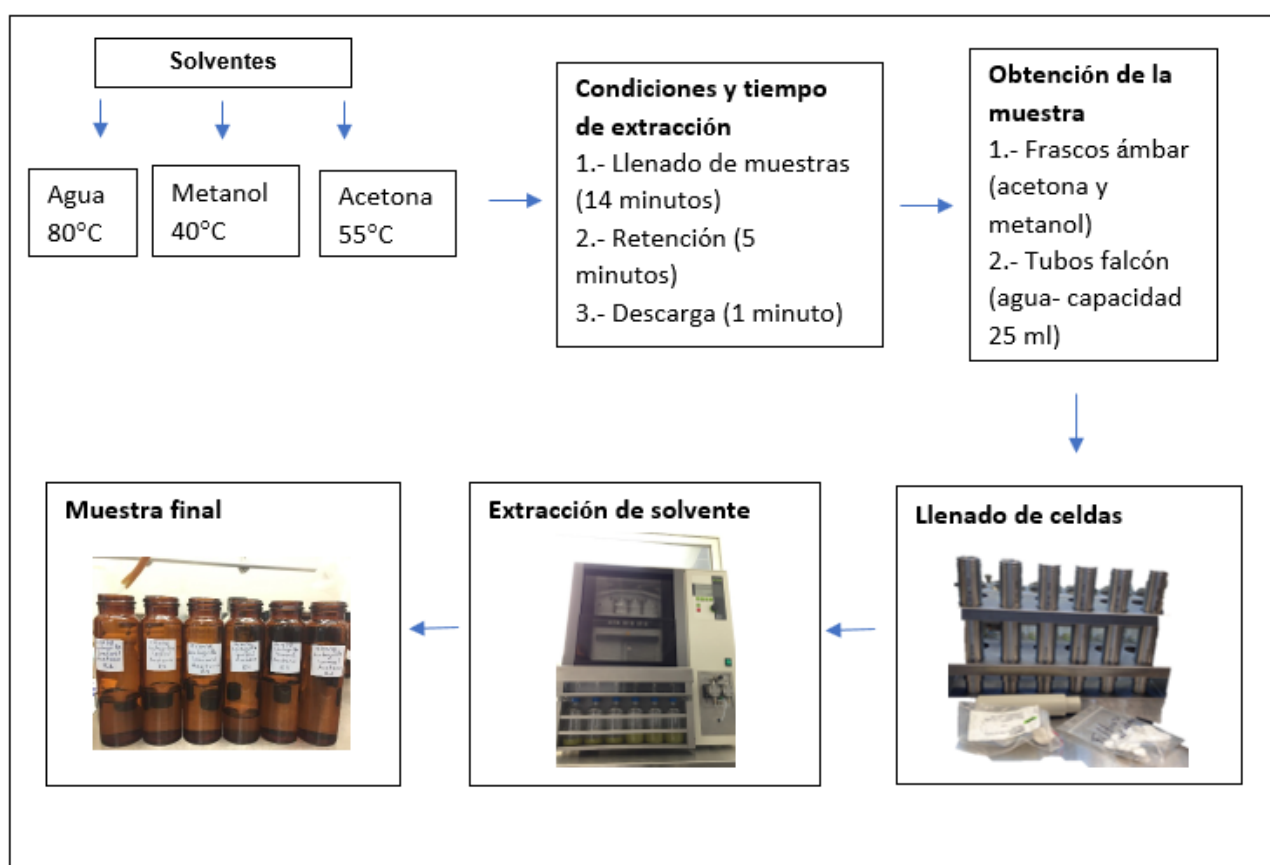


FIGURA 6. Proceso de obtención de extractos crudos de las plantas nativas del desierto de Mapimí, Durango.

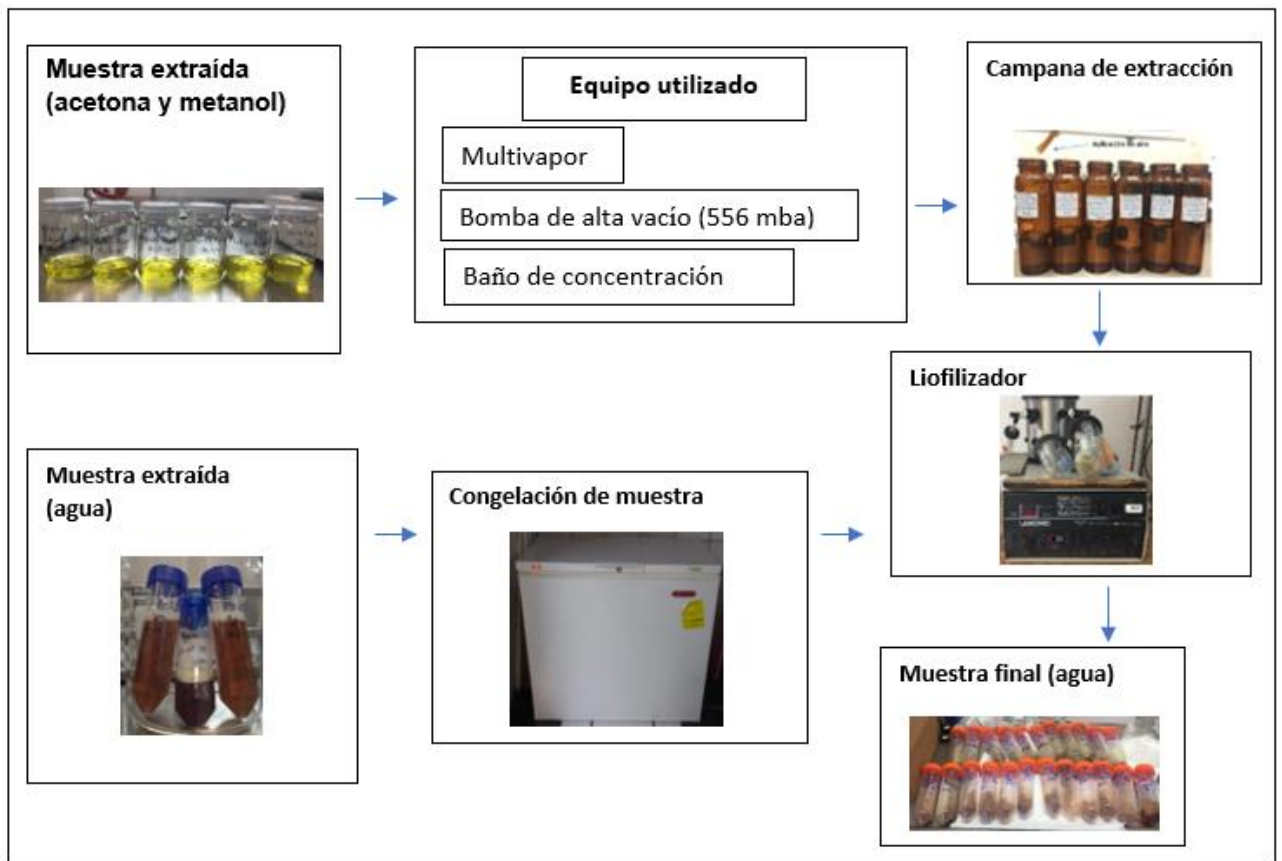


FIGURA 7. Procedimiento aplicado para la concentración y secado a baja temperatura mediante liofilización de los extractos crudos obtenidos.

Después de liofilizar las muestras, fueron nuevamente pesadas, para determinar la cantidad de extracto que se obtuvo. Terminando esto, se recuperó el extracto en tubos falcón o bien viales color ámbar (figura 8).



FIGURA 8. Extracto de diferentes especies en tubos falcón y en viales ámbar.

4.3 Caracterización bioquímica para determinar flavonoides, taninos, fenoles y capacidad antioxidante de los extractos obtenidos.

La caracterización química de los extractos crudos de las diferentes especies vegetales del desierto de la región geográfica de Mapimí Durango, se llevó a cabo con la finalidad de establecer el contenido y proporción de diferentes metabolitos que de acuerdo a la literatura están relacionados con la actividad antifúngica. En este caso se efectuó la determinación de fenoles, flavonoides, taninos y capacidad antioxidante. La medición bioquímica de las muestras extraídas se realizó a partir de la muestra de extracto disuelto en el solvente utilizado en la preparación de la curva de calibración correspondiente, siendo para flavonoides en etanol al 80%, taninos y fenoles en acetona al 70% y capacidad antioxidante en metanol al 80% (figura 9). Las diferentes metodologías aplicadas se describen a continuación:



FIGURA 9. Extractos de *Parthenium argentatum*, *Baccharis salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chiliopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (Cogollo y penca) y *Jatropha dioica* (raíz y tallo) en 5 ml de agua.

4.3.1 Determinación del contenido de fenoles.

Para la determinación del contenido de compuestos fenólicos en los extractos crudos evaluados, se aplicó la técnica para la determinación del contenido total de Fenoles por el método de Folin-Ciocalteu (Barlocher F. and Graca M. 2005). Para la obtención de la curva de calibración, Inicialmente se preparó una solución madre de ácido gálico en acetona al 70% a una concentración de 250 $\mu\text{g/ml}$, y con esta solución se prepararon los diferentes estándares con una concentración de 50,100,150,200 y 250 $\mu\text{g/ml}$ ($r^2=1$). Para el análisis, Se tomaron 500 μl de cada una de las soluciones estándar y se completaron a 1 ml con agua destilada, enseguida se adicionan 5 ml de una solución de carbonato de sodio al 2% en hidróxido de sodio a 0.1 N y se dejó reposar durante 5 min. Después de transcurrido el tiempo, se añadieron 0.5 ml del reactivo de Folin-Ciocalteu, después de 120 min se toma la lectura de absorbancia de cada muestra en un espectrofotómetro de UV-Visible marca Shimadzu, modelo UV-2401pc, utilizando como blanco agua destilada. Para el análisis de las diferentes muestras de extractos crudos se siguió el mismo procedimiento y a partir de la curva de calibración se obtuvieron las concentraciones de fenoles para cada muestra. Cada uno de los análisis se efectuó por triplicado.

