

Artículo de Revisión

# El género *Fouquieria*: descripción y revisión de aspectos etnobotánicos, fitoquímicos y biotecnológicos

The genus *Fouquieria*: description and review of ethnobotanical, phytochemical, and biotechnological aspects

Lenin O Nevárez-Prado<sup>1</sup>, Beatriz A Rocha-Gutiérrez<sup>1</sup>, David Neder-Suárez<sup>1</sup>, María Teresa Cordova-Lozoya<sup>1</sup>, Juan Guillermo Ayala Soto<sup>1</sup>, Mayra Isabel Salazar Balderrama<sup>2</sup>, Teresita de Jesús Ruiz Anchondo<sup>2</sup>, León R. Hernández-Ochoa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas. Circuito Universitario, Campus Universitario #2, Chihuahua, Chihuahua, C.P. 31125, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Av. Pascual Orozco, Campus Universitario #1, Santo Niño, Chihuahua, Chihuahua, México.

\*Correspondencia: [lhernandez@uach.mx](mailto:lhernandez@uach.mx) (León R. Hernandez Ochoa)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.840>

Recibido: 19 de agosto de 2021; Aceptado: 28 de octubre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

## Resumen

Las plantas del género *Fouquieria* se distribuyen en las zonas áridas de México y Estados Unidos de América, Siendo los estados de Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Sonora, Baja California, Baja California Sur y Chihuahua donde éstas se distribuyen especialmente en México; y en Arizona, Nuevo México, Nevada, Colorado, y Utah en Estados Unidos de América. Tienen usos diversos ya sea como plantas de ornato, plantas medicinales o alimento. Las infrutescencias de este género son en forma de panícula, color rojo anaranjado de forma alargada y acampanada. Según la comunidad rural, los tallos, raíces y flores de estas especies se utilizaban en la medicina tradicional para tratar enfermedades cardiovasculares y trastornos del sistema urinario, entre otras. Hoy en día, las investigaciones demuestran que los extractos tienen entre algunas otras actividades, la antimicrobiana, antihelmíntica, e insecticida, cuyos efectos son atribuidos a metabolitos secundarios (fenoles, saponinas terpenoides, alcanos, etc.). En esta revisión se dan a conocer los usos etnobotánicos, características fitoquímicas, actividad biológica y estudios tecnológicos reportados del género *Fouquieria*.

**Palabras clave:** plantas medicinales, fitoquímica, actividad biológica, biotecnología

## Abstract

Plants of the genus *Fouquieria* are distributed in the arid zones of Mexico and the United States of

America, being the states of Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosi, Sonora, Baja California, Baja California Sur, and Mexico especially in Chihuahua; and in Arizona, New Mexico, Nevada, Colorado, and Utah in the United States of America. They have various uses either as ornamental plants, medicinal plants, or food. The inflorescences of this genus are panicle-shaped, orange-red in color, elongated, and flared. According to the rural community, the stems, roots, and flowers of these species were used in traditional medicine to treat cardiovascular diseases and disorders of the urinary system, among others. Today, research shows that the extracts have, among some other activities, antimicrobial, anthelmintic, and insecticidal, whose effects are attributed to secondary metabolites (phenols, terpenoid saponins, alkanes, etc.). In this review, the ethnobotanical uses, phytochemical characteristics, biological activity, and reported technological studies of the genus *Fouquieria* are presented.

**Keywords:** medicinal plants, phytochemistry, biological activity, biotechnology.

## 1. INTRODUCCIÓN

La familia Fouquieriaceae comprende pequeños árboles y arbustos con numerosas adaptaciones xeromórficas. Dentro de estas resaltan sus tallos leñosos y suculentos que consienten el almacenamiento de agua para sobrevivir a las condiciones extremas del desierto norteamericano (Henrikson, 1972). En las siguientes secciones se presenta información sobre las diferencias de cada especie del género *Fouquieria* con respecto a la distribución geográfica, anatomía vegetal, constituyentes químicos, aspectos etnobotánicos y aplicaciones tecnológicas. Gran parte de estos datos se utilizan para comprender cómo se adaptan estas plantas y el motivo de expresar actividades biológicas variadas. Todo esto debido a que el género *Fouquieria* integra plantas con relevancia ecológica por su alta distribución y tolerancia a climas extremos de México y Estados Unidos, donde nativos y personas locales emplean sus propiedades para tratar diversas afecciones.

## 2. DISTRIBUCIÓN DEL GÉNERO *Fouquieria*

Los biomas áridos son notorios en América del Norte como el Desierto de Sonora y el Desierto de Chihuahua. Comprenden matorrales xerófilos secos (semidesérticos) y bosques secos (selvas secas) que varían de acuerdo con las estaciones climatológicas y son considerados importantes por su gran diversidad de especies tanto vegetales como animales (De Nova *et al.*, 2018). Los desiertos del suroeste de América del Norte proporcionan un sinnúmero de especies, entre las que se encuentran las familias Fouquieriaceae, Simmondsiaceae, Agavaceae, Fabaceae, entre otras (Moore y Jansen, 2006). La mayoría de estas familias son comprendidas por especies arborescentes con tallos fotosintéticos, que en su mayoría presentan succulencia como lo es el característico género *Fouquieria* (Ericales) (Franco-Vizcaino *et al.*, 1994). Este género incluye once especies (De Nova *et al.*, 2018) (Tabla 1) distribuidas del norte y centro de México hasta el sureste de América del Norte, presentándose favorablemente en colinas bajas y áridas (Behnke, 1976) (**Figura 1**). Las plantas de este género se encuentran distribuidas desde el oeste de Baja California, norte de Arizona y este de Texas hasta el sureste de Oaxaca. Aquellas que son pertenecientes al norte de México y sur de los Estados Unidos se encuentran principalmente en hábitats desérticos y en bosques tropicales caducifolios. *F. splendens* (ocotillo) es la especie más distribuida de la familia y se esparce desde el Desierto de Sonora, Baja California y Sonora, así como en el suroeste de los Estados Unidos de América y el Desierto de

Chihuahua (Henrikson, 1972). Varias de estas especies están asociadas a condiciones edáficas específicas como el caso de *F. ochoterenae* que comúnmente se le encuentra en afloramientos de selenita y yeso.

Por otro lado, otras especies como la *F. shrevei* están estrictamente restringidas a suelos de yeso en Coahuila, o, por ejemplo, en el Desierto de Chihuahua donde la *F. splendens* subsp. *splendens* está

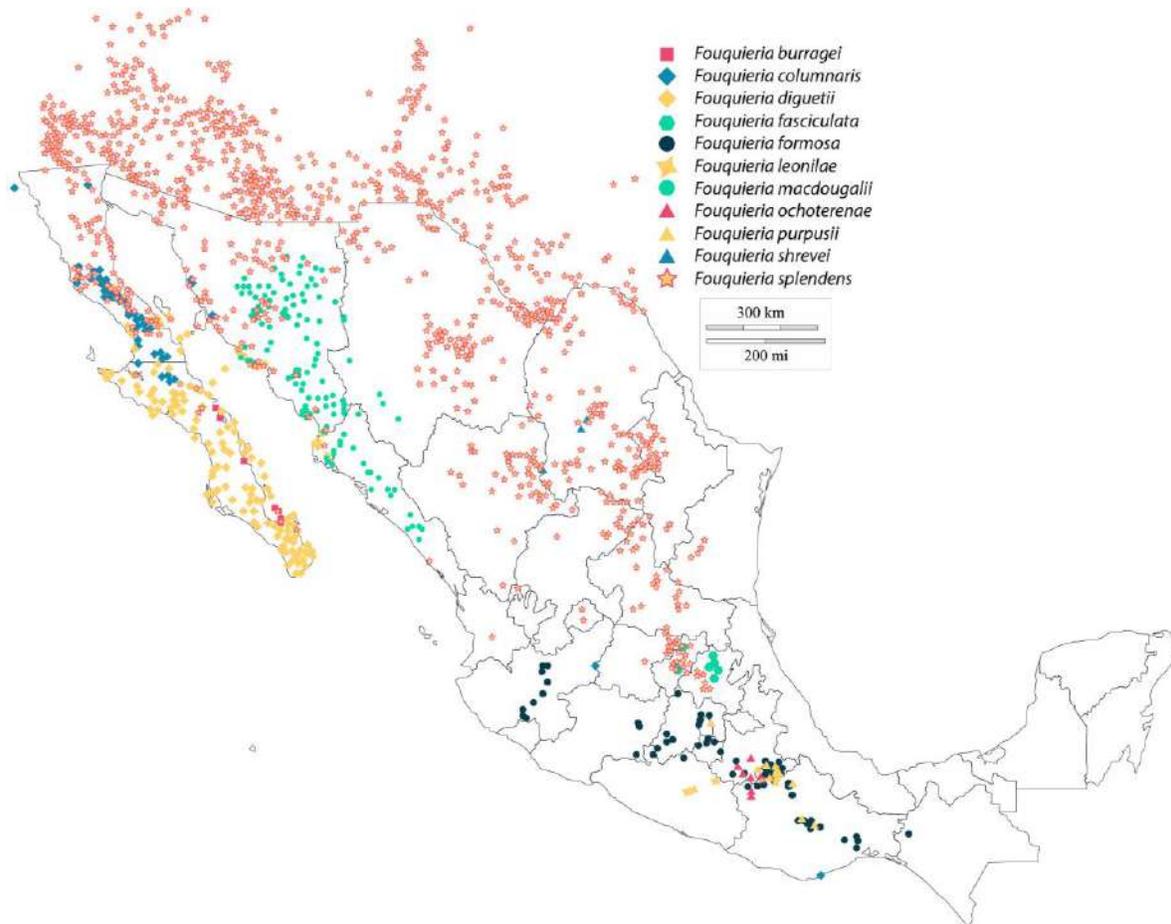
**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la familia Fouquieriaceae  
**Table 1.** Taxonomic classification of the family Fouquieriaceae

<b>Orden</b>	<i>Ericales</i>
<b>Familia</b>	Fouquieriaceae
<b>Género</b>	<i>Fouquieria</i>
<b>Especie</b>	<i>F. burragei</i>
	<i>F. columnaris</i>
	<i>F. diguetii</i>
	<i>F. fasciculata</i>
	<i>F. formosa</i>
	<i>F. leonilae</i>
	<i>F. macdougalii</i>
	<i>F. ochoterenae</i>
	<i>F. purpusii</i>
	<i>F. shrevei</i>
	<i>F. splendens</i>
	<i>F. splendens</i> subsp. <i>breviflora</i>
	<i>F. splendens</i> subsp. <i>campanulata</i>
	<i>F. splendens</i> subsp. <i>splendens</i>

estrictamente con suelos de piedra caliza (Henrikson, 1972). Otra característica para tomar en cuenta es su capacidad de distribuirse de manera aislada, que dependerá en su totalidad de los climas de cada zona. Esto impulsó a la variación genética (Zavala-Hurtado y Jiménez 2020), especialmente por los ambientes secos durante la diversificación entre el Mioceno y el Plioceno (Majure *et al.*, 2019). Este período intermedio corresponde al momento en el que se diversificaron la mayoría de las familias de las angiospermas a causa de las actividades tectónicas, geológicas y climatológicas (Zavala-Hurtado y Jiménez 2020). Además, se ha propuesto que la evolución de los desiertos mexicanos fue motivada por la elevación de montañas y mesetas que desencadenó diferencias de temperatura y exposición a minerales subterráneos (De Nova *et al.*, 2018).

En la actualidad, el género es particular por su gran cobertura vegetativa de hasta un 70% del matorral rosetófilo (bosque de plantas suculentas y generalmente espinosas) (Abd El-Ghani *et al.*, 2018). Esto debido a que estas especies presentan una excelente tolerancia al calor y la salinidad (Pasternak *et al.*, 2001). Todas estas especies se han clasificado como plantas de tallo leñoso y suculento verde, las primeras se hallan en climas secos tropicales a diferencia de las de tallo verde que son encontradas en áreas con alta precipitación (Avila-Lovera y Garcillan, 2021). A continuación, se describe la distribución de cada una de las especies y sus características particulares:

*F. burragei*: El “ocotillo Peninsular” es la única especie de su género endémico de la península de Baja California (**Figura 1**) (Johansen, 1936, De Nova *et al.*, 2018; Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Puede soportar temperaturas elevadas, pero no aquellas que estén por debajo de los 0°C, lo que la hace una especie restringida a las costas de la región (Gorelik, 2008). Se le puede asociar con árboles como *Prosopis articulata*, y arbustos como *Acacia pacensi*, *Atamisquea emarginata* y *Larrea tridentata* (De la luz *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Distribución del género *Fouquieria*  
**Figure 1.** Distribution of the genus *Fouquieria*

*F. columnaris*: Mejor conocido como “cirio”, es una de las especies más representativas del género, sólo por debajo de *F. splendens* (Morton *et al.*, 1997). Prospera en suelos volcánicos profundos de valles y suelos de las colinas rocosas donde las precipitaciones son aproximadamente 120 mm al año y las temperaturas rara vez caen por debajo de 35°C (Bashan *et al.*, 2007). Al igual que *F. burragei* esta planta se extiende con mayor frecuencia entre los Estados Unidos, al sur de California, norte de Nevada, sur de Arizona y Nuevo México, así como al suroeste de Texas, desierto del Vizcaino, el cañón de San Andrés, las llanuras de Magdalena y la región tropical baja de la península de Baja California (**Figura 1**) (Humphrey, 1935; Amundson *et al.*, 1994; De Nova *et al.*, 2018; Abd El-Ghani *et al.*, 2018). Además, es comúnmente visto en colinas de granito que se extienden hasta la orilla de los

cuerpos de agua de las zonas descritas anteriormente, o en las laderas de éstos formando un "bosque de cirios" (Humphrey, 1935; Webb y Turner, 2020). Se ha estimado que esta especie tiene límites climatológicos fluctuantes que pocas especies pueden tolerar (Arundel, 2005), como la *Ambrosia dumosa*, *Hymenoclea salsola*, *Larrea tridentata*, *Echinocereus*, *Opuntia*, y *Pachycereus pringlei*, *Acacia*, *Lysiloma*, *Cardiospermum*, *Rhamnus*, entre otras (Axelrod, 1978, Sternburg y Rodriguez, 1982). Además, se ha descubierto que se diversificó de sus especies hermanas en laderas séricas desde hace 9000 años aproximadamente (Scott, 1995). Las condiciones climáticas donde crece sugieren que puede no estar tan amenazada por los cambios climáticos como otras especies endémicas (Webb y Turner, 2020).

***F. diguetii***: El "palo de Adán" es una especie con una distribución relativamente amplia, desde laderas volcánicas rocosas con poco suelo, mesas aluviales rocosas y laderas con arcillas volcánicas rojizas, así como en arcillas y llanuras arcillosas arenosas, arena granítica descompuesta, y playas costeras arenosas (Henrickson, 1972). Es muy común en el desierto de Sonora y Baja California con una población dominante en el bosque tropical caducifolio debajo de La Paz hasta Cabo San Lucas, cerca de Guaymas y en muchas islas en el Golfo de California. Sin embargo, existe mayor relevancia en el estado de Hidalgo, algunas zonas de la Sierra de San Francisco y el Paso del Oeste de Tres Vírgenes en Baja California (**Figura 1**) (Arnaud *et al.*, 2014; Webb y Turner, 2015; Webb y Turner, 2020). Se ha encontrado una relación de crecimiento positiva en estos suelos y con una cobertura vegetal del 40% acompañada de especies como *Stenocereus gummosus*, *Cilindropuntia cholla*, *Jatropha cinerea*, *Bursera microphylla*, *Colubrina viridis*, *Lysiloma candida*, *Adelia virgata* y *Cordia brevispicata* (De la luz *et al.*, 2000; Álvarez-Castañeda *et al.*, 2006; Venegas Barrera *et al.*, 2008).