4.3.2 Determinación del contenido de flavonoides.

La determinación del contenido de flavonoides se realizó aplicando el método colorimétrico con cloruro de aluminio reportado en la literatura con algunas modificaciones (Atanassova M, et al., 2011). En este caso la curva de calibración se preparó a partir de una solución madre de Quercetina en etanol al 80% a una concentración de 1000 µg/ml. A partir de esta solución madre, se prepararon las diluciones necesarias para preparar 5 estándares con concentraciones de 20,40, 60,80 y 100 µg/ml ($r^2= 0.9961$). Para el análisis, se tomaron 4 ml de agua destilada y se pusieron en tubos de ensayo, se agregó 1 ml de cada estándar, 300 microlitros de una solución de nitrito de sodio al 5% (NaNO_2) y se dejó reposar durante 5 min. Transcurrido este tiempo se agregaron 300 microlitros de una solución de cloruro de aluminio al 10% (AlCl_3), se dejaron transcurrir 6 minutos y enseguida se agregaron 2 ml de una solución de hidróxido de sodio al 1M (NaOH) para finalmente aforar la solución a un volumen de 10 ml con agua destilada. Después de transcurrido un tiempo de 15 min, se tomó la lectura de absorbancia de cada una de las muestras en un espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 510 nm contra un blanco preparado usando agua destilada. Para el análisis de las diferentes muestras de extractos crudos se siguió el mismo procedimiento y a partir de la curva de calibración, se obtuvieron las concentraciones de flavonoides para cada muestra. Cada uno de los análisis se efectuó por triplicado.

4.3.3 Determinación del contenido de taninos.

El contenido de taninos se determinó aplicando el método de Folin Ciocalteu (Mohammed S. and Manan F., 2015). Se preparó una solución madre de ácido gálico en acetona al 70%, teniendo una concentración de 1000 µg/ml, se prepararon 5 estándares con concentraciones 20, 40, 60, 80 y 100 µg/ml ($r^2=0.9972$). Se toma 100 microlitros de los estándares y se ponen en tubos de ensayo, se añaden 7.5 ml de agua destilada, después se agregan 500 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu, luego 1 ml de carbonato de sodio (NaCO_3) al 35% y se aforó con agua destilada a 10 ml, se tomó la lectura 30 minutos después a 725 nm con un blanco de agua destilada. Para el análisis de las muestras, se pesó una cantidad de extracto crudo el cual fue disuelto en acetona y a partir de estas soluciones se continuó el procedimiento de análisis

descrito. Las mediciones de absorbancia se determinaron a una longitud de onda de 725 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible. A partir de la curva de calibración se obtuvieron las concentraciones de taninos para cada muestra. Cada uno de los análisis se efectuó por triplicado.

4.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante fue determinada por el método de radical libre 2, 2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) con algunas modificaciones (Alarcón Z., 2011). En este caso se pesó una cantidad de extracto seco disuelto en metanol. Para construir la curva de calibración, se utilizaron soluciones estándar de ácido gálico (100, 125, 150, 175 y 200 $\mu\text{Mol/g}$). La absorbancia se determinó a 515 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible y utilizando metanol al 80 % como blanco.

4.3.5 Análisis estadístico

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron con un ANOVA, la separación de medias se realizó de acuerdo a la prueba simultánea de LSD Fisher ($p \leq 0.05$), usando el paquete estadístico INFOSTAT.

4.4 Determinación de la capacidad antifúngica mediante el método de envenenamiento de medio en agar frente a la cepa *Fusarium oxisporum*.

Para la determinación de la capacidad antifúngica de los extractos crudos provenientes de las plantas del desierto de la región geográfica de Mapimí, Durango; se utilizó como cepa objetivo *Fusarium oxisporum* la cual nos fue donada por el departamento de patología vegetal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para la propagación del hongo, se prepararon placas con agar de papa y dextrosa (PDA) las cuales se inocularon por estriado y se incubaron a una temperatura de 28 °C durante un periodo de tiempo de 5 días. Al cabo de este periodo de tiempo las placas estaban listas para ser utilizadas en los bioensayos de actividad antifúngica. Para llevar a cabo el bioensayo de determinación de la capacidad antifúngica mediante el método de envenenamiento de medio en agar (Das K. et al., 2010), se siguió el

procedimiento siguiente: De cada uno de los extractos crudos, se preparó un vial stock a una concentración de 0.1 gr de extracto/ 4 ml de solvente, donde para el caso de los extractos acuosos se utilizó 100 % agua destilada estéril para efectuar las sucesivas diluciones, mientras que para los casos de extractos obtenidos a partir de metanol y acetona se utilizó como solvente para las sucesivas diluciones con una relación 50:50 metanol/agua así como 50:50 acetona/agua, respectivamente.

A partir de las soluciones stock de extractos crudos correspondientes se prepararon una serie de diluciones con el fin de obtener placas con agar de PDA adicionados con el extracto crudo a concentraciones de 1000, 500, 250, 125, 62.5 y 31.25 ppm (figura 5). Es importante mencionar que la preparación de los diferentes materiales se realizó bajo condiciones estériles utilizando una campana de flujo laminar. Una vez solidificadas las placas con el medio de PDA/Extracto, se procedió a efectuar la inoculación de las mismas con el cultivo del hongo *Fusarium oxysporum*. Para ello, a partir de los cultivos del hongo previamente cultivados durante 5 días, mediante el uso de un sacabocados previamente esterilizado se prepararon explantes cilíndricos con un diámetro de 10 mm. Cada uno de estos explantes se extrajeron con la ayuda de una espátula esterilizada y se colocó el explante en el centro de cada una de las cajas con el medio de PDA/Extracto. Se utilizó un control solo con la relación solvente/agua con sus respectivas diluciones con el fin de demostrar que el solvente utilizado en la extracción no es el responsable de la inhibición en el crecimiento de *F. oxysporum*. Asimismo, se preparó un blanco solo con PDA y también se utilizaron como agentes de referencia los fungicidas Metalaxil, Prozycar 50 % y Mancozeb. Cada una de las placas preparadas se llevó a incubación a una temperatura de 28 °C durante un periodo de tiempo de 5 días. Terminado el periodo de incubación se procedió a medir el crecimiento radial de cada una de las placas con sus respectivas concentraciones de extracto crudo. El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se determinó utilizando como referencia el crecimiento obtenido en la placa control solo con PDA y realizando los cálculos con respecto al crecimiento en las muestras con extracto de acuerdo a la formula siguiente:

$$\% \text{ de Inhibición} = \left\{ \frac{\text{DC} - \text{DT}}{\text{DC}} \right\} \times 100$$

Donde **DC** es el crecimiento radial micelial registrado en mm para el control solo con medio de cultivo (PDA) y **DT** constituye el crecimiento radial micelial en mm, registrado para la muestra de PDA/Extracto a cada una de las concentraciones y sistema de extracción evaluado.

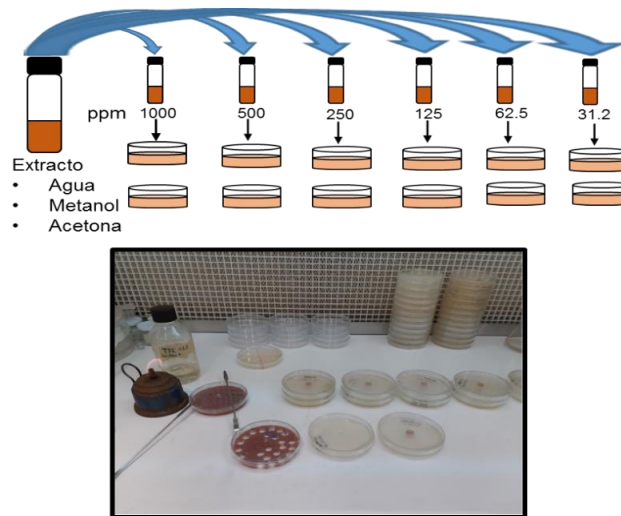


FIGURA 10. Bioensayo para la determinación de actividad antifúngica mediante el método de envenenamiento de medio en agar.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Colecta y preparación de plantas del desierto de Mapimi, Durango.

A partir de las actividades de colecta en la región geográfica del desierto de Mapimi, Durango, se logró la identificación de 41 especies y 17 familias distintas, siendo la familia Asteraceae la de mayor diversidad de especies colectadas con 12 individuos. Tomando como base a las especies vegetales colectadas y siguiendo los criterios de los usos y costumbres de los habitantes de la zona (comunicación personal) así como una revisión bibliográfica de especies vegetales de esta región, se definieron para esta etapa del proyecto el trabajar con las siguientes especies: (*Parthenium argentatum*, *Thymophylla acerosa*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra antisiphilitica*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioica* (raíz y tallo) para la obtención de extractos crudos utilizando diferentes solventes (agua, metanol y acetona), efectuar su caracterización y evaluar el potencial antifúngico de los mismos. La figura 11, muestra los especímenes colectados con su respectiva identificación taxonómica. Asimismo, en la Tabla 4, se muestra la clave de estudio asignada, su descripción taxonómica y su nombre común para cada espécimen.



FIGURA 11. Vegetación identificada en la colecta de la región geográfica del desierto de Mapimí, Durango.

Tabla 4. Clave de estudio, descripción taxonómica y nombre común de las especies vegetales evaluadas en el estudio.

Clave	Familia	Género	Especie	Nombre común
T1	<i>Asteraceae</i>	<i>Thymophylla</i>	<i>acerosa</i>	Árnica, contrahierba
T2	<i>Asteraceae</i>	<i>Parthenium</i>	<i>argentatum</i>	Guayule
T3	<i>Zygophyllaceae</i>	<i>Larrea</i>	<i>tridentata</i>	Gobernadora
T4	<i>Asteraceae</i>	<i>Baccharis</i>	<i>salicina</i>	Batamote, Azumiate
T5	<i>Ephedraceae</i>	<i>Ephedra</i>	<i>antisyphilitica</i>	Pitoreal
T6	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia</i>	<i>antisyphilitica</i>	Candelilla
T7	<i>Bignoniaceae</i>	<i>Chilopsis</i>	<i>linearis</i>	
T8	<i>Asparagaceae</i>	<i>Agave (cogollo)</i>	<i>lechuguilla</i>	Lechuguilla, Ixtle, Harsia
T9	<i>Asparagaceae</i>	<i>Agave (raíz)</i>	<i>lechuguilla</i>	Lechuguilla
T10	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Jatropha (raíz)</i>	<i>dioica</i>	Sangre de drago
T11	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Jatropha (tallo)</i>	<i>dioica</i>	Sangre de drago

5.2. Extracción de metabolitos secundarios

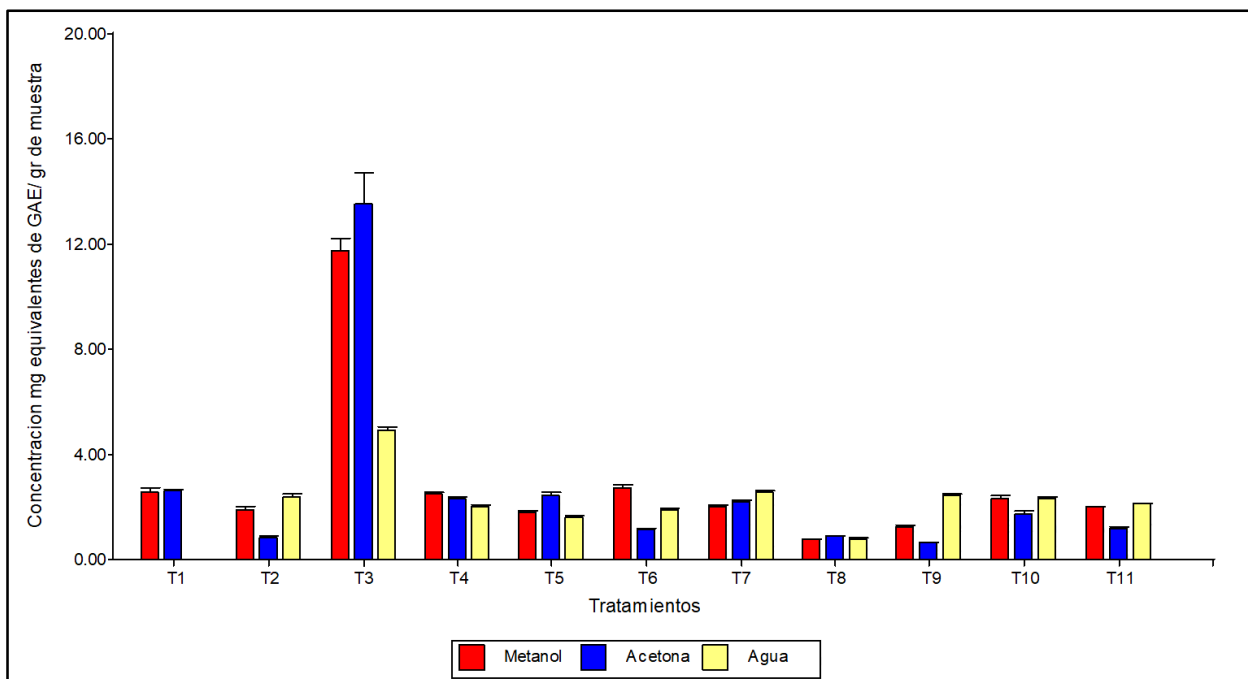
5.2.1 Extracción de fenoles totales

Los resultados obtenidos en la evaluación de los compuestos fenólicos totales de las especies estudiadas mostraron que la gobernadora (*Larrea tridentata*) tuvo los contenidos más altos con respecto a las demás especies estudiadas (Grafica 1). El contenido de fenoles totales obtenido en gobernadora en este trabajo fue de 13.53 mg de ácido gálico/ gr de muestra. Mencionar que estos resultados son bajos cuando se comparan con lo reportado por S. Martins y colaboradores (2012), quienes encontraron 13mg de ácido gálico / 0.026 gr de muestra; aunque este resultado se tendría reflexionar y tomar en cuenta, que no necesariamente son datos comparables ya que las muestras no fueron iguales es decir posiblemente (la edad de la planta, fecha de colecta, condiciones edafoclimáticas etc. estarían jugando un papel muy importante).

Sin embargo, la cantidad de fenoles encontrada en gobernadora en este estudio es un contenido muy alto cuando se compara a las demás especies estudiadas y que también coincide con otros trabajos reportados, en donde se han obtenido menores contenidos de fenoles totales en otros tipos de plantas desérticas analizadas (Benabderrahim y colaboradores 2019, Gasmi y colaboradores 2019) lo cual podría ser destacable para la gobernadora como una planta con gran concentración de fenoles totales.

Independientemente de los solventes utilizados en este trabajo., en relación a los resultados obtenidos con la extracción de fenoles totales, destaca nuevamente la gobernadora como la especie donde se obtuvo la mayor cantidad de fenoles al utilizar cualquiera de los tres solventes (Grafica 1), en comparación a todas las demás plantas evaluadas. Sin embargo, también es importante destacar el contenido de fenoles al usar acetona, metanol y agua (13.53, 11.73 y 4.95mg respectivamente) lo cual nos sugiere que al usar acetona como solvente se obtiene la mayor cantidad de fenoles totales del extracto crudo.

Así mismo en la literatura existen diferentes evaluaciones de extractos vegetales para la obtención de fenoles utilizando diferentes solventes donde no siempre al usar la acetona como solvente se obtiene la mayor cantidad de fenoles totales, ya que en ocasiones pueden ser mejores el metanol e incluso el agua. Además, otra variable que se tiene que considerar en este resultado es el tipo de planta utilizada, época, lugar, condiciones, etc., de colecta de las plantas evaluadas. (Diaz & Heinzen, 2006).

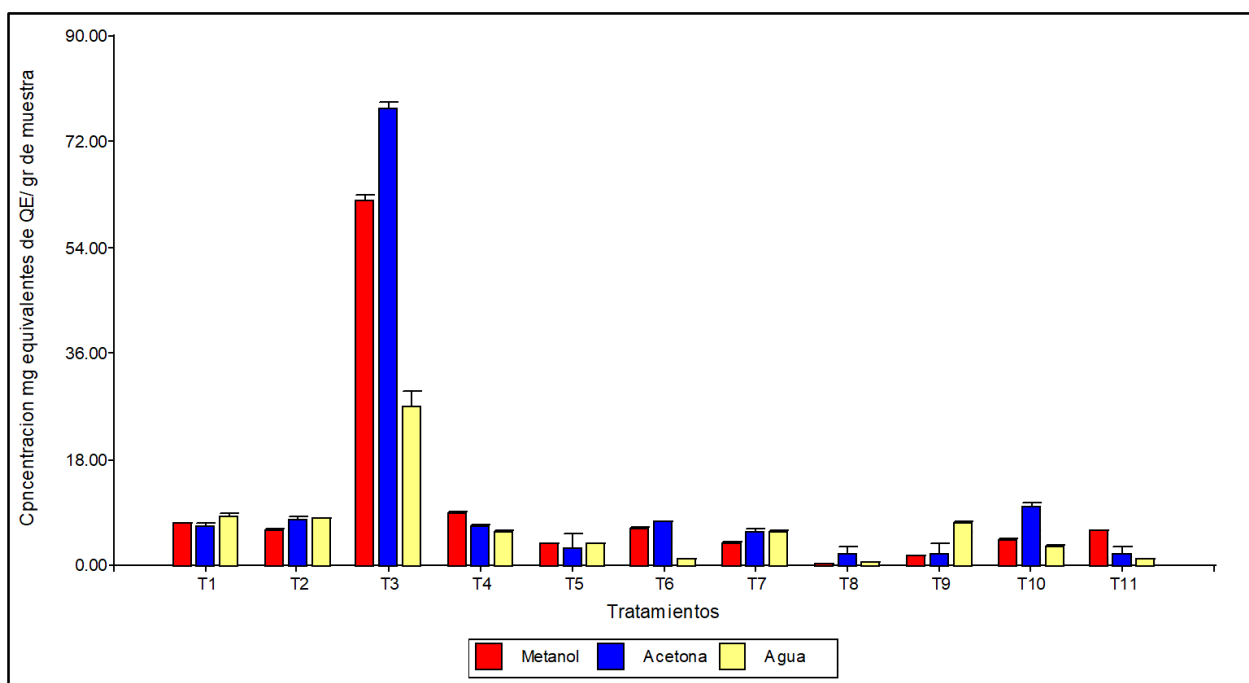


GRÁFICA 1. Extracción de Fenoles totales en todas las especies desérticas estudiadas en solvente metanol, acetona y agua.