***F. fasciculata***: El "árbol del Barril" es una planta rara y escasa, considerada como vulnerable a la extinción, la cual se extiende de manera estrecha y restringida en pocos sitios del desierto peninsular de Baja California (Henrickson, 1972), así como en los cañones o barrancas del Río Moctezuma, y al oeste de la Sierra Madre Oriental. Cabe destacar, que se ha encontrado comúnmente en el estado de Querétaro e Hidalgo, al norte de Actopan y Atotonilco El Grande (**Figura 1**) (De Nova *et al.*, 2018).

***F. formosa***: El "cascabelillo" es una especie que tiene una distribución relativamente amplia y restringida a bosques caducifolios tropicales, y semidesértica con laderas y valles aluviales rocosos y en suelos lateríticos a calcáreos desde la región del Lago de Chapala de Jalisco hasta el sureste de Oaxaca, Hidalgo, Guadalajara y Puebla (**Figura 1**) (Henrickson, 1972; De Nova *et al.*, 2018; Pérez-Negón y Casas, 2007). Esta especie se encuentra asociada a plantas como *Mimosa luisana*, *Agave karwinskii*, *Agave marmorata*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Verbesina neotenorensis*, *Escontria chiotilla*, *Pachycereus weberi*, *Neobuxbaumia*, *Cephalocereus*, entre otras (Avenidaño *et al.*, 2006; López-Jiménez *et al.*, 2019).

***F. leonilae***: Esta especie coloquialmente denominada como "ocotillo de Guerrero" se conoció por primera vez en dicho estado mexicano, en laderas rocosas sobre afloramientos de un suelo blanquecino de yeso o calcáreo (Henrickson, 1972). Tiene una distribución relativamente estrecha y restringida en algunas zonas semidesérticas del suroeste mexicano como en los estados de Guerrero, Morelos y algunas partes de Puebla (De Nova *et al.*, 2018).

***F. macdougalii***: El “jaboncillo” es característico de la zona de matorrales espinosos y pastos jóvenes, desde el desierto Sonorense hasta el bosque tropical caducifolio a lo largo de la Sierra Madre Occidental y el bosque espinoso del centro-sur de Sinaloa, especialmente en sus arroyos, llanos rocosos aluviales y laderas sobre suelos graníticos, arcillosos y lechos de lava abiertos, así como en playas arenosas costeras (**Figura 1**) (Búrquez *et al.*, 2010; Tinoco-Ojanguren *et al.*, 2013; De Nova *et al.*, 2018). Está limitado por la susceptibilidad a heladas, por lo que comúnmente se encuentra en laderas orientadas al sur. Cabe destacar que existen diferencias morfológicas clave dependiendo de la zona de crecimiento, por ejemplo, las poblaciones de la costa de Sinaloa tienen inflorescencias más cortas en comparación con regiones áridas del mismo estado (Henrickson, 1972). Está asociada con otros árboles como *Olneya tesota* y arbustos como *Jatropha cardiophylla*, *Mimosa laxiflora*, *Lycium berlandieri*, entre otros (Hinojos-Hinojos *et al.*, 2019).

***F. ochoterena***: El “rabo de Iguana” es considerado una especie con una distribución relativamente estrecha y restringida a zonas semidesérticas del suroeste mexicano, especialmente en los estados de Guerrero, Morelos y algunas partes de Puebla donde se encuentra en la vegetación de matorrales tropicales áridos caducifolios (Henrickson, 1972; De Nova *et al.*, 2018).

***F. purpusii***: Esta especie tiene una distribución estrecha y restringida a vegetación de matorral árido tropical en afloramientos rocosos expuestos de piedra caliza, y laderas basálticas abiertas como el desierto de Tehuacán-Cuicatlán (de ahí su nombre común “ocotillo de Tehuacán”). También es posible encontrarle en algunas localidades del sur de Puebla y el norte de Oaxaca (**Figura 1**) (Henrickson, 1972). Actualmente, según la NOM-059-SEMARNAT-2010, en México es considerada una especie en peligro de extinción (De Nova *et al.*, 2018; Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020).

***F. shrevei***: El “ocotillo de Mapimí” es una planta gipsófila (concentraciones altas de sulfato de calcio) que tiene una distribución particular en el centro y sureste de Coahuila y Chihuahua, en sus valles y cordilleras del oeste y alrededor de Cuatro Ciénegas (**Figura 1**) (De Nova *et al.*, 2018; Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Los arbustos gipsófilos de estos desiertos muestran una distribución irregular que es separada por diferentes distancias. No obstante, *F. shrevei* produce semillas secas que son dispersadas por el viento, lo cual le ha permitido diseminarse con éxito (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020).

***F. splendens***: El “ocotillo”, “albarda”, “tacote” o “cardo Santo” es una de las plantas más interesantes y llamativas de la flora del desierto de los Estados Unidos de América y de México (Johansen, 1936; Baskin y Baskin, 2014; Aguirre-Ligouri, *et al.*, 2014). Las plántulas de Ocotillo necesitan relativamente más recursos de suelo que las plantas más grandes, además de condiciones ambientales más específicas como una temperatura de germinación de entre 20 y 25° C, suelos xerófilos de yeso y cierta cantidad de humedad ambiental para sobrevivir los primeros años de vida (Bowers, 2006; Austin, 2014). Estas condiciones exigentes para las plántulas se deben a que sus raíces tienen una profundidad de enraizamiento promedio de 19 cm por metro de altura, lo que refleja una dependencia del agua del suelo (Nobel y Zutta, 2005; Bobich y Huxman 2009). Presenta variaciones morfológicas a lo largo de su área de distribución, por lo que fue dividida en tres subespecies: *F. splendens* subsp. *campanulata*, *F. splendens* subsp. *brevisflora* y *F. splendens* subsp. *splendens*, las cuales crecen en matorrales xerófilos, sobre laderas pedregosas o terrenos planos (Molina-Guerra *et al.*, 2017). La subespecie *campanulata* forma poblaciones extensas a lo largo del borde oriental de la

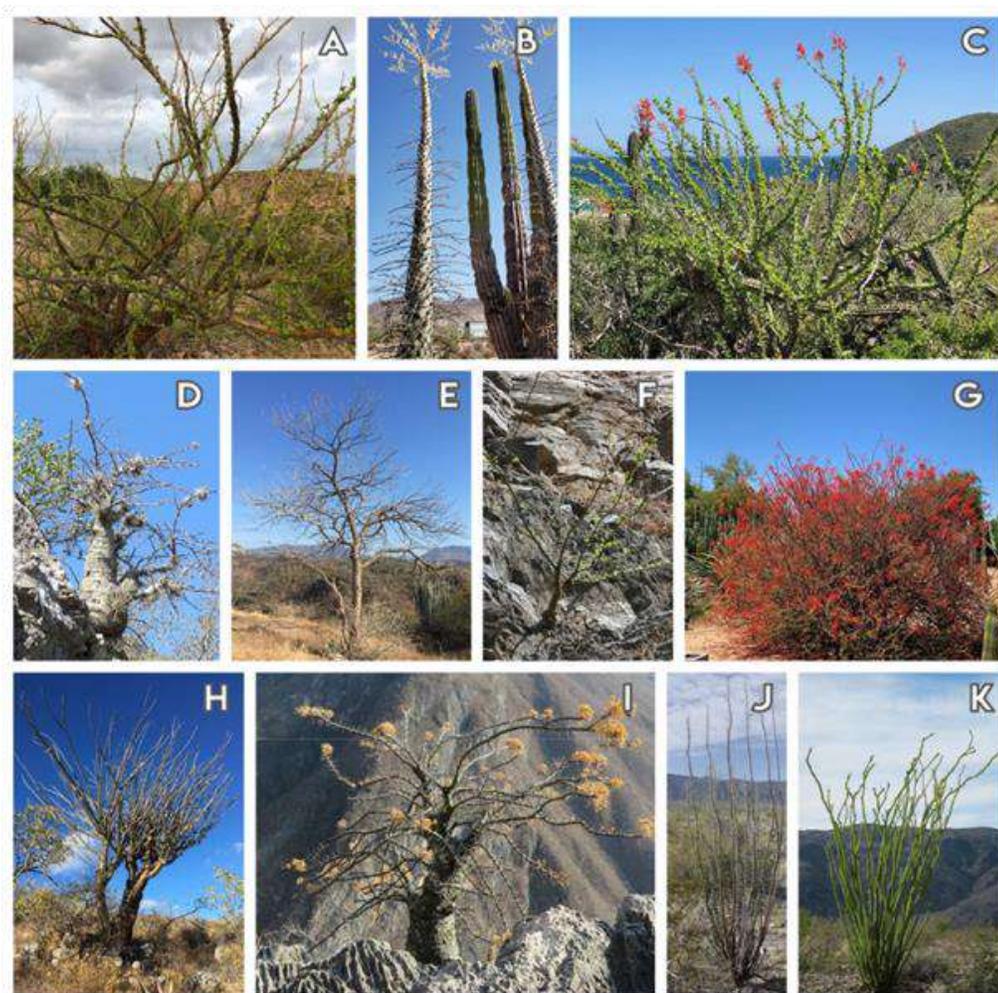
Sierra Madre Occidental al oeste del Desierto de Chihuahua, desde las cercanías de Santiago Papasquiaro hasta la Cuenca del Río Nazas cerca de Rodeo en Durango (Henrickson, 1972; Monreal-García *et al.*, 2019). La subespecie *breviflora* comúnmente se encuentra desde San Luis Potosí y Tamaulipas, así como al sur hasta Hidalgo y Querétaro (Henrickson, 1972). La subespecie *splendens* crece con mayor frecuencia en laderas rocosas o en llanuras, pero también en suelos de textura fina y arena en regiones más áridas (Henrickson, 1972). Se extiende desde el desierto de Sonora en el sur de California, Arizona y al extremo sur de Nevada hasta Baja California y Sonora, así como en el desierto de Chihuahua y los pastizales adyacentes desde Nuevo México, al sur de Texas hasta Zacatecas y el norte de San Luis Potosí (Johansen, 1936; De Nova *et al.*, 2018). A diferencia de sus subespecies hermanas, ésta requiere una profundidad óptima de germinación de 0.5 centímetros (Brown, 1998) y de sombra proporcionada por una planta nodriza o rocas, y acumulación de agua local, por lo que es comúnmente vista cerca de un cuerpo de agua abundante o alta humedad ambiental (Nobel, 2005). Tiene otras ventajas como tolerar las altas temperaturas desérticas y épocas de sequía extensas cuando ya es una planta adulta. Además, las semillas aladas del ocotillo pueden tolerar altas concentraciones de sales y valores de pH de hasta 7.5 siempre y cuando exista una humedad considerable para su germinación (Baskin y Baskin, 2014). Los nativos de las zonas endémicas de estas plantas consideran al ocotillo una “planta mágica” por la capacidad de sobrepasar largas temporadas de sequías y dejar caer sus hojas conforme la humedad del suelo reduce, teniendo una fenología como planta seca y muerta y las recupera en cuestión de días después del aumento de la humedad (Monreal-García *et al.*, 2019). Por otro lado, según Scott (2021) las plantas de ocotillo mueren por 3 razones en condiciones naturales: la primera es la edad del ocotillo, ya que su vida media es de 51 años y cuando se supera dicho valor las plantas se hacen susceptibles a varios factores como la sequía. El segundo punto es la falta de humedad ya que descubrió una tasa de mortalidad elevada en años secos, sin embargo, sigue siendo mucho más resistente que otras plantas endémicas como *Ambrosia dumosa*, *A. deltoidea* y *Larrea tridentata*. El tercer factor es el tamaño y su ubicación ya que se ha visto que pueden ser volcados por los altos vientos ya que presentan raíces poco profundas (Scott, 2021).

### 3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL GÉNERO *Fouquieria*

El género *Fouquieria* incluye especies perennes, xeromórficas y con metabolismo C3 modificado, con una gran variedad de formas ya sea extendidos, sobre el suelo o erectos (**Figura 2**) (Franco-Vizcaino *et al.*, 1990; Soltis *et al.*, 1995; Abd El-Ghani *et al.*, 2018). Todas las especies residen en árboles pequeños y arbustos con tallos espinosos, leñosos y suculentos (Takhtajan, 2009). Estos tallos son hiperdensos y consisten en brotes largos espinosos que llevan brotes cortos axilares con filotaxia distinta. La corteza engrosada contiene almidón y tejido de almacenamiento de agua que le permiten su crecimiento máximo (Schultheis y Baldwin, 1999). Además, presentan sistemas de raíces poco profundas, pero lateralmente extensas. Estas adaptaciones en conjunto les otorgan a las especies habilidades de supervivencia a los climas extremos (Ezcurra y Mellink, 2013). Los tallos y ramas presentan brotes largos con hojas pecioladas simples, pequeñas, enteras, estipuladas, rápidamente desechadas (Henrickson, 1967, Avila-Lovera y Garcillan, 2021).

La producción de brotes y hojas requiere un gran gasto de energía y humedad, y su formación exitosa depende de un suministro adecuado de humedad durante el período de desarrollo. Si la humedad es insuficiente, se puede detener el alargamiento antes o morir por completo. Sin embargo, especies como el ocotillo y el cirio pueden perder sus hojas durante los ciclos de sequía y recuperarlas dentro

de pocos días después de períodos de precipitación, lo que las hace resistentes a las condiciones hidro-estresantes (Humphrey, 1931).



**Figura 2.** Morfología general de las especies del género *Fouquieria*: A) *F. burragei*; B) *F. columnaris*; C) *F. diguetii*; D) *F. fasciculata*; E) *F. formosa*; F) *F. leonilae*; G) *F. macdougalii*; H) *F. ochoterenae*; I) *F. purpusii*; J) *F. shrevei*; K) *F. splendens*.

**Figure 2.** General morphology of the species of the genus *Fouquieria*: A) *F. burragei*; B) *F. columnaris*; C) *F. diguetii*; D) *F. fasciculata*; E) *F. formosa*; F) *F. leonilae*; G) *F. macdougalii*; H) *F. ochoterenae*; I) *F. purpusii*; J) *F. shrevei*; K) *F. splendens*.

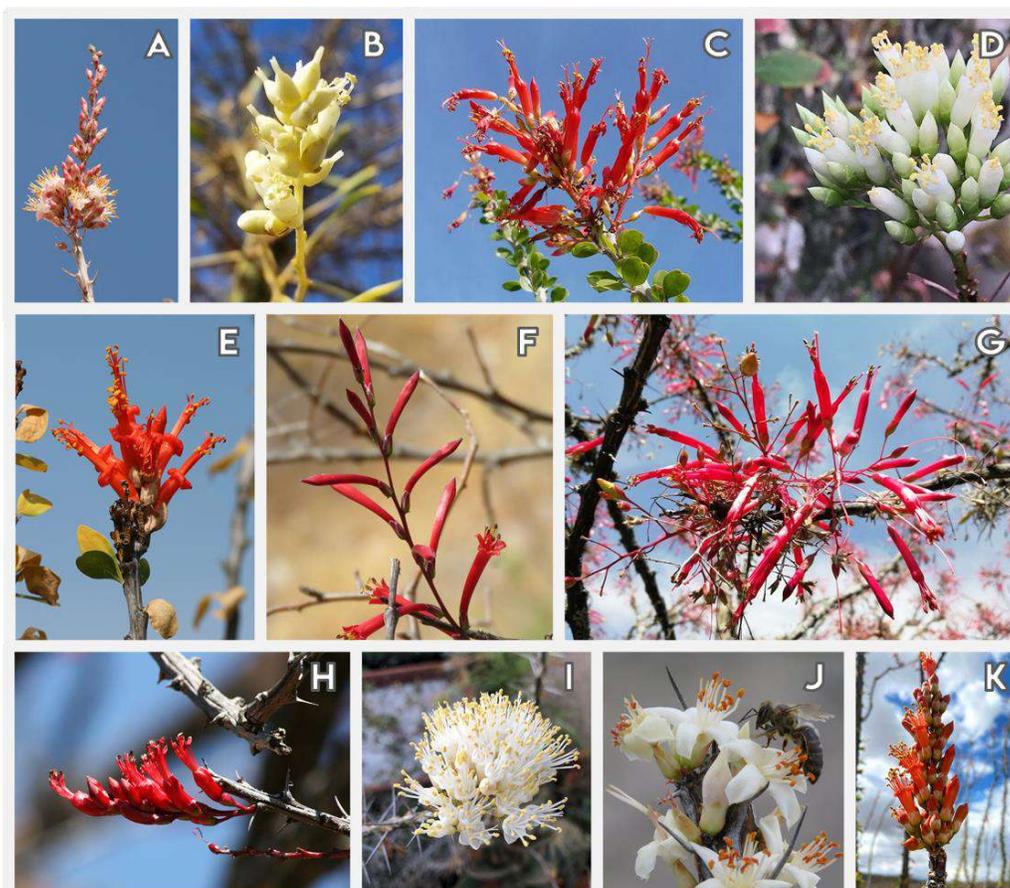
Las hojas de brotes cortos emergen de las yemas axilares adyacentes a las espinas (**Figura 3 izquierda**), las hojas de brotes largos (nuevas) tienen pecíolos largos cuyo pecíolo y nervadura principal se convierte en una espina lignificada, cónica, rígida y puntiaguda de extensión variable (**Figura 3 derecha**).