5.2.2 Extracción de flavonoides totales

Según los resultados, el extracto que obtuvo mayor contenido de flavonoides totales fue la gobernadora (*Larrea tridentata*) en comparación con las demás especies estudiadas (Grafica 2). El contenido de flavonoides totales que se obtuvo de la especie gobernadora es de 61.85 mg de Quercitina/ gr de muestra. Estos resultados son mayores con respecto a lo reportado en la literatura, por ejemplo, si se comparan con lo reportado por Zevallos, Diana (2017) donde se obtuvieron 37.02 mg Quercitina/ gr de muestra y lo reportado por Garrido, Ortiz (2013) en donde obtuvieron 115.8 mg de Quercitina/ 100 g de muestra, este último obtenido por el método de maceración. Estos resultados muestran que la especie gobernadora tiene un alto contenido de flavonoides totales, y de la misma manera cuando se compara con las demás especies estudiadas en este trabajo, mostrando una enorme diferencia en cuanto a la cantidad de flavonoides extraídos.

También, cabe señalar que los distintos solventes utilizados para la extracción en este trabajo, muestran resultados favorables para la especie gobernadora (Grafica 2), debido a que tuvo mayor contenido de flavonoides totales en los tres distintos solventes utilizados metanol, acetona y agua (61.85, 77.71 y 27.09 mg respectivamente), teniendo resultados muy por arriba en comparación con las demás muestras estudiadas. Resaltando que el mejor solvente para la extracción de flavonoides en este trabajo es acetona.



GRÁFICA 2. Extracción de Flavonoides totales en todas las especies desérticas estudiadas en solvente metanol, acetona y agua.

5.2.3 Extracción de taninos totales

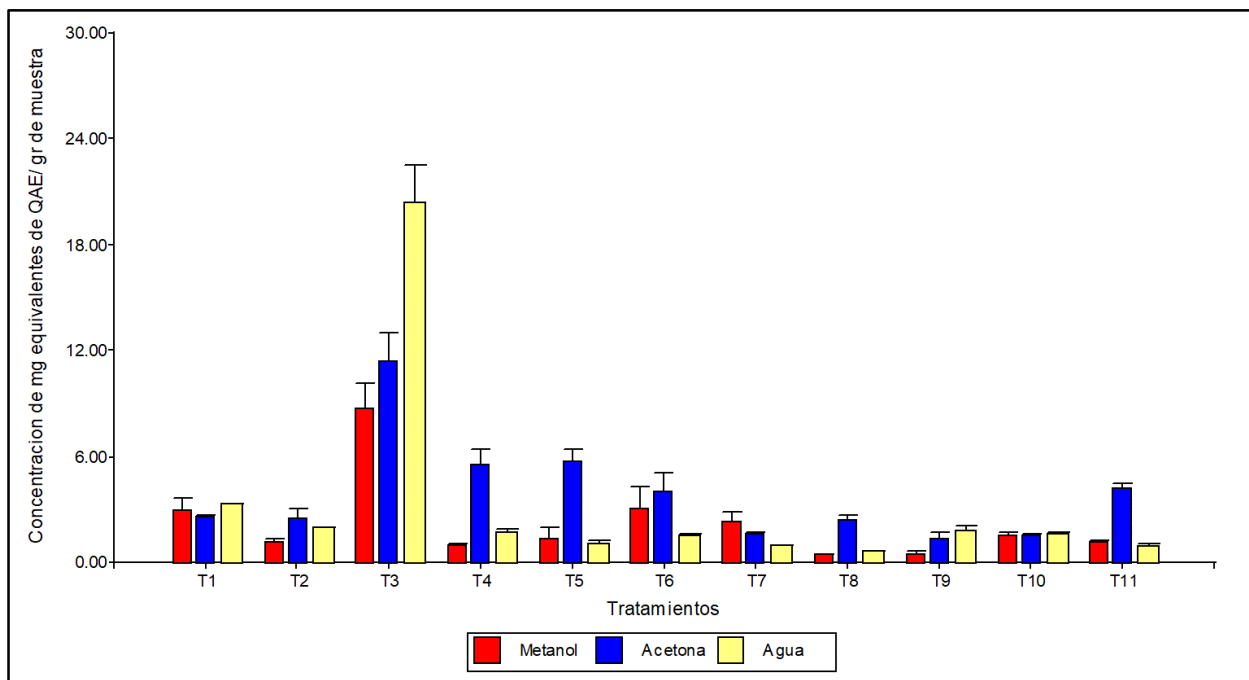
Los resultados obtenidos en la extracción de taninos de las muestras estudiadas en el presente trabajo, nuevamente muestran que la especie gobernadora (*Larrea tridentata*) obtuvo los contenidos más altos en comparación con las demás especies estudiadas (Grafica 3). La especie gobernadora obtuvo un contenido de taninos de 8.72 mg de ácido gálico / gr de muestra, que, al ser comparado con lo publicado en el trabajo de Zevallos, Diana (2017) es muy alto, debido a que se obtuvo 5.17 ± 0.10 gr

de ATE / 100 gr de muestra y por lo publicado por S. Enriquez (2011) donde obtuvo 42 y 65 gr de ATE / 100 gr de muestra.

La cantidad de taninos totales obtenida en gobernadora muestra un contenido muy alto cuando se compara con las demás especies evaluadas en este trabajo, así como con los resultados en los trabajos de los autores anteriormente mencionados, cabe señalar que dichos trabajos usaron ácido tánico como compuesto estándar. Por ejemplo, Bernabe (2019) obtuvo 370.1 mg de ATE/ 100 gr de muestra seca en *Beta vulgaris L* (betabel), resultado que es tres veces menor que lo obtenido en este trabajo.

En la gráfica 3 se puede observar que cuando se utilizó agua como solvente para la extracción de taninos en todas las especies evaluadas, se obtuvo en la gran mayoría de las especies, la mayor cantidad de taninos totales.

Con base a lo anterior se puede decir que la concentración de taninos es muy variable, esto dependiendo de la especie, zona de cultivo, estado de desarrollo y condiciones ambientales y solvente utilizado para la extracción.

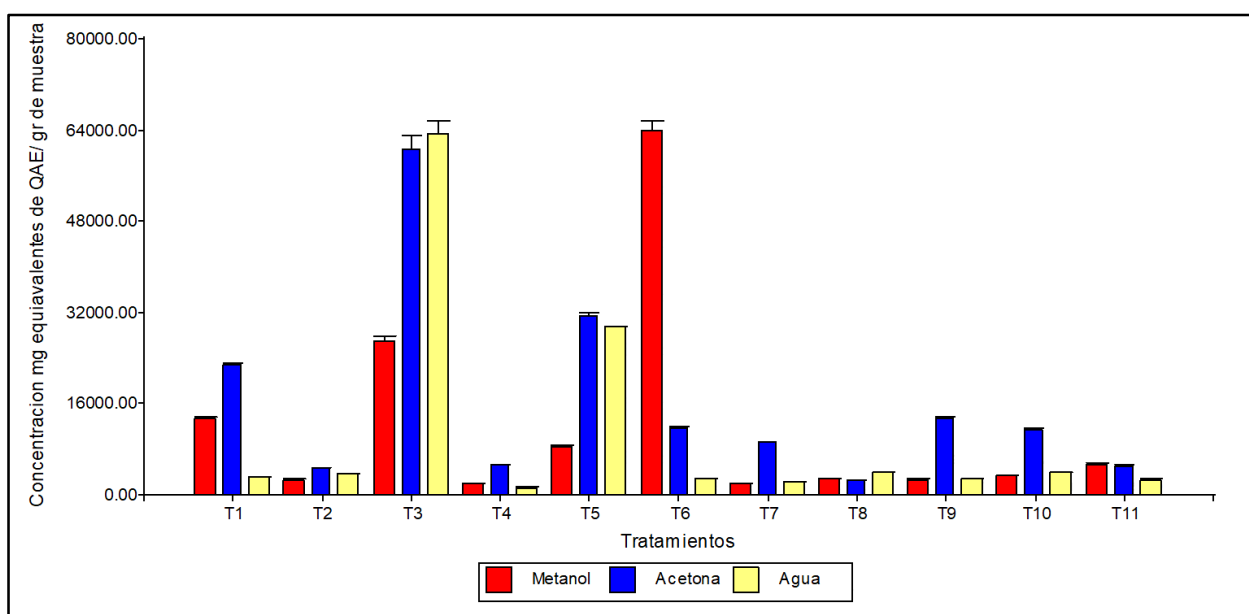


GRÁFICA 3. Extracción de Taninos totales en todas las especies desérticas estudiadas en solvente metanol, acetona y agua.

5.2.4 Extracción de capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos en la extracción de capacidad antioxidante de las especies estudiadas en este trabajo, mostraron que la gobernadora mostro tener mayor contenido de capacidad antioxidante, en los solventes acetona y agua con 60663.28 y 63432.51 mg/ gr respectivamente. Sin embargo, la especie *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla) obtuvo mayor capacidad antioxidante en comparación con las demás especies estudiadas, obteniendo 63914.38 mg/ gr el solvente metanol. De acuerdo a lo reportado por Cruzado (2013) y Garrido Ortiz (2013) obtuvieron 200 mg/ mL 24.9 µg/ ml, obtuvieron los siguientes resultado respectivamente en las evaluaciones de capacidad antioxidante, ambos usando ácido galico como un compuesto estándar.

La extracción del contenido de capacidad antioxidante en las especies estudiadas está relacionada con distintos factores como son: la especie, condiciones ambientales, entre otras, siendo el solvente uno de los factores que intervinieron en esta extracción, destacándose las plantas con mayor capacidad antioxidante las especies *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla) con 27056.97 y 63914.38 mg/ gr respectivamente.



GRÁFICA 4. Extracción de Capacidad antioxidante en todas las especies desérticas estudiadas en solvente metanol, acetona y agua.

5.3. Efecto antifúngico de extractos acetónicos en base al porcentaje de inhibición frente al hongo *Fusarium oxysporum*

A lo largo del tiempo los estudios realizados reportados en la literatura han revelado eficacia en los extractos con plantas semidesérticas para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos, se han reportado trabajos donde se han estudiado plantas como *Larrea tridentata* y *J. dioica* como fuentes de compuesto con actividad antifúngica (Enriquez, 2011) y (Tucuch-pérez & Arredondo-valdés, 2020). Los autores anteriormente mencionados explican que debido a la presencia de flavonoides y a su composición de hidroxilos fenólicos; los cuales pueden penetrar en la membrana celular, por lo que los hidroxilos combinan, precipitan y desnaturalizan las proteínas protoplásmicas.

Finalmente, se realizó un análisis para demostrar la inhibición del crecimiento del hongo, el cual mostró que todas las especies estudiadas en este trabajo tienen cierta actividad antifúngica, esto fue observado por el porcentaje de inhibición tabla 5. De la misma manera como se ha venido mencionando a lo largo de los resultados en este trabajo, la gobernadora (*Larrea tridentata*) fue la que mostró los mejores resultados, obteniendo un 100% de inhibición del crecimiento y desarrollo del hongo *Fusarium oxysporum*, estos resultados concuerdan con lo reportado por Saldivar y colaboradores (2018) donde la gobernadora en la mayoría de los tratamientos presentó al 100% actividad antifúngica. Cabe señalar que el trabajo mencionado anteriormente obtuvo mejores resultados con el solvente metanol; por otra parte, Gutiérrez (2005) obtuvo porcentajes de inhibición del 100 % para *F. oxysporum* a 1500 ppm, pero en extractos etanólicos. En comparación con este trabajo los mejores resultados fueron cuando se usó como solvente la acetona. Como ya se ha mencionado la efectividad de las plantas en cuanto a la cantidad y calidad de extracto crudo obtenido, porcentaje de flavonoides, taninos capacidad antioxidantes y fenoles y efectividad antifúngica dependerá de varias condiciones como son edad de la planta, sitio de colecta, condiciones edafoclimáticas, condiciones de extracción, solvente utilizado, etc.

Tabla 5. Efecto antifúngico de extractos acetónicos en base al porcentaje de inhibición frente al hongo *Fusarium oxysporum*.

Especie	Concentración (ppm)					
	1000	500	250	125	62.5	31.2
<i>Larrea tridentata</i>	100	99.1 (±0.32)	86.9 (±1.27)	69.1 ±0.53	53.9 ±0.17	55.4 ±6.0
<i>Chilopsis linearis</i>	84.7 ±0.21	74.3 ±0.04	62.5 ±0.07	52.8 ±1.15	44.6 ±1.64	36.3 ±0.40
<i>Baccharis salicifolia</i>	77.8 ±0.16	76.5 ±0.04	69.3 ±1.08	63.4 ±0.23	52.4 ±0.65	41.8 ±0.02
<i>Agave lechuguilla</i> (pencas)	75.6 ±0.40	71.8 ±0.49	65.4 ±0.04	47.9 ±0.23	35.7 ±0.40	27.7 ±0.42
<i>Agave lechuguilla</i> (cogoyo)	63.6 ±1.24	65.9 ±0.73	57.7 ±0.02	48.9 ±0.16	33.4 ±0.54	16.3 ±0.49
<i>Jatrofa dioica</i> (raíz)	54.5 ±0.94	45.6 ±0.30	37.7 ±0.28	17.1 ±0.63	25.7 ±0.98	18.1 ±0.21
<i>Thymophylla acerosa</i>	40.7 ±0.82	31.0 ±0.09	26.4 ±0.09	20.3 ±0.44	18.5 ±0.77	19.2 ±1.22
<i>Parthenium argentatum</i>	38.5 ±0.16	35.3 ±0.16	27.8 ±1.27	26.8 ±0.35	25.3 ±0.54	24.9 ±1.34
<i>Jatrofa dioica</i> (tallo)	21.4 ±2.21	21.1 ±3.41	18.0 ±2.80	13.8 ±0.09	15.0 ±0.09	16.4 ±0.58
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	16.5 ±0.28	17.1 ±0.49	10.5 ±0.07	7.7 ±0.40	6.9 ±0.09	9.4 ±0.16
<i>Ephedra antisyphilitica</i>	16.4 ±0.47	8.4 ±0.14	9.8 ±1.17	0.2 ±1.08	3.4 ±0.14	4.6 ±1.31

6. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se muestra, en primer lugar, que la especie *Larrea tridentata* obtuvo un mayor porcentaje de fenoles totales, flavonoides, taninos y capacidad antioxidante en comparación a las demás especies estudiadas. Además, tiene una capacidad antifúngica del 100% en solvente acetona contra el hongo *Fusarium oxysporum*.

La especie *Euphorbia antisyphilitica* tiene un contenido muy alto de capacidad antioxidante, cuando se utiliza agua como solvente.

Los extractos crudos de especies desérticas tienen grandes propiedades antifúngicas, mostrando una alternativa para ser utilizados como productos naturales biológicamente activos contra enfermedades fúngicas de los cultivos agrícolas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. M. (2007). Tanino: la revolución enológica mito o realidad. 1–15.
- Ambientales, C. (2004). Determinación Del Contenido Graso De Leche En Polvo : Extracción Soxhlet. System, 1–7.
- Carrión, A., & García, C. (2010). “Preparación De Extractos Vegetales: Determinación De Eficiencia De Metódica. Universidad De Cuenca, Tesis previa a la obtención del título de Bioquímica y Farmecéutica, 27–31. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2483/1/tq1005.pdf>
- Choquehuenca, Y. M. V. (2019). “Extracción Y Caracterización Química De Flavonoides Y Análisis Proximal En Las Flores De *Tropaeolum Majus L.* (Texao).” Facultad de Ciencias Naturales y Formales Escuela Profesional de Química, 15–16. http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ و رسانه های نوین&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component
- Cuadrado, M. E. (2016). Importancia de la calibración en los laboratorios de química analítica. Universidad de Sevilla Facultad de Farmacia, 0(0), 1–33. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54518/IMPORTANCIA DE LA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54518/IMPORTANCIA_DE_LA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Diaz, C., & Heinzen, H. (2006). Variaciones en el perfil de flavonoides y en la cantidad de quercetina libre en diferentes extractos de *Achyrocline saturoides*. Acta Farmaceutica Bonaerense, 25(4), 574–577.
- Dosal, M. A., & Villanueva, M. (2008). Introducción a la metrología química: Curvas de calibración en lo métodos analíticos. Antología de Química Analítica Experimental, 18–26. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/curvasdecalibracion_23498.pdf
- Enriquez, S. D. J. (2011). Determinación del contenido de taninos procedentes del guarango (*Caesalpinia spinosa*) y evaluación de su uso como fungicida.

- Gallego Iradi, M. G. (2016). Estudio de la actividad antioxidante de diversas plantas aromáticas y/o comestibles. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*, 252. <https://www.tdx.cat/handle/10803/403986>
- García-mendoza, A. J., & Gutiérrez, D. S. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (*Asparagaceae*, *Agavoideae*) del sur de México Four new species of *Agave* (*Asparagaceae*, *Agavoideae*) from southern Mexico Resumen: Materiales y Métodos. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- García, A. A., & Carril, E. P. U. (2009). Metabolismo secundario de plantas. 2(3), 119–145.
- Giral, N. L. (2013). Obtencion y Aplicacion de Extractos Naturales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Guzman, R. C., Lopez, N. M., & Arias, J. G. M. (2015). Nota sobre *Tourettia lappacea* (*bignoniaceae*), un nuevo registro para el occidente de México. 15, 9–15.
- Hunziker, J. H., & Novara, L. J. (1998). Flora del Valle de Lerma *ephedraceae dumort*. 1–14.
- Mercado-Mercado, G., Carrillo, L. de la R., & Wall-Medrano, A. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutricion Hospitalaria*, 28(1), 36–46. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>
- Mexicana, A. B. (2002). *Acta Botánica Mexicana* ISSN: 0187-7151 Instituto de Ecología, A. C. México Steinmann, Victor W. Instituto de Ecología, A. C. Cómo citar el artículo Número completo Más información del artículo Página de la revista en redalyc.org Sistema de Info.
- Nava, G., & Alejandro, M. (2016). Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en extractos naturales.
- Porrás, A., & López, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. In *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* (Vol. 3, Issue 1, pp. 121–134). [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TsIA-3\(1\)-Porrás-Loaiza-et-al-2009.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TsIA-3(1)-Porrás-Loaiza-et-al-2009.pdf)

- Rojas L, et al. (2015). Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios de plantas. Universidad Técnica de Machala, 1(978-9978-316-62-7), 108. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/6653/1/20 Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios de plantas.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/6653/1/20_Métodos_analíticos_para_la_determinación_de_metabolitos_secundarios_de_plantas.pdf)
- Torres, Z. Ma., & Perez, N. D. (2006). *Flora de Guerrero 29. Bignoniaceae* (Issue 29).
- Tucuch-pérez, M. A., & Arredondo-valdés, R. (2020). Actividad antifúngica de compuestos fitoquímicos de extractos de plantas del semidesierto mexicano contra *Fusarium oxysporum* del tomate por el método de micro dilución en placa Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-d.
- UNNE, F. de C. E. y N. y A. (2004). *Asterídeas-Euasterídeas II: Asterales: Asteraceae*. 178–185.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., Bartolomé-Hernández, J. A., Estrada-Castillón, E., Ramírez-Rodríguez, H., & Martínez-Amador, S. J. (2017). El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botanica Mexicana*, 118, 65. <https://doi.org/10.21829/abm118.2017.1201>
- Villaverde, I. C. (2018). Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor.