**Figura 3.** Hojas presentes en *F. splendens* izquierda: hojas de brotes cortos; derecha: hojas de brotes largos.  
**Figure 3.** Leaves present on *F. splendens* left: leaves with short shoots; right: leaves with long shoots.

Como se observa en la **Figura 4**, todas las inflorescencias tienen una estructura paniculada básica con ramas laterales y pedicelos dispuestos que presentan flores bisexuales y actinomorfas tubulares e hipoginas con estambres largos con tonos diversos y cálices formados con 5 sépalos imbricados (Simon, 2001). Estas panículas se caracterizan por un perianto pentámero básico y androceo, y un ovario superior de tres carpelos. Los cinco sépalos persistentes están fuertemente imbricados y dispuestos en una filotaxia espiral (Henrickson, 1972). La corola está conformada de cinco pétalos connatos que forman un tubo cilíndrico ligeramente ensanchado. Estas flores pueden exhibir un número de estambres que varía de entre 10 – 23 con distintos pigmentos (Schönenberg y Grenhagen, 2005). Además, se han logrado establecer las dimensiones del polen que oscila entre 25 a 50  $\mu\text{m}$ , el cual comúnmente es tricolporado con estrías habituales a los márgenes, lo que indica que existe una extensa variación entre la familia (Henrickson, 1972; Takhtajan, 2009). La principal diferencia entre estas inflorescencias parece ser solo la dirección de maduración, el tamaño y el color. Presentan corolas de tamaño y color variable que abarcan del rojo brillante a blanco. Se ha asumido que las flores blancas son polinizadas por insectos, y aquellas que presentan pigmentos rojos son polinizadas por aves como el colibrí (ornitofilia), por insectos como abejas (entomofilia) y por pequeños mamíferos como murciélagos (quiropterofilia) (Davis, 2011; Landis *et al.*, 2018; Scott, 2021). El fruto es una cápsula dehiscente loculicida seca, es parenquimatoso y contiene entre 5 y 18 semillas anchas y aladas que varían de 8 a 20 mm de longitud total. Estas semillas son aplanadas y tienen alas membranosas conspicuas y contienen un embrión pequeño y una capa delgada de endospermo.

El ala de la semilla está formada por tricomas unicelulares derivados de la epidermis del tegumento externo. Por otro lado, se ha descubierto que la mayoría de las especies del género son diploides ( $2n$



**Figura 4.** Inflorescencias del género *Fouquieria*. A) *F. burragei*; B) *F. columnaris*; C) *F. diguetii*; D) *F. fasciculata*; E) *F. formosa*; F) *F. leonilae*; G) *F. macdougallii*; H) *F. ochoterena*; I) *F. purpusii*; J) *F. shrevei*; K) *F. splendens*.

**Figure 4.** Inflorescences of the genus *Fouquieria*. A) *F. burragei*; B) *F. columnaris*; C) *F. diguetii*; D) *F. fasciculata*; E) *F. formosa*; F) *F. leonilae*; G) *F. macdougallii*; H) *F. ochoterena*; I) *F. purpusii*; J) *F. shrevei*; K) *F. splendens*.

= 24), a diferencia de *F. diguetii* que es clasificado como tetraploide ( $2n = 48$ ) y *F. burragei* y *F. columnaris* son hexaploides ( $2n = 72$ ) (De nova *et al.*, 2018). Estas adaptaciones, que han sido mencionadas, les permiten a las especies subsistir en el medio, lo que dificulta comprender sus relaciones filogenéticas a partir de su morfología. En efecto, el género ha sido ubicado dentro de diferentes órdenes, incluyendo Tamaricales y Ebenales, lo cual, con el tiempo ha sido confirmado como erróneo (Cyrus, 1990; Kuila y Sharma, 2018). En la actualidad existen estrechas relaciones filogenéticas entre su familia hermana Polemoniaceae, esto por su gran similitud morfológica (floral) (Johnson *et al.*, 2008, Kuila Sharma, 2018) también presenta similitudes en características fitoquímicas, morfológicas y genéticas con los géneros Crassulaceae, Turneraceae, Loasaceae e incluso con Rosaceae (Henrickson, 1967; Alice y Campbell, 2017). A continuación, se describen las diferencias botánicas de cada una de las especies del género *Fouquieria*

***F. burragei*:** Es perteneciente al clado leñoso de la familia Fouquieriaceae. Como se observa en la **Figura 2 A**, comprende arbustos espinosos bajos de 1 a 3 m de altura con aproximadamente de 2 a 5 troncos cortos, retorcidos, ascendentes y altamente ramificados que pueden medir hasta 5 cm de diámetro. Estos troncos presentan ramas jóvenes de 3 a 4 mm de diámetro que regularmente se

encuentran surcadas. Presentan ramas que en su mayoría están divididas y extendidas horizontalmente con una corteza amarillenta o naranja con cicatrices grises y espinas delgadas en forma de agujas de 10 a 25 mm de largo, delgadas y ascendentes. Presenta un período de floración sólo en temporadas de lluvia peninsular (julio y marzo), lo que también permite la generación de hojas y brotes que son frecuentemente consumidos por la fauna silvestre de la zona (Johansen, 1936; Gorelick, 2008). Producen hojas y quizás flores una vez cada uno o dos años, estas hojas son de aproximadamente de 10 a 18 mm de largo por 3 a 6 mm de ancho, elípticas, agudas en el ápice, cuneadas en la base. Se parecen mucho a *F. diguetii* con la diferencia de que *F. burragei* suelen ser en su mayoría color blanco (**Figura 4 A**) con pétalos exteriores rosas con numerosos estambres (15 a 23) que permiten una polinización efectiva por parte de los colibríes (Martinez, 1945). Los tallos de las flores a menudo aparecen en la base de las infrutescencias del año anterior, por lo que son clasificadas como parcialmente paniculadas. Asimismo, la variación de color en *F. burragei*, no parece tener un origen geográfico preciso, ya que no se han reportado subespecies o variedades (Davis, 2011). Se ha establecido que esta especie surgió como un híbrido entre *F. diguetii* y *F. splendens*, que es la única especie diploide actualmente en la península, además de la posible explicación del color de sus flores (Gorelick, 2011).

*F. columnaris*: Antes perteneciente al género *Idria* (Bashan et al., 2007) y actualmente perteneciente al clado suculento temprano de la familia Fouquieriaceae. Las plantas maduras miden comúnmente 14 m y pueden consistir en un solo tronco central ramificado con varias bifurcaciones (**Figura 2 B**). Como se mencionó anteriormente, todas las especies son consideradas plantas C3 modificadas, esto porque en condiciones secas, el agua almacenada está protegida de la demanda evaporativa por su corteza (Franco-Vizcaino et al., 1990; Franco-Vizcaino, 1994) y su fuerte control sobre las estomas (Gartner, 1995). Es debido a esto que, durante las sequías, la turgencia disminuye y los troncos centrales o laterales pueden colapsar y doblarse hacia abajo. Por otro lado, se ha discutido que el Cirio, ha evolucionado para almacenar agua como si fuese un cactus (a pesar de que no es un cactus verdadero), pero cuando la humedad relativa es óptima, pueden producir hojas verdes abundantes y desplazar su metabolismo como las plantas de hoja normal (planta C3) facilitando almacenar la mayor parte del CO<sub>2</sub> respiratorio durante este período, permitiéndole sobrevivir por varios meses en condiciones ambientales extremas (Mc Auliffe 1991; Escoto-Rodríguez y Bullock, 2002). Presenta un tronco central cónico, ahusado y suculento que le permite la reserva de agua. De acuerdo con su morfología, este tronco es grueso, de color verde amarillento y de apariencia casi prehistórica (Humphrey, 1935). Comúnmente presentan un diámetro basal de 30 a 60 cm y una altura de 8 a 12 m (Bullock et al., 2005) los cuales, en su mayoría suelen ser erectos, dividiéndose muy a menudo en 2 tallos con pequeñas ramas espinosas a lo largo de éste. Conforme pasan los años de crecimiento, las ramas inferiores desaparecen dejando únicamente las superiores, dándole una forma como de cirio encendido cuando entra en estado de floración (Humphrey, 1935). Este tronco está compuesto por una capa fina y continua de corcho, una corteza bastante gruesa, floema, un xilema ancho, mayoritariamente parenquimatoso, además de una cantidad relativamente pequeña de médula. Esta corteza está constituida de una vaina externa de grupos de células empaquetadas y una región parenquimatosa delgada que permite el intercambio de gases y el almacenamiento de agua (Nedoff et al., 1985). Aproximadamente el 50% de la luz incidente es transmitida a través de esta corteza translúcida, permitiéndole activar los procesos fotosintéticos sin la necesidad de hojas, sin embargo, en épocas de follaje, la asimilación exógena de CO<sub>2</sub> en *F. columnaris* no ocurre en el tallo, sino más bien en las hojas (Franco-Vizcaino et al., 1990). Este ciclo puede repetirse siete u ocho veces durante el transcurso de un solo año y dependerá de las condiciones climatológicas de la zona (Humphrey,

1931). Las hojas son elípticas u obovadas y ligeramente puntiagudas en el ápice, se desprenden cuando las condiciones son secas, sin embargo, en temporadas húmedas, las hojas secundarias surgen en las axilas de las espinas, las cuales son abundantes y se forman en el tronco; éstas se proyectan desde el tallo en un ángulo de aproximadamente 90° y presentan una longitud de 2 a 4 cm. Esta especie crece muy lentamente (4-6 cm al año) y puede tardar hasta 50 años desde la germinación para producir sus primeras flores, las cuales están distribuidas en una inflorescencia alargada, producidas en el tallo superior del crecimiento del año en curso, o raramente de brotes a lo largo de todo el tronco. Como se observa en la **Figura 4 B**, presenta sépalos de color amarillo crema que pueden medir de 3 a 5 mm de largo por 3 a 7 mm de ancho y con regularidad presentan de 10 a 12 estambres de 9 a 12 mm de largo (Bashan *et al.*, 2007; Bullock y Heath 2006; López *at al.*, 2016). Es bien sabido que la interacción de plantas con microorganismos es una adaptación importante para la supervivencia en áreas desérticas (Gutierrez-Ruacho *et al.*, 2018). En esta especie, se ha demostrado una simbiosis planta-hongo en las raíces que conforman especies fúngicas como *Glomus etunicatum*, *G. mosseae*, *G. intraradices* y *G. macrocarpum* (Bashan *et al.*, 2007), acompañadas con algunas actinobacterias y hongos filamentosos como *Aspergillus* y *Penicillium* (frecuencias del 48% y 28% respectivamente) (Gutierrez-Ruacho *et al.*, 2018).

**F. diguetii**: Es una especie perteneciente al clado leñoso parecido a *F. burragei* con la diferencia de que éste presenta arbustos y árboles pequeños de 1 a 4 m de altura, con regularidad entre 1 y 5 tallos basales de hasta 2 m de altura y hasta 3 cm de diámetro con abundantes tallos secundarios ascendentes, torcidos, moderadamente ramificados y con numerosos tallos jóvenes divergentes en la parte superior (**Figura 2 C**). Éstos están caracterizados, una gran cantidad de tallos con espinas de entre 5 y 25 mm en forma de agujas y hojas enteras, ovadas, agudas a redondeadas, ocasionalmente puntiagudo en el ápice, cuneadas, rara vez redondeadas en la base, pecioladas y glabras de aproximadamente 3 cm de largo dispuestas en fascículos de hojas múltiples y simples con alto contenido de agua, alto volumen foliar y bajo peso seco (Henrickson 1972; Schultheis y Baldwin, 1999). Presenta una rápida respuesta a la humedad, y es por eso por lo que sus hojas se observan únicamente durante al menos 5 meses del año (Arriaga y Maya, 2007). Muestra un patrón de estructuras vegetativas cuando hay agua disponible, y de floración cuando no lo está por motivos de supervivencia (Arriaga y Maya, 2007). La floración predomina en el invierno, pero algunas flores pueden producirse durante todo el año. Exhibe panículas de flores rojas con corolas tubulares (**Figura 4 C**) (Arriaga y Maya, 2007; Hong y Sullivan 2013). Está estrechamente relacionado con *F. macdougalii* ya que presenta inflorescencias con características muy parecidas, a pesar de ello, tiene pedúnculos y pedicelos más gruesos. Se han observado visitas de colibríes a las flores cilíndricas rojas ascendentes, y estos animales aparentemente son los principales polinizadores (Arriaga y Maya, 2007). Con respecto a la cantidad de nutrientes, se informa que esta especie presenta un 16.04% en un período invernal, el cual es una fuente de energía principal para la fauna local (Guerrero-Cardenas, 2018). Por otro lado, se ha determinado que la descomposición de hojas de esta especie es principalmente por termitas y hongos del suelo, sólo en ciclos de forraje y de micro artrópodos en períodos secos (Arriaga y Maya, 2007; Hong y Sullivan, 2013).

**F. fasciculata**: Perteneciente al clado suculento temprano; son arbustos o árboles bajos, parecidos en la juventud con *F. columnaris*, con la diferencia de que éstos sólo pueden medir de 2 a 5 m de alto, con 1 a 3 troncos engrosados en la base, de 25 a 60 cm de diámetro, de color verde lustroso, con la epidermis lisa persistente, corteza externa dura, gris, exfoliante (**Figura 2 D**). Presenta troncos y tallos más grandes de color verde brillante, con epidermis persistente, lisos excepto por las cuñas

horizontales de epidermis gris duro que se forman debajo. Estos tallos generan hojas de los brotes cortos en fascículos de 2 a 7, oblanceoladas, agudas en el ápice, cuneadas en la base, con una nervadura central prominente en la parte inferior de entre 16 y 40 mm de largo, por 10 mm de ancho (Henrickson, 1972). Genera espinas con medidas de aproximadamente 20 mm de longitud, las cuales son delgadas, filosas y ascendentes, e inflorescencias paniculadas que se observan en la estación seca de diciembre a marzo de 4 a 9 cm de longitud que presentan flores con sépalos blanco-amarillentos de 3 a 4 mm de largo, por 2.3 a 5 mm de ancho y estambres con aproximadamente 10 unidades que con frecuencia miden entre 7 a 11 mm de longitud (**Figura 4 D**). Las flores tienen una delicada fragancia dulce, y producen un notable néctar endulzado que atrae a colibríes, grandes abejorros y una variedad de insectos que permiten la polinización y la generación de semillas que pueden medir de 7 a 9 mm de largo, por 4 mm de ancho, con alas de hasta 2 mm de ancho (Brown, 1998).