8. ANEXOS

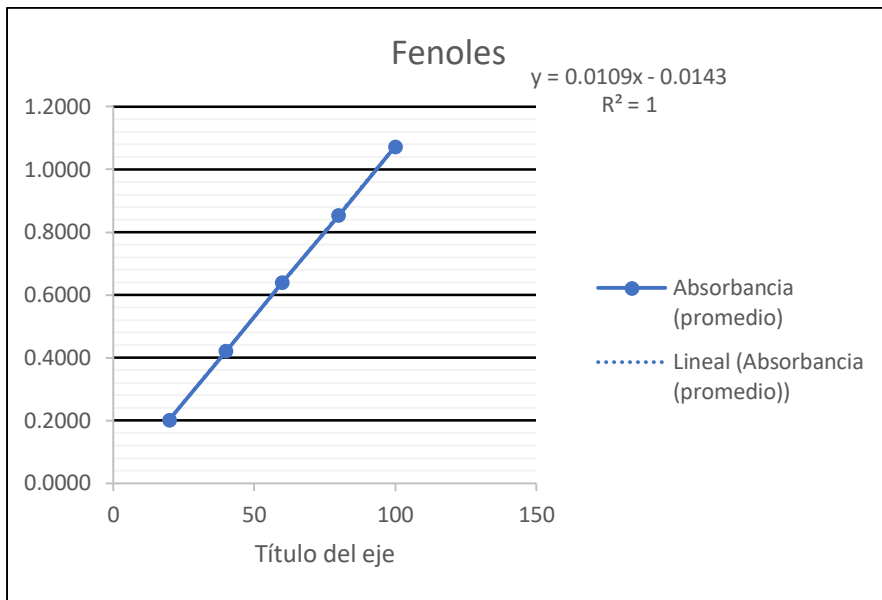
Peso de extracto de muestras por solvente

Extracto total recuperado	Nombre de la muestra	Peso Total (gramos)		
		Solvente		
		Acetona	Metanol	Agua
Clave				
T1	<i>Thymophylla acerosa</i>	0.2659	1.5518	0.0302
T2	<i>Parthenium argentatum</i>	2.0481	2.825	2.3352
T3	<i>Larrea tridentata</i>	2.3233	2.9776	4.2363
T4	<i>Baccharis salicina</i>	0.3761	2.5467	3.1723
T5	<i>Ephedra antisiphilitica</i>	0.8323	3.8321	12.4193
T6	<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	0.9646	1.6896	2.6906
T7	<i>Chilopsis linearis</i>	2.1334	4.0923	5.6813
T8	<i>Agave lechuguilla cogollo</i>	0.2135	3.0837	7.6304
T9	<i>Agave lechuguilla penca</i>	0.2272	2.7882	3.6232
T10	<i>Jatropha dioica raíz</i>	0.361	2.5923	13.5858
T11	<i>Jatropha dioica tallo</i>	0.2742	2.6278	11.8366

Realización de curvas de calibración

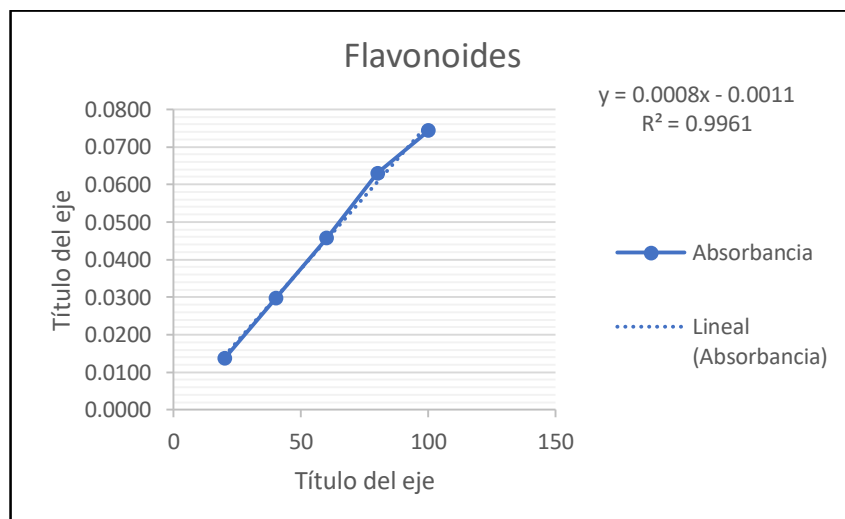
Fenoles

Se realizó con el método de Folin-Ciocalteu, la solución madre de ácido gálico en acetona al 70% obteniendo una concentración de 250 µg/ml, y preparando los estándares con una concentración de 50,100,150,200 y 250 µg/ml ($r^2=1$). Se toma 500 mililitros de los estándares y se completa a un mililitro con agua destilada, se adicionan 5 ml de carbonato de sodio al 2% en hidróxido de sodio a 0.1 N. para después de 5 minutos añadir 0.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu y tomar la lectura después de 120 minutos a 760nm con agua destilada de blanco.



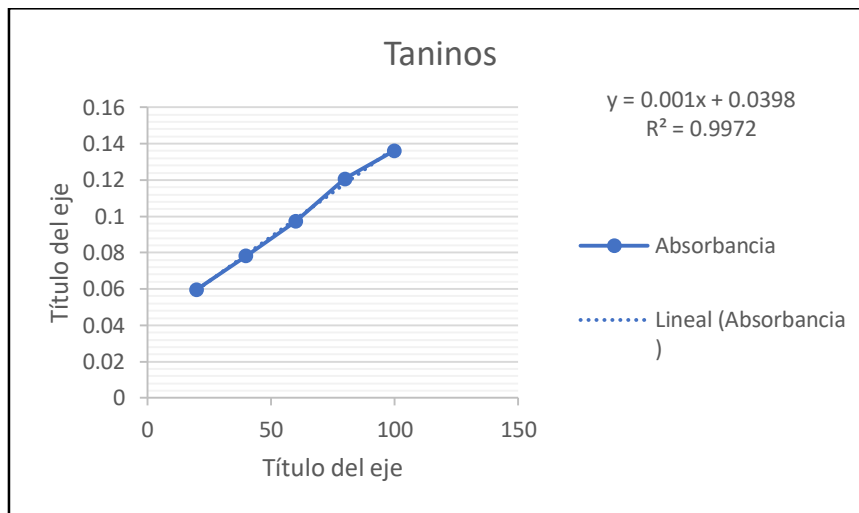
Flavonoides

Se siguió el método Colorímetro cloruro de aluminio, consiste en preparar una solución madre de Quercetina en etanol al 80%, teniendo una concentración de 1000 µg/ml, a partir de esto se prepararon las diluciones necesarias para preparar 5 estándares con concentraciones de 20,40, 60,80 y 100 µg/ml ($r^2 = 0.9961$). Se toman cuatro mililitros de agua destilada y se ponen en tubos de ensayo, se agregan un mililitro de cada estándar, luego 300 microlitros de Nitrito de sodio al 5% (NaNO_2), 5 minutos después se ponen 300 microlitros de Cloruro de aluminio al 10% (AlCl_3). Se dejan pasar 6 minutos y se agregan 2 mililitros de Hidróxido de sodio al 1M (NaOH) y se aforo a 10 mililitros con agua destilada, se toma la lectura 15 minutos después, la absorbancia, se determinó a 510 nm contra un blanco preparado usando agua destilada.