*F. formosa*: Es parte del clado leñoso; son plantas leñosas con troncos basales de 1 a 5 m de altura y tallos moderadamente ramificados en la parte superior (**Figura 2 E**), los cuales en su extremo presentan inflorescencias con corolas escarlatas a rojo anaranjado parecidas a las de *F. splendens* de entre 6 y 9 mm de largo que aparecen de octubre a febrero (**Figura 4 E**); a pesar de ello, puede ocurrir algo de floración durante todo el año (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Se han observado colibríes no identificados visitando las flores tubulares en el sureste de Puebla y en Yautepéc Morelos, y probablemente sean los principales polinizadores. Sin embargo, también puede ocurrir la utilización de flores por aves posadas que permiten la generación de semillas, las cuales pueden medir de entre 10 y 13 mm y son de color amarillo tostado con una membrana parecida al papel (Henrickson, 1972).

*F. leonilae*: Forma parte del clado leñoso constituido especialmente por árboles pequeños, escasamente ramificados con un máximo de 3 m de altura con 1 o 3 troncos de 5 o 6 cm de diámetro que contienen ramas muy delgadas y delicadas de aproximadamente 3 mm de diámetro y muy ligeramente surcadas (**Figura 2 F**). Estas ramas contienen hojas con dimensiones que van desde los 30 a 42 mm de largo por 12 mm de ancho, oblanceoladas, a elípticas o ampliamente elípticas, agudas a redondeadas en el ápice, cuneadas en la base, de las cuales pueden generarse espinas de 5-11 mm de largo, delgadas, ligeramente curvadas (Henrickson, 1972). Incluye inflorescencia racemosa, de entre 5 y 10 mm de largo, con pedicelos cortos y corolas rojo granate oscuro que comúnmente se forman durante la estación seca de diciembre a marzo (**Figura 4 F**). Estas inflorescencias son delicadas, largas y dispersas con flores parecidas a las de *F. diguetii* y *F. macdougalii* de color rojo oscuro comúnmente polinizadas por colibríes generando semillas de color tostado blanquecino de entre 13 y 16 mm de largo por 7 mm de ancho (Henrickson, 1972).

*F. macdougalii*: Es una especie leñosa con árboles extendidos de 2 a 6 m de altura con 1 a 4 troncos basales a máximo 2 m de altura con 30 cm de diámetro (**Figura 2 G**). Presentan tallos divergentes, muy ramificados en la parte superior, a menudo colgantes en las puntas que contienen hojas de brotes largos de 30 a 55 mm de largo, con pecíolos de aproximadamente 20 mm de largo y en ocasiones en forma de corazón y espinas de entre 4 y 35 mm de largo, delgadas y muy puntiagudas (Henrickson, 1972; Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Como se observa en la **Figura 4 G**, incluyen inflorescencias paniculadas que ocasionalmente se ven a finales de verano, junio y octubre que son racemosas de entre 3 y 8 cm de largo, que contienen flores muy largas y en disposición como de fuego artificial con sépalos de color rosa rojizo con aproximadamente 10 estambres y semillas color amarillo bronceado a beige de entre 12 y 15 mm de largo por 5 o 6 mm de ancho (Henrickson, 1972).

*F. ochoterenae*: Clado leñoso; son árboles pequeños de 4 a 8 m de altura con 1 o 2 troncos de 10 a 20 cm de diámetro. Los tallos jóvenes son gruesos, surcados profundamente y tienen espinas robustas que comúnmente son curvadas hacia arriba y muy delgadas (**Figura 2 H**) (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Presentan hojas de brotes cortos en fascículos de 1 a 3 que comúnmente miden de 50 a 60 mm de largo por 22 mm de ancho, las cuales son ampliamente obovadas o elípticas y a menudo puntiagudas en el ápice (Henrickson, 1972). Esta especie está estrechamente relacionada con *F. leonilae* porque también presenta hojas dorsi-ventrales, hábito de árbol pequeño, flores con corolas rojo oscuro y diez estambres. La especie florece en la estación seca de noviembre a abril, produce flores erectas, pero menos cortas, de color rojo granate, en racimos a lo largo de las ramas superiores hasta un diámetro de 2,5 cm (**Figura 4 H**) (Henrickson, 1972). La proximidad de las inflorescencias a los tallos gruesos permite la explotación de las flores por varias aves posadas como palomas, y en algunos casos abejas carpinteras. Produce semillas de entre 3 y 6 por fruto de color bronceado blanquecino que pueden medir de entre 10 y 12 mm de largo por 6 mm de ancho.

*F. purpusii*: Perteneciente al clado suculento temprano con arbustos a árboles muy pequeños que parecen pequeños bonsáis de 1 a 5 m de altura con 1 a 4 troncos cónicos y abultados en la corola y con numerosas ramas delgadas, horizontalmente espinosas y muy parecidos a *F. fasciculata*. Esta especie tiene una forma de crecimiento muy distintiva, caracterizada por uno o más troncos centrales cónicos agrandados de color verde con epidermis persistente, lisa y brillante, que contienen grandes cantidades de parénquima xilemático no lignificado (**Figura 2 I**) (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Los tallos más grandes están marcados con las crestas a menudo masivas, orientadas transversalmente de corcho duro esclerificado que se forma inicialmente debajo de las bases de las hojas y espinas de 17 a 28 mm de largo, delgadas, ascendentes, muy recatas y puntiagudas. Las hojas son muy largas a diferencia de las otras especies que miden de entre 35 y 50 mm de largo, con pecíolos de hasta 30 mm de largo, están estrechamente redondeadas-obtusas a agudas en el ápice y estrechamente cuneadas en la base (Henrickson, 1972). Presentan inflorescencias que comúnmente ocurren durante la estación seca de febrero a abril formando corolas tubulares de color blanco marfil de hasta 13 mm de largo que contienen hasta 10 estambres (**Figura 4 I**). Estas flores erectas tienen un olor dulce delicado, son nectaríferas y lo suficientemente cortas para permitir la explotación del néctar y/o el polen por parte de varios insectos.

*F. shrevei*: Es una especie leñosa que junto con *F. splendens* presenta un hábito de crecimiento en forma de candelabro u "ocotillo", caracterizado por un tronco reducido y rechoncho, suculentos en la base o en toda su extensión, con xilema muy parenquimatoso, epidermis persistente, leñosos en la punta, suculentos y agrandados en la parte inferior (**Figura J**). Presentan ramificación, ya sea terminal o axilar en plantas más viejas (Henrickson, 1972). Sus tallos son fotosintéticos como el cirio y el ocotillo que pueden estar solos o con hojas nuevas. Forma grandes acumulaciones de un peridermo "resinoso" de color bronce oscuro en los tallos más viejos, con hojas caducas de color verde oscuro, coriáceas, enteras, con amplios márgenes escariosos blancos o raramente rojizos, anchas y obovadas (Henrickson, 1972). Genera flores de 3 a 9 cm de largo con flores solitarias o apareadas en los nudos superiores, sésiles o pediceladas y raramente en racimos. Como se observa en la **Figura 4 J**, contiene corolas de color blanco a amarillo crema, que comúnmente aparecen en la primavera de marzo a mayo, cuando las plantas están sin hojas, siendo generalmente polinizadas por insectos, produciendo semillas secas que se dispersan por el viento, se podría promover la dispersión a larga distancia como ocurre en otras especies (Muller *et al.*, 2017; Sánchez del pino *et al.*, 2020).

*F. splendens*: Esta especie es quizás el miembro más conocido de las Fouquieriaceae, y del cual se asignó el nombre de “la familia de la madera de vela”. Se ha determinado que los ocotillos tienen una longevidad media de 51 años por lo que se considera una planta perenne de larga vida (Scott, 2021). Presenta ramas que pueden medir de los 2 m hasta los 10 m de altura, pero a diferencia del Cirio, posee una gran cantidad de ramas que nacen y se desarrollan desde un tronco muy corto en forma de corona (**Figura 2 K**). La formación del corcho ocurre debajo de las espinas que luego provoca su separación generando grietas características de tallo viejos. La corteza es gruesa, en gran parte de parénquima donde se encuentran hebras de almacenamiento de agua parecidas a las del cirio (Kreulen *et al.*, 1989). Forma arbustos con ramas delgadas y espinosas dispuestas en racimos en forma de candelabro perteneciente al clado leñoso (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020). Es una planta dicotiledónea típica (Scott, 1932), que en su adultez tiene forma de candelabro invertido (Bower 2006). Normalmente son plantas con gran cantidad de tallos que pueden ir desde los 6 hasta los 100 tallos erectos y ascendentes, ocasionalmente pendulares y poco ramificados, que pueden tener un máximo de 12 cm de diámetro basal.

A diferencia del cirio, el tallo xeromórfico no suculento del ocotillo permite sobrevivir a condiciones más extremas, esto debido a la corteza y la fotosíntesis del tallo que aparentemente sirve para reciclar el CO<sub>2</sub> respiratorio endógeno (de otras especies) manteniendo así las reservas de energía que son dirigidas para la producción rápida de hojas después de la lluvia (Franco-Vizcaino, 1994; Nedoff, 2013). Se ha monitoreado y concluido que los ocotillos jóvenes experimentan una absorción máxima de CO<sub>2</sub> en primavera, que es cuando el agua del suelo está disponible durante el período más largo (Bobich y Huxman, 2009). Así mismo, cuando es adulto el ocotillo, en épocas secas presenta una fenología muerta (planta seca), pese a ello, la planta no está inactiva, ya que debajo de su corteza gris hay un tejido clorofílico que permite procesos fotosintéticos, los cuales en su mayoría se presentan de manera débil, aunque siempre se puede detectar transpiración y una asimilación del CO<sub>2</sub> para mantener un suministro de hidratos de carbono durante estos largos períodos de sequía (Nedoff, 2013). Los cloroplastos presentes en la corteza verde del ocotillo reciben la luz transmitida a través de las bases de las hojas jóvenes y el corcho en las regiones de los surcos. A medida que se agregan capas de corcho, conforme la edad de la planta, la luz aprovechable disminuye generando ineficiencia en el metabolismo, esto podría explicar la necesidad de generar más tallos fotosintéticos en condiciones más extremas del desierto (Nedoff *et al.*, 1985).

Como se mencionó anteriormente, el ocotillo presenta una corteza verde y cerosa (Wollenweber, 1994), la cual consiste en tejido cortical con alta cantidad de cloroplastos o un felodermo clorenquimatoso producido por un cambium de corcho. Comprensiblemente, el CO<sub>2</sub> llega a este tejido por lenticelas en el corcho, las cuales pueden o no almacenar almidón. Se ha descubierto la presencia de sustancias reductoras que es posible se trate de azúcares necesarias para la producción de hojas y desarrollo fotosintético (Nedoff *et al.*, 1985). Anteriormente se describió que el ocotillo, el ocotillo de Mapimí y el cirio presentan una característica importante ya que pueden perder sus hojas cuando las condiciones ambientales no son favorables. Esta defoliación protege al ocotillo de la pérdida excesiva de agua por transpiración, y le permite mantener un potencial hídrico bastante alto en ausencia de la humedad del suelo disponible (Nedoff *et al.*, 1985). Ahora bien, desde la base de la planta ocurre algo interesante ya que existe una pérdida relativamente rápida de hojas con el objetivo de reducir la herbívora del tallo para acelerar la maduración de la columna (Killingbeck, 2006). Cuando se encuentran en condiciones óptimas se forman hojas de brotes cortos en fascículos de 9 a 15 mm de largo por 4 a 9 mm de ancho, con pecíolos de 2 a 30 mm de largo, de forma amplia a

estrechamente obovadas a espatuladas, agudas, redondeadas a emarginadas en el ápice (**Figura 3**) (Henrickson, 1972). Además, en estas épocas los tallos del ocotillo están bien cubiertos de rosetas de pequeñas hojas que nacen en las axilas de las espinas, pueden medir de 15 a 25 mm de largo, son rectas o curvas, denominadas morfológicamente nervaduras centrales de las hojas primarias. Cuando es joven, tiene el tallo completamente enfundado por las espinas decurrentes, las cuales anteriormente se creía que eran pecíolos modificados, en la actualidad se sabe que éstas sirven para proteger la planta después de la caída de las hojas (Henrickson, 1972).

La producción de flores y frutos en el desierto de Chihuahua ocurre en primavera y en otoño, lo que respalda la importancia de la suculencia de los tallos y el agua almacenada en ellos (Whitford y Duval, 2020). Estas Inflorescencias comúnmente son de contorno ancho a estrecho cónico, ascendente y ocasionalmente pendular con flores de color rojo brillante que aparecen en o cerca del final de las ramas en los meses de abril o mayo (Wollenweber, 1994), raramente se producen flores rosadas cerca de la base, con un margen amplio blanquecino o corolas naranja rojizo fuerte, con menos frecuencia rojo fuerte o rosa amarillento fuerte, con poca frecuencia amarillo pálido. Comúnmente producen entre 14 y 18 estambres. La producción de flores tubulares rojas en primavera coincide con la migración de colibríes hacia el norte a través de áreas desérticas, y se ha confirmado que existe una correlación positiva con la polinización de estas aves (Waser, 1979; Currah, 2018). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las flores de color rojo también pueden ser mayormente polinizadas por los insectos locales como las abejas, moscas o incluso murciélagos (Cross *et al.*, 1966). Además del paso de estos polinizadores, el agua almacenada en los tallos permite que la producción de flores y frutos se desarrolle de manera relativamente constante durante los años más secos, es en estas épocas cuando las hojas se forman y las ramas del ocotillo se alargan hacia arriba y hacia afuera (Killingbeck, 2019).

Presentan semillas de aproximadamente 11 mm que son aladas y color blanco como la mayoría de las especies descritas anteriormente. Las inflorescencias del ocotillo son muy parecidas a las flores de *Halesia tetráptera* (Xiang *et al.*, 1998; Xian y Thomas 2011). No obstante, se ha confirmado que existe una variación en el color característico de las plantas de ocotillo, y es que como se mencionó antes, esta especie presenta 3 subespecies: la primera (*Campanulata*) se divide en dos variedades (*Campanulata* y *Albiflora*) y las subespecies *splendens* y *breviflora* que normalmente son identificadas parcialmente por el color de la flor que puede ser blanca y rosada parecida a *F. burragei*. Dato interesante es que las plantas de ocotillo florecen y dan fruto de manera contante y abundante en cada primavera generando más de 1000 semillas al año (Scott, 2021).

Presentan semillas de aproximadamente 11 mm que son aladas y color blanco como la mayoría de las especies descritas anteriormente. Las inflorescencias del ocotillo son muy parecidas a las flores de *Halesia tetráptera* (Xiang *et al.*, 1998; Xian y Thomas 2011). No obstante, se ha confirmado que existe una variación en el color característico de las plantas de ocotillo, y es que como se mencionó antes, esta especie presenta 3 subespecies: la primera (*Campanulata*) se divide en dos variedades (*Campanulata* y *Albiflora*) y las subespecies *splendens* y *breviflora* que normalmente son identificadas parcialmente por el color de la flor que puede ser blanca y rosada parecida a *F. burragei*. Dato interesante es que las plantas de ocotillo florecen y dan fruto de manera contante y abundante en cada primavera generando más de 1000 semillas al año (Scott, 2021).

***F. splendens* subsp. *breviflora*:** Arbusto bajo con ramas divergentes y ampliamente dispersas, con ramas más arqueadas y hojas generalmente más grandes que las otras subespecies. Presenta inflorescencias en épocas invernales de la zona que generalmente miden de 15 a 18 cm de largo con sépalos amarillos a blancos rosados de 5 a 6 mm de longitud y 4 a 5.5 mm de ancho (**Figura 5**) (Henrickson, 1972; Vivoni et al., 2010).

***F. splendens* subsp. *campanulata* var *campanulata*:** Son plantas de hasta 5 m de altura con 5 a 40 ramas delgadas, erectas o muy extendidas que a menudo son colgantes en plantas más viejas. La subespecie es muy similar a *F. splendens* subsp. *splendens* en forma de crecimiento, pero tiene tallos jóvenes mucho más delgados (3 a 5 mm de diámetro), y los tallos maduros rara vez superan los 5 cm en diámetro basal. Presentan inflorescencias estrechamente cónicas, de 6 a 14 cm de largo con sépalos de color rosa púrpura claro a oscuro en el centro, ligeramente verdoso en la base con márgenes escariosos blanquecinos. Esas flores comúnmente se observan en la primavera de marzo a mayo, mientras que las plantas no tienen hojas (Henrickson, 1972; Lima et al., 2021).



**Figura 5.** Inflorescencias de *F. splendens*. Izquierda; *F. splendens* subsp. *Breviflora*. Derecha; *F. splendens* subsp. *campanulata* var *albiflora*

**Figure 5.** Inflorescences *F. splendens*. Left; *F. splendens* subsp. *Breviflora*. Right; *F. splendens* subsp. *campanulata* var *albiflora*

***F. splendens* subsp. *campanulata* var *albiflora*:** Muy parecida a la variedad *Campanulata* ya que son arbustos de hasta 5 m de altura apomadamente 30 ramas delgadas, erectas o muy extendidas que a menudo son colgantes en plantas más viejas; se destaca que presenta pétalos rojizos en la yema, los cuales se tornan blancos en la madurez (**Figura 5**) (Henrickson, 1972).

#### 4. USOS GENERALES Y ETNOBOTÁNICOS DEL GÉNERO *Fouquieria*

Como se describe en las secciones anteriores, estas plantas tienen la característica de crecer en suelos áridos, e históricamente se han descrito sus usos en las culturas nativas, ya sea como medicina alternativa y/o complementaria o como plantas ceremoniales y de construcción. El uso comestible de las flores del género es dulce y se pueden acompañar en ensaladas por su alto contenido de nutrientes y azúcares, también se han aportado usos de las raíces y los tallos para preparaciones medicinales. Hablando de sus usos nativos y como se describió anteriormente, las especies poseen espinas fuertes por lo que es común que sus ramas y tallos sean utilizados como setos y barreras clavando los extremos de las ramas espinosas en el suelo (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005).

Antiguamente, los hombres durante las largas expediciones anuales de caza empleaban los tallos del ocotillo en la construcción de refugios temporales que les permitían seguridad contra otros cazadores y animales salvajes (Robinson, 1904). Es común su uso para construir cercos vivos en casas o corrales, aprovechando su excelente capacidad de regeneración por estacas; también se usa en la construcción de casas rústicas y chozas. Las ramas secas se utilizan como leña, ya que hacen un buen combustible por su alto contenido de resinas. Por otro lado, el cirio se ha sometido a la extracción para maderas útiles y decorativas por ser considerado una planta ornamental por sus hermosas flores (Bullock *et al.*, 2005). Comúnmente el ocotillo se emplea para hacer infusiones o cataplasmas usando los tallos con una gran variedad de propósitos con énfasis en el tratamiento de enfermedades. Se ha demostrado que las generaciones prehistóricas consumían plantas de este género como medicina alternativa o en rituales, ya que mediante un análisis de secuencias de DNA de coprolitos se identificó la presencia de genes pertenecientes al género *Fouquieria* en dichos fósiles (Reinhard *et al.*, 2008). Esto se ha confirmado ya que en la actualidad la gente local utiliza los preparados vegetales del ocotillo para aliviar el cansancio y la fatiga, algunos otros datos históricos mencionan que los indios Apache se bañaban en una decocción de las raíces del ocotillo y ponían sus polvos sobre inflamaciones dolorosas. Además, los nativos creaban vendajes para cinturones a base de la cera que recubre los tallos (Krochmal *et al.*, 1954), y para desmanchar ropa utilizaban macerados de *F. burragei*, especialmente en prendas de lana (Martínez, 1945). En la actualidad, se sabe que los tallos frescos de *F. splendens* son utilizados en la medicina tradicional mexicana como remedio para mejorar la circulación pélvica, congestión, hinchazón abdominal, hemorroides, hiperplasia de la próstata, entre otros; la dosis habitual de tintura empleada varía desde los 3 a 5 ml tres veces al día, o dosis más pequeñas cuando se combina con otras hierbas en las fórmulas (**Tabla 2**) (Romm *et al.*, 2010).

Así mismo, sus aplicaciones se asocian a la asimilación de grasas, regulación en el metabolismo de la glucosa, alivio de la tos, venas varicosas, infecciones urinarias, y el dolor premenstrual y uterino (Moore, 1989; Vega *et al.*, 2013). En algunos lugares el tallo de *F. splendens* subsp. *breviflora* se emplea como infusión para la tos (Henrickson 1972). Ahora bien, un dato muy interesante es el que se refiere a la determinación de que el uso de los tallos de *F. fasciculata* ayudan a eliminar tumores benignos (Graham *et al.*, 2000). Algunos autores sugieren que el ocotillo es capaz de prevenir y tratar enfermedades crónicas, como la colitis ulcerosa, la enfermedad de Crohn, la enfermedad de Alzheimer, la diabetes, los trastornos hepáticos y el cáncer (Monreal-García *et al.*, 2019; Derosa, 2016). Se ha logrado concluir que el extracto, usando como solventes hexano y metanol del tallo y la raíz de ocotillo, tienen una actividad biológica contra el crecimiento de *S. littoralis*, además se ha observado que los extractos de raíz y tallo del ocotillo inhiben el crecimiento de *M. persicae* y *R. padi* (Pérez-leal *et al.*, 2020), y generan una actividad fitotóxica contra *L. sativa* y *L. perenne*, así como actividad herbicida contra el pulgón del durazno *M. persicae* (Pérez-leal *et al.*, 2020).

En contraste con lo anterior, se ha determinado que los extractos de *F. splendens* presentan una actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos contra *B. cereus*, *B. subtilis*, *E. coli* y *S. aureus* por métodos de difusión en disco, mostrando un halo de inhibición de 11 a 15 mm a una concentración de 250 - 1000 µg / ml, ya sea de aislados clínicos o cepas de referencia (Menchaca, 2013).

También se ha demostrado una actividad antimicrobiana contra los hongos *M. gypseum*, *M. nanum*, *M. cookie* y *M. canis* a una concentración de 125 mg/ mL y antiparasitaria contra trofozoítos de *E. histolytica* a una concentración de 0.25 mg/ mL (Vega *et al.*, 2013; Morales-Rubio *et al.*, 2016).

**Tabla 2** Actividad biológica de las especies del género *Fouquieria*  
**Table 2** Biological activity of the species of the genus *Fouquieria*

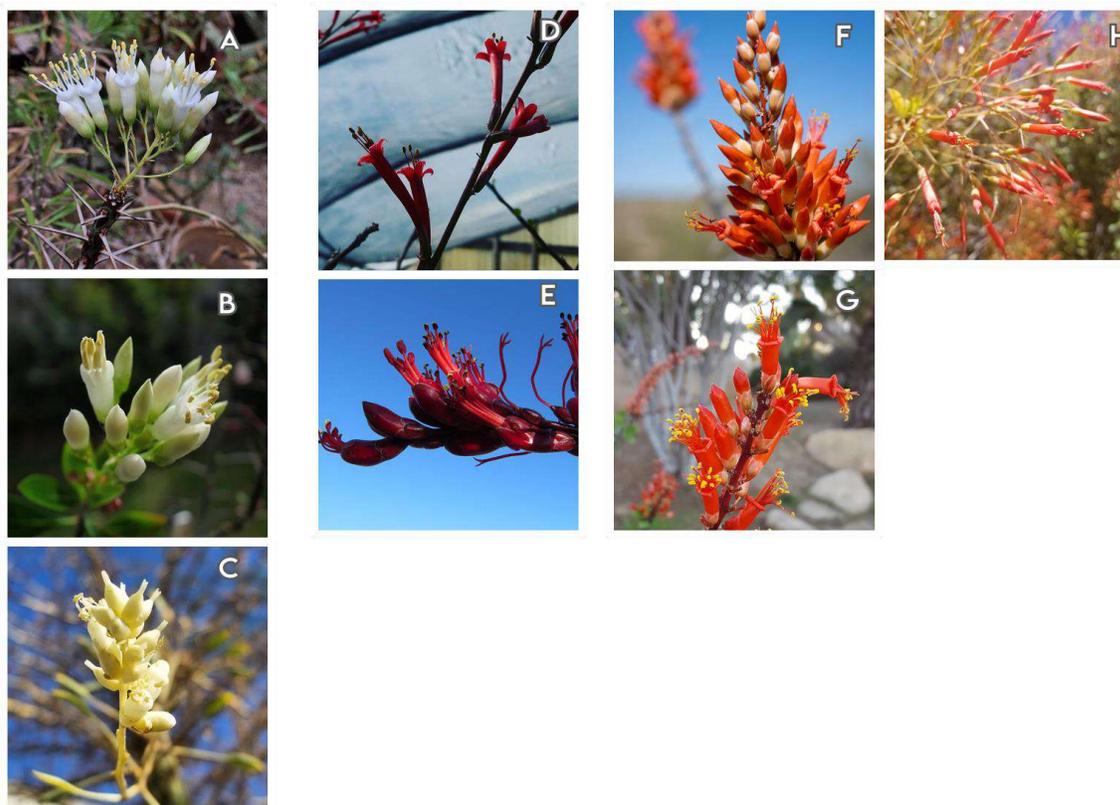
Actividad	Especie	Órgano de la planta	Modelo	Dosis	Efecto	Cita
Fitotóxica	<i>F. splendens</i>	Tallo	Bioensayo de toxicidad de extractos en la germinación de <i>L. sativa</i> y <i>L. perenne</i>	10 mg / ml Extracto metanólico	Fitotóxico	(Pérez-Leal et al., 2020)
Insecticida	<i>F. splendens</i>	Tallo	Bioensayo contra el pulgón del durazno <i>M. Persicae</i>	10 mg / ml Extracto metanólico	Insecticida 53.53% de respuesta	(Pérez-Leal et al., 2020)
Antiparasitaria	<i>F. splendens</i>	Tallo	bioensayo contra <i>E. histolytica</i>	0.25 mg / mL Extracto metanólico	Inhibición parasitaria	(Vega et al. 2013; Morales-Rubio et al., 2016)
Antibacteriana	<i>F. burragei</i>	Corteza	Actividad antimicrobiana contra <i>Mycobacterium</i>	Material vegetal EtOH 1:3	Inhibición del crecimiento	(Nickell 1959; Menchaca 2013)
	<i>F. diguetii</i>	Corteza	Actividad antimicrobiana contra <i>S. aureus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>S. faecalis</i> , <i>E. coli</i> y <i>C. albicans</i>	250 - 1000 µg / ml (macerado)		
Antimicótica	<i>F. splendens</i>	Tallo	Actividad antimicrobiana del extracto metanólico	125 mg/ mL	<i>M. gypseum</i> , <i>M. nanum</i> , <i>M. Cookie</i> y <i>M. canis</i>	(Vega et al. 2013; Morales-Rubio et al., 2016)
Fitoremediadora	<i>F. splendens</i> y <i>F. fasciculata</i>	Cultivo vegetal	Exposición de fenantreno a cultivos celulares a 36° C y en agitación continúa.	1mg/L, 5mg/L y 10mg/L de fenantreno	Remoción de entre 40% y 90% sin daño celular.	(Herrera-García et al., 2008).
DL50	<i>F. splendens</i>	Tallo	extractos metanolicos	DL50 > 1000 mg/mL	Los extractos son inocuos por debajo de esta concentración	(Vega et al., 2013)

Se han identificado moléculas antisépticas de naturaleza terpenoide de tipo Ocotillo provenientes de las plantas de ocotillo y se determinó que éstas tienen la capacidad de mejorar la susceptibilidad de algunos antibióticos, mostrando fuertes efectos contra bacterias como *S. aureus*, *B. subtilis* e incluso *P. aeruginosa* ya que estas moléculas pueden ejercer su efecto antibacteriano al dañar las membranas de las células bacterianas (Zhang et al., 2020; Zhou et al., 2013). En contraste, se ha determinado la concentración letal media de los extractos obtenidos por maceración usando metanol como solvente, mediante el ensayo de letalidad de *Artemia salina* mostrando una dosis letal media > 1000 mg/mL (DL50), demostrando que los extractos metanólicos son inocuos por debajo de esta concentración (Vega et al., 2013). Dicho parámetro es de suma importancia ya que nos permiten conocer el rango de eficiencia de una sustancia con respecto a su toxicidad y hacer comparaciones con su actividad biológica y sus concentraciones máximas con las que se pueden correr ensayos. Además de dar una perspectiva de que tanto se puede suministrar de dicha sustancia ya sea compleja o simple. Esta información evidencia la necesidad de investigar sobre la abundancia, diversidad y efectos toxicológicos de metabolitos secundarios provenientes de *F. splendens* que permitan que éste sea considerado como una alternativa biotecnológica.

## 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y SU RELACIÓN CON LAS ACTIVIDADES BIOLÓGICAS

La mayoría de las especies de origen vegetal tienen algún tipo de análisis químico. Sin embargo, siguen siendo una limitación para el análisis de los componentes bioactivos y sus aplicaciones (Pérez-Leal et al., 2020). Desde el punto de vista metódico, los constituyentes más característicos del género *Fouquieria* corresponden a la leucocianidina, el kaempferol, quercetina, ácido p-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido elágico, la cumarina y la escopoletina (Bate Smith, 1964). La variación química del contenido fenólico entre las plantas puede representar mecanismos de adaptación para sobrevivir en condiciones ambientales variables. Estos compuestos juegan un papel importante en las plantas, como protectores contra la radiación solar UV, patógenos y herbívoros que pueden ser considerados como relevantes debido a las condiciones ambientales donde se encuentra el género (Monreal-García et al., 2019).