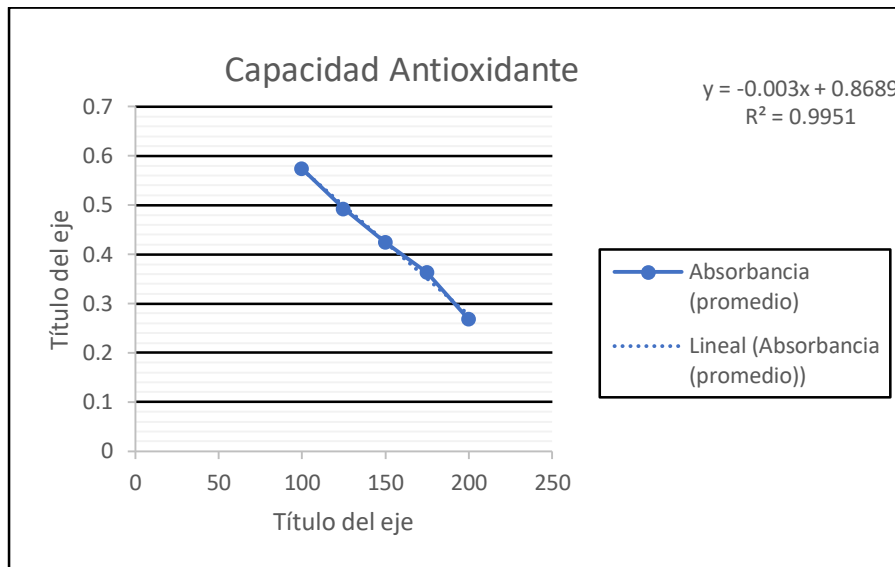
Taninos

Se usó el método de Folin-Ciocalteu, se preparó una solución madre de ácido gálico en acetona al 70%, teniendo una concentración de 1000 µg/ml, se prepararon 5 estándares con concentraciones 20,40,60,80 y 100 µg/ml ($r^2=0.9972$). Se toma 100 microlitros de los estándares y se ponen en tubos de ensayo, se añaden 7.5 mililitros de agua destilada, después se agregan 500 microlitros de reactivo de Folin-Ciocalteu, luego 1 ml de carbonato de sodio (NaCO_3) al 35% y se afora con agua destilada a 10 ml, se toma la lectura 30 minutos después a 725 nm con un blanco de agua destilada.

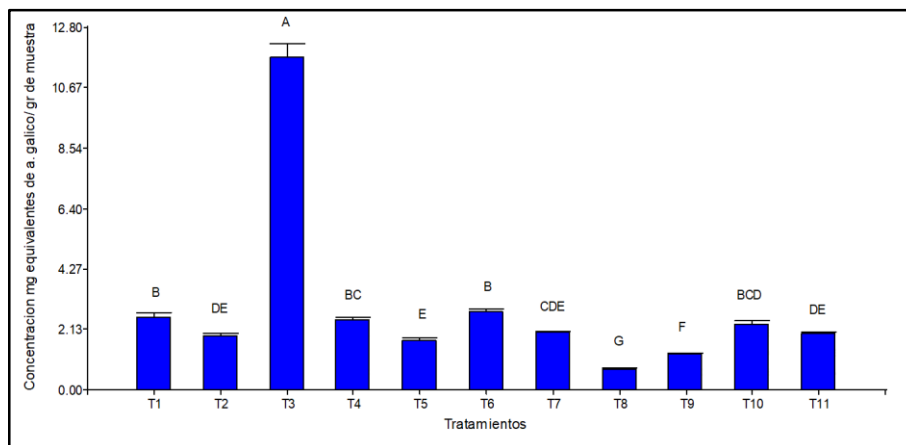


Capacidad antioxidante

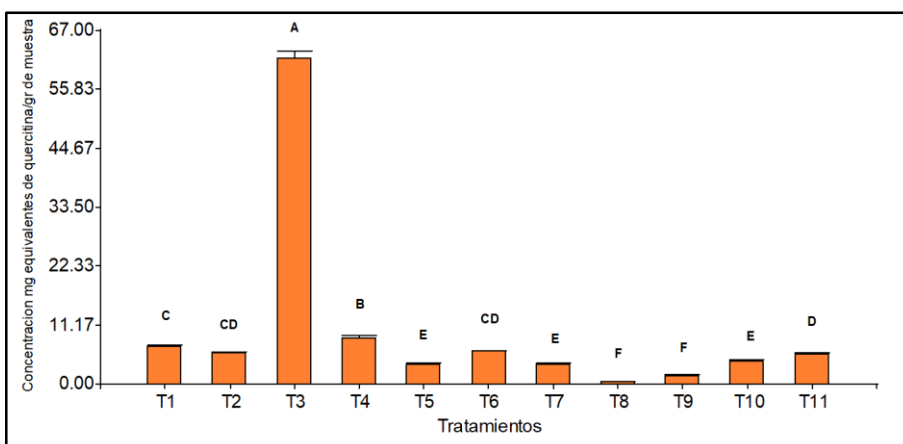
se hizo con el método del radical libre 2,2-difenil-1picrilhidracilo (DPPH), donde la solución madre es de ácido gálico en metanol al 80% teniendo una concentración de 1000 µmol, los estándares con una concentración de 100,125,150,175 y 200 µmol ($r^2=0.9951$). Se tomo 100 microlitros de los estándares y se añadieron 2.9 ml de DPPH, después de 30 minutos en completa oscuridad se tomó la lectura a 515nm usando metanol al 80% como blanco.



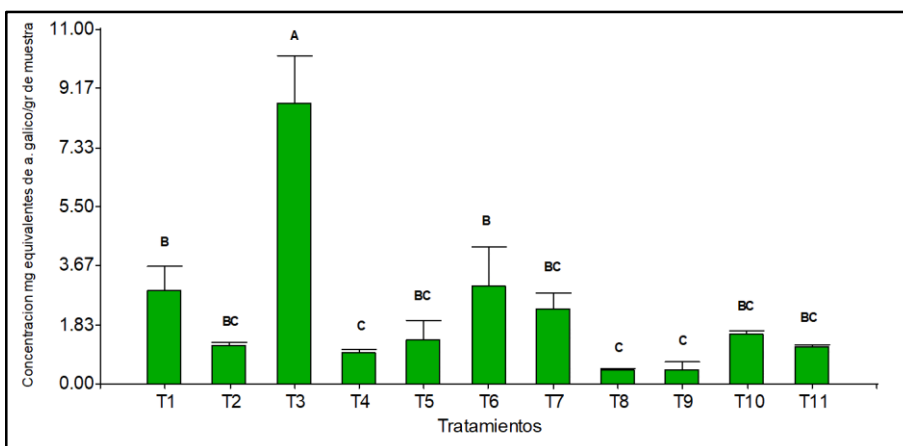
Extracción de muestras en solvente Metanol



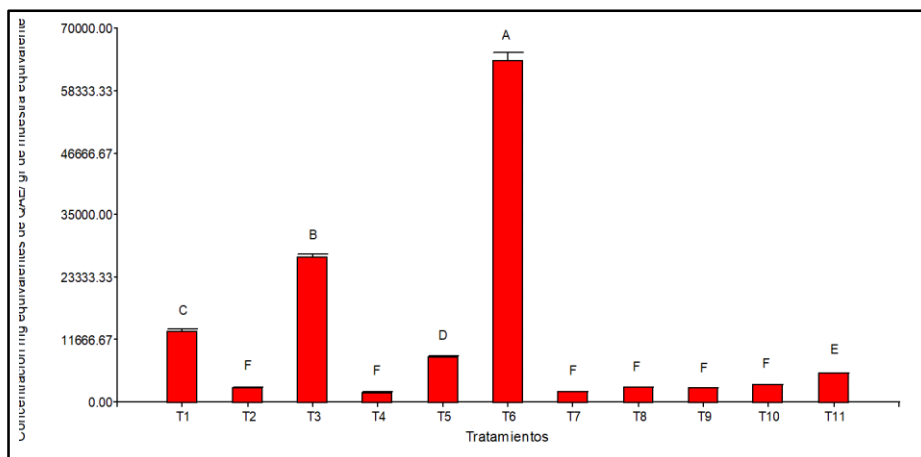
*Extracción de fenoles en solvente metanol en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).



*Extracción de flavonoides en solvente metanol en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

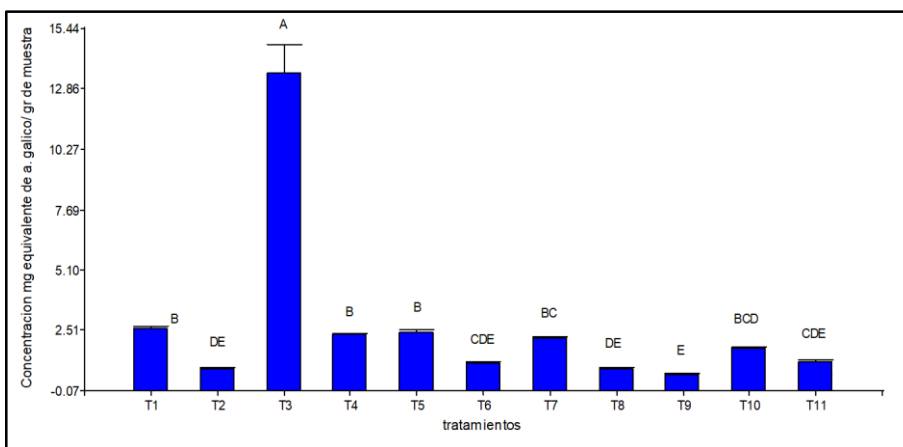


*Extracción de taninos en solvente metanol en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

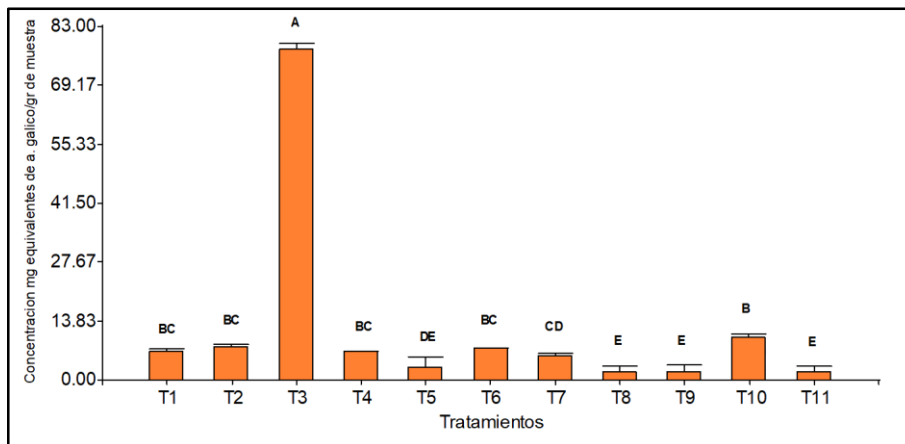


*Extracción de capacidad antioxidante en solvente metanol en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