Como se menciona anteriormente *F. splendens* se puede dividir en 3 subespecies morfológicamente diferenciada por el color de sus flores (**Figura 5**), esto debido a que las subespecies expresan diferentes polifenoles (flavonoides y taninos). El contenido de taninos condensados (proantocianidinas) en todas las subespecies del ocotillo les permiten resistencia a condiciones ambientales duras como salinidad, altas temperaturas y déficit hídrico (Monreal-García et al., 2019). Los constituyentes fenólicos de las hojas tienen un perfil muy cauteloso en las Fouquieriaceae ya que se han identificado compuestos como el ácido elágico, isoquercitrina (quercetina 3-glucósido), rutina y ácido cafeico en las 11 especies del género, pero en especial en *F. splendens*. Se ha informado que el ácido elágico es un agente potencial para tratar ciertas enfermedades crónicas, como colitis ulcerosa, enfermedad de Cronh, enfermedad de Alzheimer, diabetes, trastornos hepáticos y cáncer; lo que puede convertirle en uno de los responsables de dar actividades biológicas importantes en estas especies. Este compuesto se acumula como glucósido o como parte de los elagitaninos, en frutas, verduras, frutos secos y vino. En cuanto a los pigmentos de las flores del género, los antocianos tienen un papel más relevante que los carotenoides, ya que éstos se acumulan en concentraciones (Scogin, 1977). Con base en lo anterior y como se muestra en la **Figura 6**, ha sido útil para clasificar a las especies en cuatro grupos importantes: 1) aquellos en los cuales no se han determinado antocianos florales como lo son *F. purpusii*, *F. fasciculata* y *F. columnaris*; 2) aquellos que presentan la



**Figura 6.** Clasificación de las inflorescencias del género *Fouquieria* con respecto a sus antocianos: A) *F. purpusii*; B) *F. fasciculata*; C) *F. columnaris*; D) *F. leonilae*; E) *F. ochoterenae*; F) *F. splendens*; G) *F. diguetii*; H) *F. macdougalii*  
**Figure 6.** Classification of the inflorescences of the genus *Fouquieria* with respect to their anthocyanins: A) *F. purpusii*; B) *F. fasciculata*; C) *F. columnaris*; D) *F. leonilae*; E) *F. ochoterenae*; F) *F. splendens*; G) *F. diguetii*; H) *F. macdougalii*

cianidina-3-glucósido y la delfinidina-3-glucósido en el tejido floral como lo son *F. leonilae* y *F. ochoterenae*; 3) formada por *F. splendens*, *F. diguetii* y *F. macdougalii* que presentan en sus flores la cianidina-3-glucósido y pelargonidin-3-glucósido; 4) consiste en *F. formosa* que presenta dos glucósidos de pelargonidina (Monreal-García *et al.*, 2019; Scogin, 1978). Respecto a la clasificación anterior, y como se ha informado en las secciones anteriores, se sabe que *F. shrevei* presenta flores color rosado con el centro blanco que van decolorándose conforme madura, esto es probable que se deba a la posible pérdida de la capacidad de producir antocianos cuando se diferenció del ancestro en común con *F. splendens* (Scogin, 1978).

Por otro lado, se ha reportado que *F. leonilae* y *F. ochoterenae* conservan caracteres morfológicos y fitoquímicos primitivos como la presencia del anillo B trihidroxilado de sus antocianos florales, el cual es consistente en plantas leñosas del desierto. Resultados actuales revelaron que las flores de *F. splendens* junto con *F. diguetii*, *F. macdougalii* y *F. burragei* están angostamente relacionados, son una fuente importante de antocianos, y pueden mejorar la ingesta de glucosa en las células del músculo esquelético humano y animal con una biodisponibilidad mayor de lo que se suponía (Monreal-García *et al.*, 2019). Otro tipo de polifenoles de importancia son los flavonoides agliconas ya que son excretados y acumulados externamente en la superficie de las hojas y del tallo por miembros de

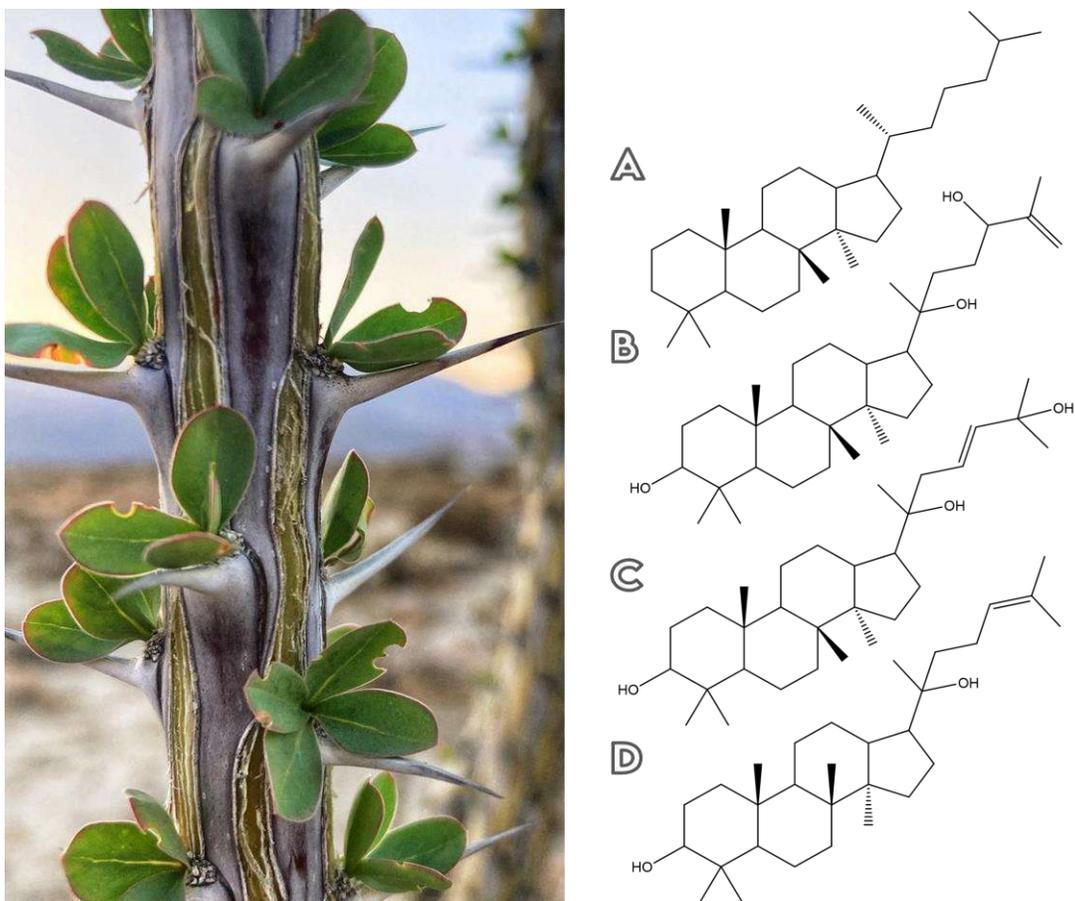
muchas familias de angiospermas (Wollenweber, 1994). Estos flavonoides son el grupo de compuestos fenólicos más conocido y se encuentran en prácticamente todas las partes de las plantas, y su ingesta humana está relacionada con los beneficios para la salud. Dentro de la composición del ocotillo se descubrió que tanto los tallos como las hojas producían soluciones amarillas producto de varios flavonoides como el kaempferol, la ermanina y cetina, además las flavonas apigenina, la acetina, luteolina y el crisoeriol. Entre estos, la apigenina y la ermanina, rutina y quercetina-3-O-glucósido fueron los principales compuestos fenólicos en las hojas (Wollenweber, 1994; Monreal-García et al., 2019).

Dejando de lado los compuestos polifenólicos, también se han encontrado triterpenos, triterpenoides, saponinas esteroideas y compuestos iridoides (Takhtajan, 2009), y dentro de las flores los fitoesteroles y alcanos de cadena larga y corta; y en el tallo compuestos como el Dammaran-triterpeno, el fouquierol y el isofouquierol, así como el dammarendiol en las raíces (**Figura 7**) (Hegnauer, 1989; Waterman 1985). Además de los compuestos mencionados, se aislaron el ácido adoxosídico, loganina y 6 $\beta$ -hidroxiloganina de *F. columnaris* (Purushothaman et al. 1985) y el 6 $\beta$ -hidroxisplendosido y 7 $\beta$ -hidroxisplendosido, asperulosido, el fouquierol y el isofouquierol de *F. splendens* y *F. diguetii*. Esta última especie también contenía epoxisplendosido y 3 monoacetatos y el 10-benzoyl galiosido (Plouvier y Favre-Bonvin, 1971; Pant, 1979; Damtoft et al., 1993; Hegnauer 1989; Reinhad et al., 2008).

Por otro lado, en el ocotillo se ha aislado el Pyxinol y el Ocotillol (**Figura 8**), el último es una saponina triterpenoides el cual presenta actividades interesantes como la inhibición del crecimiento de bacterias Gram-positivas y negativas con bajas tasas de toxicidad (Bi Y. et al., 2017; Pokhilo y Uvarova, 1988), además de presentar sinergismo a una concentración inhibitoria por debajo del mínimo (2-16  $\mu\text{g} / \text{mL}$ ) cuando se usa con kanamicina y cloranfenicol e inducir la liberación de óxido nítrico en la membrana bacteriana (Bi Y., 2015).

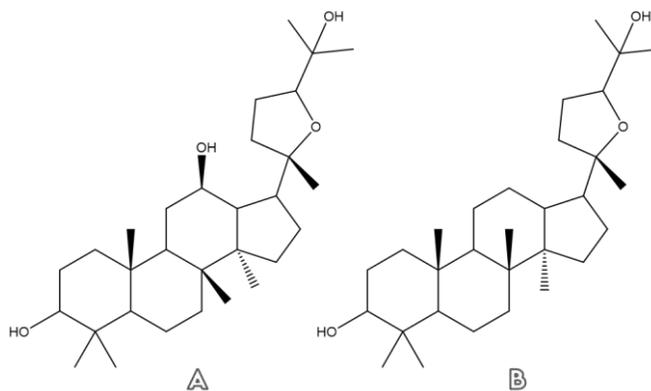
Por último, se ha informado que la corteza de *F. splendens* contiene un 11.3% de sustancias resinosas solubles en acetona. Y es que una característica del género, un tallo ceroso, el cual puede servir como barrera y refugio contra el estrés ambiental, siendo algunas de sus funciones más importantes la reducción de la transpiración (característica importante del género), la resistencia contra patógenos, y el aumento de la resistencia a las heladas (Kurtz, 1958). Normalmente la composición química de estas ceras es bastante singular, con constituyentes alifáticos de cadena larga como alcanos o compuestos poco oxigenados. Se ha descubierto que *F. columnaris* presenta un 87.2% de con alcanos n-C27, n-C29 y n-C31 como los más representativos (Proksch et al., 1981). Se reporta, además, que las flores del ocotillo contienen un 85 % de nutrientes digestibles, entre ellos 12 % de proteína (en base seca), carbohidratos (67 %), y 3,085.98 kcal/kg de energía metabolizable, es debido a esto que es considerada una especie de importancia por su alto valor proteico, energético y de digestibilidad que puede ser aprovechado por diferentes especies (Gallina et al., 2017).

Las diferencias en los contenidos de fenólicos totales, foliares y florales, flavonoides, taninos, antocianinas, carotenoides, así como las diferencias en la concentración de compuestos individuales, permitieron la conclusión de que pueden ser resultado de las diferentes condiciones ambientales en las que cada una crece, pues se ha informado de factores ambientales que alteran la expresión de genes involucrados en la síntesis de fitoquímicos (Monreal-García et al., 2019).



**Figura 7.** Principales Triterpenos identificados en los órganos del género *Fouquieria*: dammaran-triterpene (A), fouquierol (B), isofouquierol (C) y dammarendiol (D).

**Figure 7.** Main Triterpenes identified in the organs of the genus *Fouquieria*: dammaran-triterpene (A), fouquierol (B), isofouquierol (C) and dammarendiol (D).



**Figura 8.** Moléculas de Pyxinol (A) y el Ocotillol (B) presentes en los tallos del ocotillo

**Figure 8.** Pyxinol (A) and Ocotillol (B) molecules present in ocotillo stems.

## 6. ESTUDIOS BIOTECNOLÓGICOS DEL GÉNERO *Fouquieria*

Hablando de aspectos biotecnológicos donde estas especies pueden ayudar a solucionar problemas, se ha hecho hincapié en que la respiración del suelo es una fuente muy importante en el intercambio de CO<sub>2</sub> y de otros gases. Se ha demostrado que, en condiciones húmedas, los suelos influenciados por *Fouquieria* generan una disminución de la tasa de respiración del suelo, lo que ayuda a la comunidad agrícola a solucionar problemas de fertilidad de suelo (Herrera-García *et al.*, 2008; Cueva Rodríguez, *et al.*, 2012). Por otro lado, en la actualidad, la comunidad científica ha mostrado interés en los contaminantes emergentes, ya que éstos pueden generar un problema para la salud humana. Una forma de eliminar estos contaminantes es a través de la biotransformación utilizando cultivos celulares vegetales (Herrera-García *et al.*, 2008). Una contribución que tienen las especies del género *Fouquieria* es que pueden ser empleadas en biotecnologías de Fitotransformación de contaminantes y se han reportado eficientes contra compuestos aromáticos policíclicos como el fenantreno, esto se descubrió utilizando células en suspensión de callos de ocotillo y del árbol de barril sin generar alteraciones morfológicas ni un efecto dañino o muerte celular a 10 ppm de fenantreno y con remociones desde 40% a 90%. Además, se demostró con un análisis de hemoperoxidasas que estas especies generan una oxidación del fenantreno sin daño alguno en su estructura celular (Herrera-García *et al.*, 2008). Los sistemas experimentales que utilizan cultivos celulares permiten estudiar con alta precisión las adaptaciones que sufren estos organismos bajo condiciones de estrés hídrico, sin generar interferencias con tejidos y el metabolismo y desarrollo vegetal. Un acercamiento sobre esas adaptaciones es la síntesis de proteínas en respuesta a ese estrés, que son resultado de la expresión génica propia de las especies. Se ha evaluado la exposición de callos de ocotillo al ácido abscísico (ABA) el cuales una hormona vegetal que se expresa en estado de estrés hídrico, y que mediante un análisis electroforético de proteínas totales se evidenció un cambio en la expresión proteica lo que afirma que las condiciones medioambientales secas y de baja cantidad de humedad promueven el impulso de mecanismos adaptativos a la baja disponibilidad de agua (Guerrero, 2017).

Los contaminantes emergentes más representativos son los metales pesados, y es que en las áreas donde se encuentran las minas abandonadas, contienen grandes cantidades de desechos en los que los minerales derivados de prácticas mineras ambientalmente inseguras son los más importantes. Se ha demostrado que *F. diguetii* es una planta biotecnológicamente importante para usarse en técnicas de fitorremediación ya que es adecuada para evaluar la movilidad de los metales del suelo a las plantas y animales. Aunque se registraron diferentes tendencias en las concentraciones de metales, se demostró que esta especie puede disminuir hasta 10 veces la cantidad de Fe del suelo, el cual una vez en la planta se distribuye entre las raíces y el resto de ésta (Mendez-Rodríguez *et al.*, 2016). Otro tipo de contaminantes emergentes de alta importancia es el arsénico ya que este elemento ha sido clasificado como carcinógeno humano, ahora bien, de igual manera han sido estudiadas algunas especies que crecen alrededor de minas, esto para evaluar la capacidad de remover este metal del suelo. Plantas como *F. splendens*, *Cineraria marítima* y *Baccharis salcifolia*, se han considerado por su capacidad de fitoabsorber As y retenerlo en tejidos de la raíz y el tallo (Loredo-Portales *et al.*, 2017). También, se ha descubierto que los cultivos celulares del ocotillo suplementados con *Staphylococcus pasteurii* (productor de ácido indol acético) permiten una estrategia para la fitorremediación de metales como el cadmio, mejorando la calidad del callo cuando se trabaja en biorreactores (Espinoza *et al.*, 2021).

Con respecto a beneficios de compuestos vegetales en el área farmacéutica el ocotillol (**Figura 8**), es un triterpeno aislado de *F. splendens*, que ha servido para el diseño de derivados de lactona de tipo ocotillol para estudiar su actividad antibacteriana. De los cuales, se demostró su efecto antibacteriano al dañar las membranas de las células bacterianas y alterar la función del DNA, que podrían conducir a una muerte celular rápida (Zhou *et al.*, 2013). Se afirma que pueden ejercer fuertes efectos sinérgicos cuando se combinan con kanamicina y cloranfenicol contra *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis*, lo que muestra que los derivados triterpenoides de tipo ocotillol podrían usarse de manera complementaria con algunos antibióticos para obtener efectos favorables para la inhibición de algunas bacterias (Zhang *et al.*, 2020). Todo lo anterior remarca la importancia de seguir estudiando los recursos vegetales o sus derivados en las áreas biotecnológicas para solicitar problemas que la comunidad se expone cotidianamente.

## 7. CONCLUSIONES

La mayoría de las especies del género *Fouquieria* son consideradas como plantas de carácter ornamental y medicinal. Los estudios sobre las propiedades del género *Fouquieria* demuestran que éstos tienen características importantes en las áreas químico biológica con interés médico. Los extractos presentan actividad fitotóxica, insecticida, antiparasitaria, antibacteriana, antimicótica y fitoremediadora, por lo que pueden aprovecharse en distintas áreas farmacéuticas. En cuanto a los constituyentes de las especies en revisión, es necesario profundizar en la identificación de los compuestos químicos a través de nuevos métodos analíticos, y a partir de diferentes métodos de extracción que permitan aislar diferentes metabolitos con potenciales actividades farmacológicas que faciliten presentar nuevas alternativas para la solución de problemas en áreas químico-biológicas. Las investigaciones deben continuar en el futuro para aportar evidencias que esclarezcan con mayor certeza el efecto de los extractos del género *Fouquieria* en la salud.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este reporte.

## REFERENCIAS

- Abd El-Ghani M.M., Huerta-Martínez F.M., Hongyan L., Qureshi R. (2018) Erratum to: Plant Responses to Hyperarid Desert Environments. In: Plant Responses to Hyperarid Desert Environments. Springer, Cham. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-59135-3\\_14](http://doi.org/10.1007/978-3-319-59135-3_14)
- Aguirre-Liguori J.A., Scheinvar E., Eguiarte L.E. (2014). Gypsum soil restriction drives genetic differentiation in *Fouquieria shrevei* (Fouquieriaceae). American Journal of Botany. 101(4):730–736. <http://doi.org/10.3732/ajb.1400031>
- Alice L.A., Campbell C.S. (2017). Phylogeny of *Rubus* (Rosaceae) Based on Nuclear Ribosomal DNA Internal Transcribed Spacer Region Sequences. American Journal of Botany. 86(1):81–97. <http://doi.org/10.2307/2656957>

- Álvarez-Castañeda S.T., Correa-Ramírez M.M., Trujano-Álvarez A.L. (2006). Notes on *Notiosorex crawfordi* (coues) from two oases in the Baja California peninsula, México. *Journal of Arid Environments*. 66(4):773–777. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.12.004>
- Amundson R., Franco-Vizcaíno E., Graham R.C., DeNiro M. (1994). The relationship of precipitation seasonality to the flora and stable isotope chemistry of soils in the Vizcaíno desert, Baja California, México. *Journal of Arid Environments*. 28(4):265–279. [http://doi.org/10.1016/S0140-1963\(05\)80048-5](http://doi.org/10.1016/S0140-1963(05)80048-5)
- Andrade-Cetto A., Heinrich M. (2005). Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*. 99(3):325–348. <http://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.019>
- Arnaud G., Carbajal-Márquez R.A., Rodríguez-Canseco J., Ferreyra E. (2014). Primeros registros de la cascabel roja (*Crotalus ruber*) en la isla Coronados, golfo de California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85(1):322–324. <http://doi.org/10.7550/rmb.40435>
- Arriaga L and Maya Y. (2007). Spatial variability in decomposition rates in a desert scrub of Northwestern Mexico. *Plant Ecology*. 189(2):213–225. <http://doi.org/10.1007/s11258-006-9178-4>
- Arundel S.T. (2005). Using spatial models to establish climatic limiters of plant species' distributions. *Ecological Modelling Journal*. 182(2):159–181. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.016>
- Avendaño A., Casas A., Dávila P., Lira R. (2006). Use forms, management and commercialization of “pochote” *Ceiba aesculifolia* (H.B. & K.) Britten & Baker f. subsp. *parvifolia* (Rose) P.E. Gibbs & Semir (Bombacaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 67(1):15–35. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.004>
- Avila-Lovera E., Garcillán P.P. (2021). Phylogenetic signal and climatic niche of stem photosynthesis in the mediterranean and desert regions of California and Baja California Peninsula. *American Journal of Botany*. 108(2):334–345. <http://doi.org/10.1002/ajb2.1572>
- Axelrod D.I. (1978). The Origin of Coastal Sage Vegetation, Alta and Baja California. *American Journal of Botany*. 65(10):1117–1131. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1978.tb06179.x>
- Bashan Y., Khaosaad T., Salazar B.G., Ocampo J.A., Wiemken A., Oehl F., Vierheiling H. (2007). Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees - Struct Funct*. 21(3):329–335. <http://doi.org/10.1007/s00468-007-0126-2>
- Baskin C.C., Baskin J.M. (2014). *A Geographical Perspective on Germination Ecology: Tropical and Subtropical Zones*. Seeds. Academic Press. 375–590. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-416677-6.00009-3>
- Bate-Smith E.C. (1964). Chemistry and taxonomy of *Fouquieria splendens* Engelm: A new member of the asperuloside group. *Phytochemistry*. 3(5):623–625. [http://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82938-6](http://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82938-6)

- Behnke H. D. (1976). Sieve-Element Plastids of *Fouquieria*, *Frankenia* (Tamaricales), and *Rhabdodendron* (Rutaceae), Taxa Sometimes Allied with Centrospermae (Caryophyllales). *Taxon*. 25(2-3):265-268. <http://doi.org/10.2307/1219452>
- Bi Y., Liu X.X., Zhang H.Y., Yang X., Liu Z.Y., Lu J., Lewis P.J., Wang Ch.Z., Xu J.Y., Meng Q.G., Ma K., and Yuan Ch.S. (2017). Synthesis and antibacterial evaluation of novel 3-substituted ocotillo-type derivatives as leads. *Molecules*. 22(4):1-10. <http://doi.org/10.3390/molecules22040590>
- Bi Y., Yang X., Zhang T., Liu Z., Zhang X., Lu J., Cheng K., Xu J. Wang H., Lv G., Lewis P.J., Meng Q., Ma C. (2015). Design, synthesis, nitric oxide release and antibacterial evaluation of novel nitrated ocotillo-type derivatives. *European Journal of Medical Chemistry*. 101:71-80. <http://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.06.021>
- Bobich E.G, Huxman T.E. (2009). Dry mass partitioning and gas exchange for young ocotillos (*Fouquieria splendens*) in the sonoran desert. *International Journal of Plant Science*. 170(3):283-289. <http://doi.org/10.1086/596331>
- Bowers J.E. (2006). Branch length mediates flower production and inflorescence architecture of *Fouquieria splendens* (ocotillo). *Plant Ecology*. 186(1):87-95. <http://doi.org/10.1007/s11258-006-9114-7>
- Brown C.D. (1998). Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 130(2):556. <http://doi.org/10.1016/j.jaci.2012.05.050>
- Bullock S.H., Heath D. (2006). Growth rates and age of native palms in the Baja California desert. *Journal of Arid Environments*. 67(3):391-402. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.002>
- Bullock S.H., Martijena N.E., Webb R.H., Turner R.M. (2005). Twentieth century demographic changes in cirio and cardón in Baja California, México. *Journal of Biogeography*. 32(1):127-143. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01152.x>
- Búrquez A., Martínez-Yrizar A., Núñez S., Quintero T., Aparicio A. (2010). Aboveground biomass in three Sonoran Desert communities: Variability within and among sites using replicated plot harvesting. *Journal of Arid Environments*. 74(10):1240-1247. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.04.004>
- Cross A.T., Thompson G.G., Zaitzeff J.B. (1966). Source and distribution of palynomorphs in bottom sediments, southern part of gulf of california. Elsevier Publishing. 4:467-524.
- Cueva-Rodríguez A., Yépez E.A., Garatuza-payán J., Watts C.J. (2012). Respiración de suelo en ecosistemas design and use of a portable system for measuring soil respiration in ecosystems. *Terra latinoamerica*. 30:327-336. <https://bit.ly/3OXvRyU>

- Currah L. (2018). Onions and Allied Crops: Botany, Physiology, and Genetics. Chapter 6: Pollination biology. Rabinowitch, H.D., & Brewster, J.L. (Eds.). CRC Press. <http://doi.org/10.1201/9781351075169>
- Cyrus M. (Ed.) (1990). The Biology and Utilization of Shrubs. Stony Brook University. <http://doi.org/10.1086/416637>
- Damtoft S., Rosendal-Jensen S., Juhl-Nielsen B. (1993). Iridoid glucosides in epacridaceae. *Phytochemistry*. 33(2):377–378. [http://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)85522-S](http://doi.org/10.1016/0031-9422(93)85522-S)
- Davis T.J. (2011). Phenotypic Variation in Inflorescences of *Fouquieria burragei* (Fouquieriaceae). *Cactus Succulent Journal*. 83(2):61–66. <http://doi.org/10.2985/0007-9367-83.2.61>
- De la Luz L., Navarro P., Breceda A. (2000). A transitional xerophytic tropical plant community of the Cape Region, Baja California. *Journal of Vegetation Science*. 11(4):555–564. <http://doi.org/10.2307/3246585>
- De-Nova J.A., Sánchez-Reyes L.L., Eguiarte L.E., Magallón S. (2018). Recent radiation and dispersal of an ancient lineage: The case of *Fouquieria* (Fouquieriaceae, Ericales) in North American deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 126:92–104. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.03.026>
- Derosa G., Maffioli P., Sahebkar A. (2016) Ellagic Acid and Its Role in Chronic Diseases. In: Gupta S., Prasad S., Aggarwal B. (eds) *Anti-inflammatory Nutraceuticals and Chronic Diseases*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer Cham. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-41334-1\\_20](http://doi.org/10.1007/978-3-319-41334-1_20)
- Escoto-Rodríguez M., Bullock S.H. (2002). Long-term growth rates of cirio (*Fouquieria columnaris*), a giant succulent of the Sonoran Desert in Baja California. *Journal of Arid Environments* 50(4):593–611. <http://doi.org/10.1006/jare.2001.0921>
- Ezcurra E., Mellink E. (2013). Desert Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier Publishing. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00380-4>
- Espinoza-Mellado M., López-Villegas E., López-Gómez M., Rodríguez-Tovar A., García-Pineda M., Rodríguez-Doratez A. (2021). Biotization and in vitro plant cell cultures: plant endophyte strategy in response to heavy metals knowledge in assisted phytoremediation. *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants*. 27-36. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00003-1>
- Franco-Vizcaíno A., Goldstein G., Ting I.P. (1990). Comparative gas exchange of leaves and bark in three stem succulents of Baja California. *American Journal of Botany*. 77(10):1272–1278. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1990.tb11379.x>
- Franco-Vizcaíno E. (1994). Water regime in soil and plants along an aridity gradient in central Baja California, Mexico. *Journal of Arid Environments*. 27, 309-323. <http://doi.org/10.1006/jare.1994.1066>

- Gallina S., Feria L.G., González-Trápaga R. (2017). Ocotillo flowers as food resource for the mule deer during the dry season. *Therya*. 8(2):185–188. <http://doi.org/10.12933/therya-17-483>
- Gartner B.L. (Ed.). (1995). *Plant stems. Physiology and functional morphology*. Academic Press.
- Gorelick R. (2008). *Fouquieria burragei*. *Cactus and Succulent Journal*. 80(4):204–207. [http://doi.org/10.2985/0007-9367\(2008\)80\[204:fb\]2.0](http://doi.org/10.2985/0007-9367(2008)80[204:fb]2.0)
- Graham J.G., Quinn M.L., Fabricant D.S., Farnsworth N.R. (2000). Plants used against cancer - An extension of the work of Jonathan Hartwell. *J Ethnopharmacology*. 73(3):347–377. [http://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00341-X](http://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00341-X)
- Guerrero L. (2017). Evaluación de la respuesta de cultivos celulares de (*fouquieria splendens* ssp. *breviflora*) *fouquieriaceae* bajo estrés hídrico. *Acta biologica colombiana*. 22(2):149–156. <http://doi.org/10.15446/abc.v22n2.56809>
- Guerrero-Cárdenas, I., Álvarez-Cárdenas, S., Gallina, S., Corcuera, P., Ramírez-Orduña, R., & Tovar-Zamora, I. (2018). Variación estacional del contenido nutricional de la dieta del borrego cimarrón del desierto (*Ovis canadensis weemsi*), en Baja California Sur, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 34(1), 1-18. <http://doi.org/10.21829/azm.2018.3412113>
- Gutiérrez-Ruacho O., Coronado M.L., Sánchez-Teyer F., Sánchez A., Gutiérrez A., Esqueda M. (2018). Abundance of rhizospheric bacteria and fungi associated with *Fouquieria columnaris* at Punta Cirio, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89(2):541–552. <http://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.1620>
- Hegnauer R. (1989). *Chemotaxonomie Der Pflanzen*. In an overview of the distribution and the systematic importance of plant substances. Springer Link
- Henrickson J. (1967). Pollen morphology of the Onagraceae. *Review Palaeobotany and Palynology*. 3(1–4):163–180. [http://doi.org/10.1016/0034-6667\(67\)90050-4](http://doi.org/10.1016/0034-6667(67)90050-4)
- Henrickson J. A (1972). Taxonomic Revision of the *Fouquieriaceae*. *Aliso*. 7(4):439–537. <http://doi.org/10.5642/aliso.19720704.08>
- Herrera-García M., Rodríguez-Dorantes A., Guerrero-Zúñiga L. (2008). Evaluación del crecimiento, actividad de hemoperoxidasas y remoción de fenantreno de los cultivos celulares de *Fouquieria splendens* y *Fouquieria fasciculata*. *Polibotánica*. (25):101–119. <https://bit.ly/3F9jqM9>
- Hinojo-Hinojo C., Castellanos A.E., Huxman T., Rodriguez J.C., Vargas R., Romo Leon J., Biederman J. (2019). Native shrubland and managed buffelgrass savanna in drylands: Implications for ecosystem carbon and water fluxes. *Agriculture and Forest Meteorology*. 268:269–278. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.030>

- Hong A.H., Sullivan F.R. (2013). Towards an idea-centered, principle-base design to as creation approach support learning knowledge. Educational Technology Research Development. 57(5):613–627. <http://doi.org/10.1007/s11423-009-9122-0>
- Humphrey R.R. (1931). A study of *Idria columnari* and *Fouquieria splendens*. American Journal of Botany. 22(2) 184–207. <http://doi.org/10.2307/2436008>
- Humphrey R.R. (1935). A Study of *Idria Colummaris* and *Fouquieria Splendens*. American Journal of Botany. 22(2):184–207. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1935.tb05015.x>
- Johansen DA. (1936). Morphology and Embryology of *Fouquieria*. American Journal of Botany 23(2):95–99. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1936.tb08959.x>
- Johansen DA. (1936). Morphology and Embryology of *Fouquieria*. American journal of Botany. 23(2):95–99. <http://doi.org/10.2307/2436301>
- Johnson L.A., Chan L.M., Weese T.L., Busby L.D., McMurry S. (2008). Nuclear and cpDNA sequences combined provide strong inference of higher phylogenetic relationships in the phlox family (Polemoniaceae). Molecular Phylogenetics and Evolution. 48(3):997–1012. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.05.036>
- Killingbeck K.T. (2006). Loss of long-shoot leaves may mask terminal stem segment age in ocotillo (*Fouquieria splendens*). Haseltonia. (12):11–12. [http://doi.org/10.2985/1070-0048\(2006\)12\[11:LOLLMM\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.2985/1070-0048(2006)12[11:LOLLMM]2.0.CO;2)
- Killingbeck K.T. (2019). Stem succulence controls flower and fruit production but not stem growth in the desert shrub ocotillo (*Fouquieria splendens*). American Journal of Botany. 106(2):223–230. <http://doi.org/10.1002/ajb2.1237>
- Kreulen D.A. (1989). Ecological Systems of the Geobiosphere. 2. Tropical and Subtropical Zonobiomes. Journal of Range Management. 42 (3) 260-264. <http://doi.org/10.2307/3899486>
- Krochmal A., Paur S., Duisberg P. (1954). Useful native plants in the American southwestern deserts. Economic Botany. 8(1):3–20. <http://doi.org/10.1007/BF02898875>
- Kuila A, Sharma V. (Eds.) (2018). Principles and Applications of Fermentation Technology. Wiley Online Library. <http://doi.org/10.1002/9781119460381>
- Kurtz E.B. (1958). A survey of some plant waxes of Southern Arizona. Journal of the American Oil Chemist's Society. 35(9):465–467. <http://doi.org/10.1007/BF02539916>
- Landis J.B., Bell C.D., Hernandez M., Zenil-Ferguson R., McCarthy E.W., Soltis D.E., Soltis P.S. (2018) Evolution of floral traits and impact of reproductive mode on diversification in the phlox family (Polemoniaceae). Molecular Phylogenetics and Evolution. 127:878-890. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.06.035>