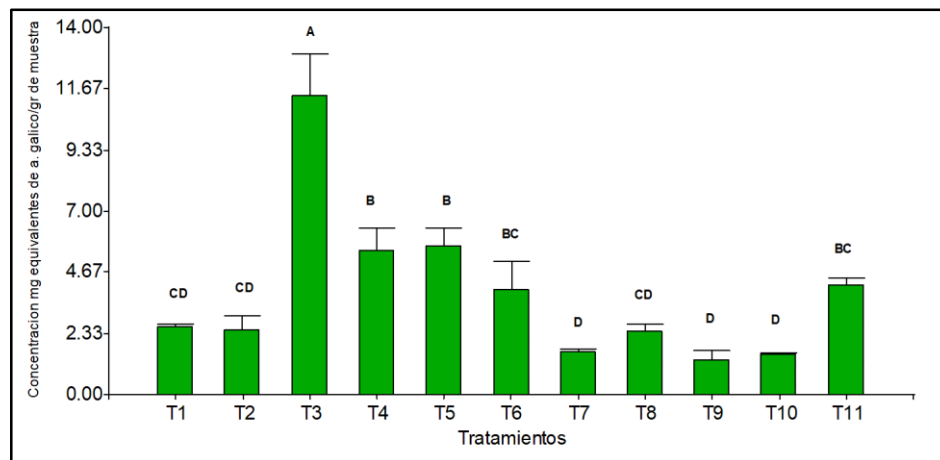
Extracción de muestras en solvente acetona



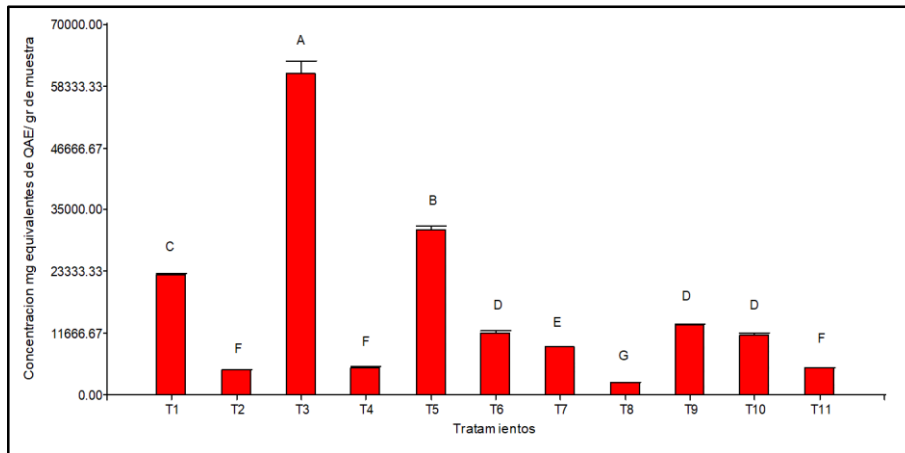
*Extracción de fenoles en solvente acetona en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).



*Extracción de flavonoides en solvente acetona en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

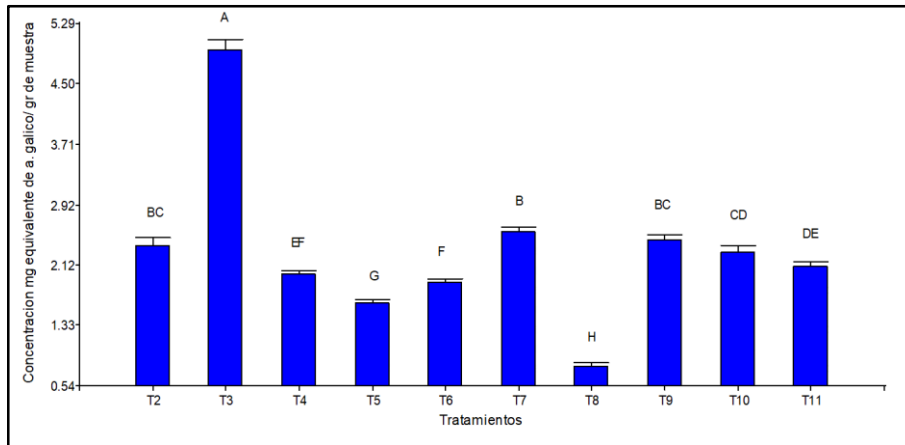


*Extracción de taninos en solvente acetona en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

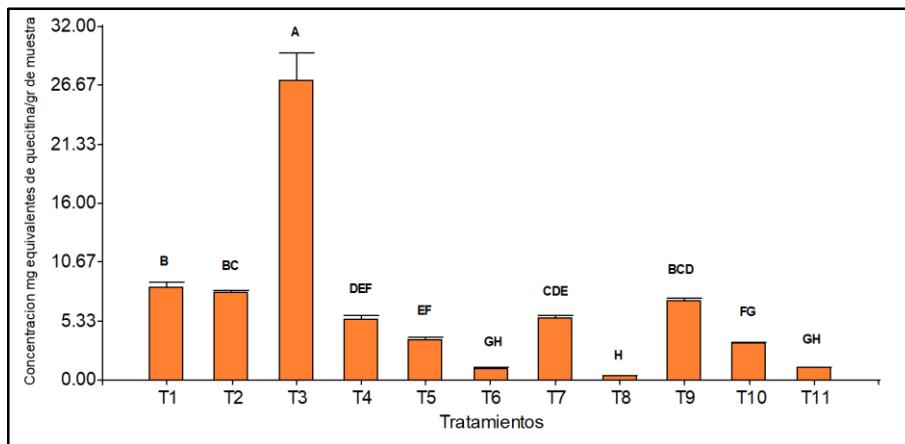


*Extracción de capacidad antioxidante en solvente acetona en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).

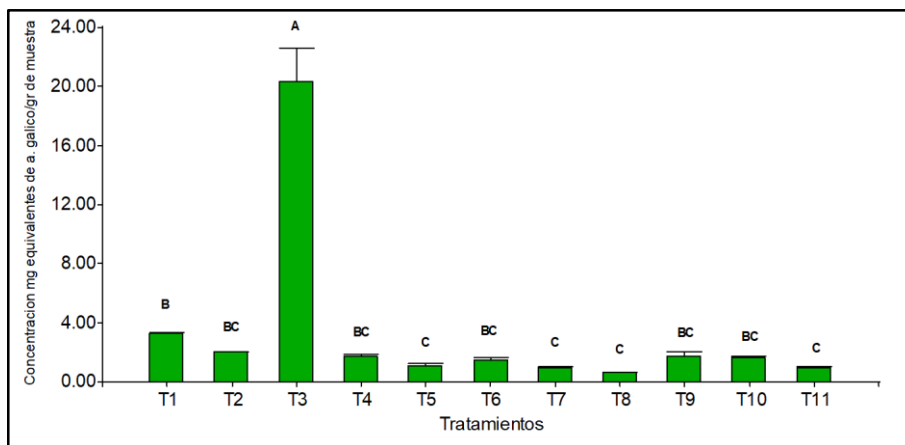
Extracción de muestras en solvente agua



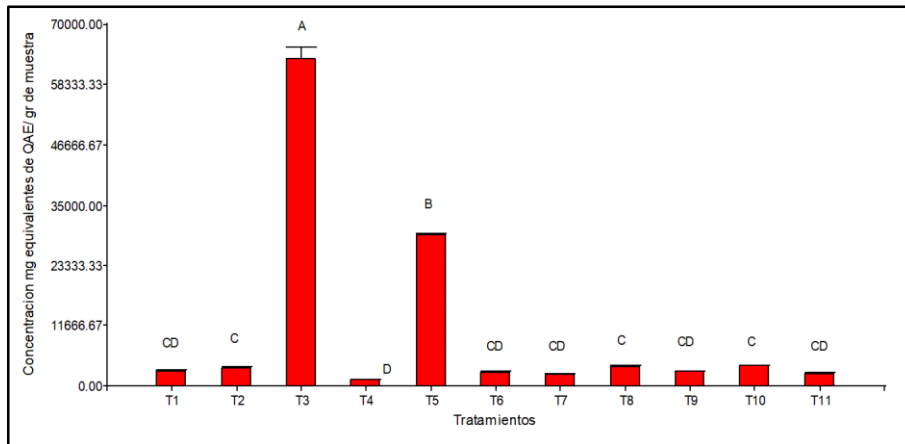
*Extracción de fenoles en solvente agua en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).



*Extracción de flavonoides en solvente agua en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioica* (tallo y raíz).



*Extracción de taninos en solvente agua en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioica* (tallo y raíz).



*Extracción de capacidad antioxidante en solvente agua en las especies *Thymophylla acerosa*, *Parthenium argentatum*, *Larrea tridentata*, *Baccharis salicifolius*, *Ephedra salicifolius*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Chilopsis linearis*, *Agave lechuguilla* (cogollo y pencas) y *Jatropha dioca* (tallo y raíz).