- Lima L.R., Andrade F.K., Alves D.R., De Morais S.M., Vieira R.S. (2021). Anti-acetylcholinesterase and toxicity against *Artemia salina* of chitosan microparticles loaded with essential oils of *Cymbopogon flexuosus*, *Pelargonium x ssp* and *Copaifera officinalis*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 167:1361–1370. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.090>
- Lopez Z.R., Rodriguez-Navarro J.L. (2016). *Variance of Size-Age Curves : Bootstrapping with Autocorrelation* Wiley Publishers.85(8):2114–2117.
- López-Jiménez E., Vasquez-Gomez J.I., Sanchez-Acevedo M.A., Herrera-Lozada J.C., Uriarte-Arcia A.V. (2019). Columnar cactus recognition in aerial images using a deep learning approach. *Ecological Informatics*. 52:131–138. <http://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.05.005>
- Loredo-Portales R., Castillo-Michel H., Aquilanti G., De La Rosa-Álvarez M.G, Rocha-Amador D.O., Vogel-Mikus K., Kump P., Cruz-Jiménez G. (2017). Synchrotron based study of as mobility and speciation in tailings from a mining site in Mexico. *Journal Environmental of Chemistry Engineering*. 5(1):1140–1149. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.01.019>
- Majure L.C., Baker M.A., Cloud-Hughes M., Salywon A., Neubig K.M. (2019). Phylogenomics in Cactaceae: A case study using the chollas sensu lato (Cylindropuntieae, Opuntioideae) reveals a common pattern out of the Chihuahuan and Sonoran deserts. *American Journal of Botany*. 106(10):1327–1345. <http://doi.org/10.1002/ajb2.1364>
- Martínez M. (1945). Breve relación de algunas de las principales plantas observadas en el distrito sur de la baja california. *Botanical Sciences*. 2, 1–14. <http://doi.org/10.17129/botsci.917>
- Maya Y. y Arriaga L. (1996). Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. *Journal of Arid Environments*. 34(1):23–35. <http://doi.org/10.1006/jare.1996.0090>
- McAuliffe J.R. (1991). Demographic shifts and plant succession along a late Holocene soil chronosequence in the Sonoran Desert of Baja California. *Journal of Arid Environments* 20(2):165–178. [http://doi.org/10.1016/s0140-1963\(18\)30706-7](http://doi.org/10.1016/s0140-1963(18)30706-7)
- Menchaca Vega M., Rivas Morales C., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Rubio Morales M.E., Núñez González M.A. y Serrano Gallardo L.B. (2013). Antimicrobial activity of five plants from Northern Mexico on medically important bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. 7(43):5011–5017. <http://doi.org/10.5897/ajmr12.1759>
- Méndez-Rodríguez L.C, Álvarez-Castañeda S.T. (2016). Assessment of Trace Metals in Soil, Vegetation and Rodents in Relation to Metal Mining Activities in an Arid Environment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 97(1):44–49. <http://doi.org/10.1007/s00128-016-1826-3>
- Molina Guerra V.M., Cervantes Balderas J.M., Soto Mata B., Alanís Rodríguez E., Marroquín-Castillo J.J., Sarmiento Muñoz T.I. (2017). Composición y estructura del matorral desértico rosetófilo del sureste de Coahuila, México Composition and structure of a rosetophyllus desert scrub of southeast Coahuila, Mexico. *Polibotánica*. 44:67–77. <http://doi.org/10.18387/polibotanica.44.5>

- Monreal-García H. Almaraz-Abarca N., Ávila-Reyes J., Torres-Ricario R., González-Elizondo S., Herrera-Arrieta Y., and Gutiérrez-Velázquez M.V. (2019). Phytochemical variation among populations of *Fouquieria splendens* (Fouquieriaceae). *Botanical Science*. 97(3):398–412. <http://doi.org/10.17129/botsci.2191>
- Moore M. (1989). *Medicinal Plants of the Desert and Canyon West: A Guide to Identifying, Preparing, and Using Traditional Medicinal Plants Found in the Deserts and Canyons of the West and Southwest*. <http://doi.org/10.5860/choice.27-5132>
- Moore M.J., Jansen R.K. (2006). Molecular evidence for the age, origin, and evolutionary history of the American desert plant genus *Tiquilia* (Boraginaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 39(3):668–687. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.01.020>
- Morales-Rubio M.E., Espinosa-Leal C., Garza-Padrón R.A. (2016). Cultivo de tejidos vegetales y su aplicación en productos naturales. En: *Investigación en plantas de importancia médica*. OmniaScience. 351–410. <http://doi.org/10.3926/oms.315>
- Morton C.M., Mori S.A., Prance G.T., Karol K.G., Chase M.W. (1997). Phylogenetic relationships of Lecythidaceae: A cladistic analysis using rbcL sequence and morphological data. *American Journal of Botany*. 84(4):530–540. <http://doi.org/10.2307/2446029>
- Muller C.T., Moore M.J., Feder Z., Tiley H., Drenovsky R.E. (2017). Phylogenetic patterns of foliar mineral nutrient accumulation among gypsophiles and their relatives in the chihuahua desert. *American Journal of Botany*. 104(10):1442–1450. <http://doi.org/10.3732/ajb.1700245>
- Nedoff J.A, Ting I.P, Lord E.M. (1985). Structure and Function of the Green Stem Tissue in Ocotillo (*Fouquieria splendens*). *American Journal of Botany*. 72(1):143–151. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1985.tb05352.x>
- Nickell L.G. (1959). Antimicrobial activity of vascular plants. *Economic Botany*. 13(4):281–318. <http://doi.org/10.1007/BF02885664>
- Nobel P.S., Zutta B.R. (2005). Morphology, ecophysiology, and seedling establishment for *Fouquieria splendens* in the northwestern Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments*. 62(2):251–265. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.11.002>
- Pant P., Rastogi R. (1979). The triterpenoids. *Phytochemistry*. 18(7):1095–1108. [http://doi.org/10.1016/0031-9422\(79\)80115-6](http://doi.org/10.1016/0031-9422(79)80115-6)
- Pasternak D., Schlissel A (Ed.). (2001). *Combating desertification with plants*. Springer Publisher. <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-1327-8>
- Pérez-Leal R., Torres-Ramos M., Flores-Córdova M.A., González-Franco A.C., Hernandez-Rodríguez A., Soto-Parra J.M. & Robles-Hernandez L. (2020). Phytotoxic and dissuasive activity of Chihuahua desert plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(1), 426-435. <http://doi.org/10.15835/nbha4811150>

- Pérez-Negrón E, Casas A. (2007). Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments*. 70(2):356–379. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.016>
- Plouvier V., Favre-Bonvin J. (1971). Les iridoïdes et séco-iridoïdes: Répartition, structure, propriétés, biosynthèse. *Phytochemistry*. 10(8):1697–1722. [http://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86428-6](http://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86428-6)
- Pokhilo N.D., Uvarova N.I. (1988). Isoprenoids of various species of the genus *Betula*. *Chemistry of Natural Compounds*. 24(3):273–285. <http://doi.org/10.1007/BF00598568>
- Proksch P., Sternburg C., Rodriguez E. (1981). Epicuticular alkanes from desert plants of Baja California. *Biochemical Systematics and Ecology*. 9(2–3):205–206. [http://doi.org/10.1016/03051978\(81\)900417](http://doi.org/10.1016/03051978(81)900417)
- Purushothaman K., Venkatanarasimhan M., Sarada A. (1985). Arbortristoside A and B, two iridoid glucosides from *nyctanthes arbor-tristis*. *Phytochemistry*. 24:773–776. [http://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)84892-X](http://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)84892-X)
- Reinhard K.J., Chavez S.M., Jones J.G., Iñiguez A.M. (2008). Evaluating chloroplast DNA in prehistoric Texas coprolites: medicinal, dietary, or ambient ancient DNA? *Journal of Archaeological Science*. 35(6):1748–1755. <http://doi.org/10.1016/j.jas.2007.11.013>
- Robinson W.J. (1904). The Spines of *Fouquieria*. *Bulletin of Torrey Botanical Society*. 31(1):45–50.
- Romm A., Yarnell E.L., Winston D. (2010). *Urinary complaints*. Elsevier Publishing. <http://doi.org/10.1016/B978-0-443-07277-2.00011-8>
- Sánchez-del Pino I., Alfaro A., Andueza-Noh R.H., Mora-Olivo A., Chávez-Pesqueira M., Ibarra-Morales A., Moore M.J., Flores-Olvera H. (2020). High phylogeographic and genetic diversity of *Tidestromia lanuginosa* supports full-glacial refugia for arid-adapted plants in southern and central Coahuila, Mexico. *American Journal of Botany*. 107(9):1296–1308. <http://doi.org/10.1002/ajb2.1536.82>
- Schönenberger J., Grenhagen A. (2005). Early floral development and androecium organization in *Fouquieriaceae* (Ericales). *Plant Systematics and Evolution*. 254(3–4):233–249. <http://doi.org/10.1007/s00606-005-0331-7>
- Schultheis L.M., Baldwin B.G. (1999). Molecular phylogenetics of *Fouquieriaceae*: Evidence from nuclear rDNA ITS studies. *American Journal of Botany*. 86(4):578–589. <http://doi.org/10.2307/2656819>
- Scogin R. (1977). Anthocyanins of the *Fouquieriaceae*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 5(4):265–267. [http://doi.org/10.1016/0305-1978\(77\)90023-0](http://doi.org/10.1016/0305-1978(77)90023-0)
- Scogin R. (1978). Leaf phenolics of the *fouquieriaceae*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 6(4):297–298. [http://doi.org/10.1016/0305-1978\(78\)90049-2](http://doi.org/10.1016/0305-1978(78)90049-2)

- Scott Anderson R., Van Devender T.R. (1995). Vegetation history and paleoclimates of the coastal lowlands of Sonora, Mexico - pollen records from packrat middens. *Journal of Arid Environments*. 30(3):295–306. [http://doi.org/10.1016/S0140-1963\(05\)80004-7](http://doi.org/10.1016/S0140-1963(05)80004-7)
- Scott FM. (1932). Some Features of the Anatomy of *Fouquieria Splendens*. *American Journal of Botany*. 9(8):673–678. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1932.tb08851.x>
- Scott P. (2021). Long-term survival and flowering of ocotillo (*Fouquieria splendens*) in Texas: A 33-year perspective. *Journal of Arid Environments*. 193: 104552. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104552>
- Simon M. (2001). *Plant Systematics*. Kew Bulletin. 56 (3) 648-649. <http://doi.org/10.2307/4117689>
- Soltis D.E., Xiang Q-Y, Hufford L. (1995). Relationships and evolution of Hydrangeaceae based on RBC I sequence data. *American Journal of Botany*. 82(4):504–514. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1995.tb15671.x>
- Sternburg C., Rodriguez E. (1982). Hydrocarbons From *Pedilanthus Macrocarpus* (Euphorbiaceae) of Baja California and Sonora, Mexico. *American Journal of Botany*. 69(2):214–218. <http://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13250.x>
- Takhtajan A. (Ed.) (2009). *Class Magnoliopsida (Dicotyledons)*. Flowering Plants. Springer. 7–588. [http://doi.org/10.1007/978-1-4020-9609-9\\_2](http://doi.org/10.1007/978-1-4020-9609-9_2)
- Tinoco-Ojanguren C., Díaz A., Martínez J., Molina-Freaner F. (2013). Species diversity and regeneration of native species in *Pennisetum ciliare* (buffelgrass) pastures from the thornscrub of Sonora, México. *Journal of Arid Environments*. 97:26–37. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.05.009>
- Vega M., Rivas C., Verde J., Oranday A., Rubio M., Núñez M., Serrano L. (2013). “Antimicrobial activity of five plants from Northern Mexico on medically important bacteria”. *African Journal of Microbiology Research* 7(43): 5011–17. <http://dx.doi.org/10.5897/AJMR12.1759>
- Venegas-Barrera C.S. (2008). Stochastic approach to determine spatial patterns of lizard community on a desert island. *Acta Oecologica*. 33(3):280–290. <http://doi.org/10.1016/j.actao.2008.01.002>
- Vivoni E.R., Watts C.J., Rodríguez J.C., Garatuza-Payan J., Méndez-Barroso L.A., Sainz-Hernández J.A. (2010). Improved land-atmosphere relations through distributed footprint sampling in a subtropical scrubland during the North American monsoon. *Journal of Arid Environments*. 74(5):579–584. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.09.031>
- Waser N.M. (1979). Oecologia of Flowering Time in Ocotillo (*Fouquieria splendens*). *Oecologia*. 39:107–121. <https://doi.org/10.1007/bf00346001>
- Waterman P.D (1985). Triterpenes from the stem bark of *Commiphora Dalzielii*. *Phytochemistry*. 23(12):2925–2928. [http://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)80607-x](http://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)80607-x)

- Webb R.H., Salazar-Ceseña M.M. Turner R. (2014). The distribution of Cirio (*Fouquieria columnaris*) in Baja California, Mexico. *Haseltonia*. 19(19):26–37. <http://doi.org/10.2985/026.019.0105>
- Webb R.H., Turner R.M. (2015). Biodiversity of Cacti and Other Succulent Plants in Baja California, México. *Cactus and Succulent Journal* 87(5):206–216. <http://doi.org/10.2985/015.087.0504>
- Webb R.H., Turner R.M. (2020). Biodiversity of Perennial Vegetation in the Desert Regions of Baja California and Baja California Sur, Mexico. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11997-9>
- Whitford W.G., Duval B.D. (2020). Adaptations. En: *Ecology of Desert Systems*. Elsevier; 135–171. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-815055-9.00006-0>
- Wollenweber E. (1994). External Flavonoids of Ocotillo (*Fouquieria splendens*). *Journal of Biosciences*. 689–690. <https://bit.ly/3FfMMbC>
- Xiang Q.Y., Soltis D.E., Soltis P.S. (1998). Phylogenetic relationships of Cornaceae and close relatives inferred from matK and rbcL sequences. *American Journal of Botany*. 85(2):285–297. <http://doi.org/10.2307/2446317>
- Xiang Q.Y., Thomas D.T., Xiang Q.P. (2011). Resolving and dating the phylogeny of Cornales - Effects of taxon sampling, data partitions, and fossil calibrations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 59(1):123–138. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.01.016>
- Zavala-Hurtado J.A., Jiménez M. (2020). Diversity and Uniqueness at Its Best: Vegetation of the Chihuahuan Desert in Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert. (pp.1-17) Springer Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6_1)
- Zhang Z, Chen Z, Zhang S, Shao X, Zhou Z. (2020). Antibacterial activity of the structurally novel ocotillo-type lactone and its analogues. *Fitoterapia*. 144:104597. <http://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104597>
- Zhou Z, Ma C, Zhang H, Bi Yi., Chen X., Tian H., Xie X., Meng Q., Lewis P.J., Xu J. (2013). Synthesis and biological evaluation of novel ocotillo-type triterpenoid derivatives as antibacterial agents. *European Journal of Medical Chemistry*. 68:444–453. <http://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.07.041>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>