

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Estructura y Diversidad del Matorral Desértico Rosetófilo de la Sierra de Zapalinamé,
Coahuila, México

Por:

CRISTOBAL DE JESÚS FLORES HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México
Junio 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Estructura y Diversidad del Matorral Desértico Rosetófilo de la Sierra de Zapalinamé,
Coahuila, México

Por:

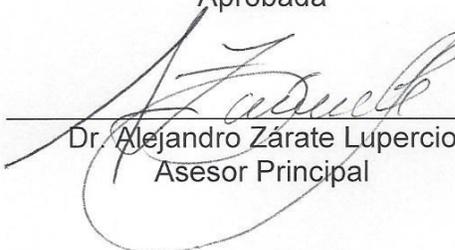
CRISTOBAL DE JESÚS FLORES HERNÁNDEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el título de:

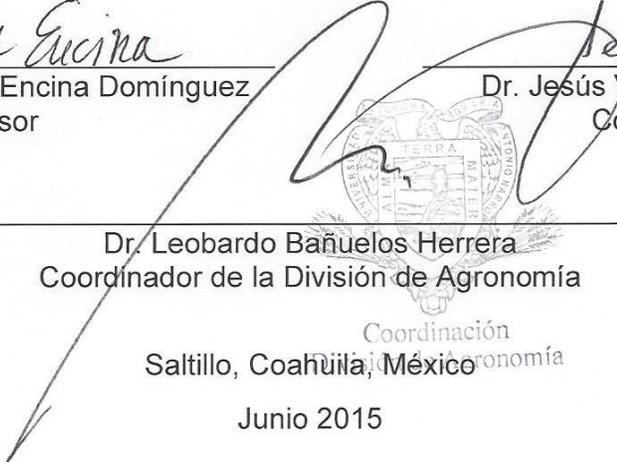
INGENIERO FORESTAL

Aprobada


Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Asesor Principal


M.C. Juan Antonio Encina Domínguez
Coasesor


Dr. Jesús Valdés Reyna
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
Saltillo, Coahuila, México

Junio 2015

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Por prestarme vida y fuerza de voluntad para seguir adelante, por todos los sacrificios y buenos momentos en mi vida que me ayudan a ser mejor persona.

A mi ALMA TERRA MATER por abrirme sus puertas y ser mi segundo hogar durante mi carrera, por contribuir a mi formación profesional e inculcarme ideales para servir a mi prójimo y a mi país.

A mis padres por darme la oportunidad de superarme y ser una persona de éxito, por sus sabios consejos que me ayudaron a seguir adelante y por todo el sacrificio que hicieron para mi desarrollo como profesionalista.

A Yohana González por su apoyo y cariño que me ha dado hasta ahora a pesar de los problemas que se nos han presentado.

Al M.C. Juan Encina Domínguez por su valioso tiempo en el apoyo para la elaboración del trabajo, así como sus consejos y sugerencias para el enriquecimiento y mejora del mismo, por brindarme su amistad y mostrarme el camino de la superación profesional .

Al Dr. Jesús Valdés Reyna y al Dr. Alejandro Zarate Lupercio por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo, así como en la revisión del documento.

Al Ing. Emmanuel Pérez por sus comentarios y sugerencias para la mejora del trabajo, así también por su amistad y consejos como compañero de trabajo.

A PROFAUNA A.C. por su apoyo y contribución para las salidas a campo, en especial a Juan Cárdenas, Rafael Cárdenas, Gustavo Caro y Armando Ramírez por la ayuda en la toma de datos en campo.

Al Ing. Onofre Pastrana por la elaboración del mapa del área de estudio.

A Yetlanezi Badillo por el diseño y elaboración del dendrograma de clasificación.

A los maestros del Departamento Forestal por las enseñanzas y conocimientos que brindaron en el transcurso de la carrera profesional.

A Yultzin Vázquez por su apreciada amistad y por sus consejos dados a lo largo de la carrera.

A Juan Manuel Rodríguez por aquella amistad que surgió de la nada y que hasta la fecha sigues y serás siendo un gran amigo, así como de los consejos y regaños que me diste cuando estaba mal, por eso y muchas cosas más, gracias.

DEDICATORIA

A mis padres por todo el esfuerzo y confianza que me dieron para lograr una de las metas más importantes en la vida.

A todos mis hermanos Claudia, Diana, Ana y Fernando.

A Yohana González por estar siempre conmigo.

ÍNDICE

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivo específico.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
EL MATORRAL XERÓFILO EN MÉXICO	3
ASPECTOS FITOGEOGRÁFICOS.....	3
ASPECTOS ECOLÓGICOS	4
PRINCIPALES COMUNIDADES DEL MATORRAL XERÓFILO EN NORESTE DE MÉXICO	4
Matorral Desértico Micrófilo	4
Matorral Desértico Rosetófilo.....	5
Matorral Espinoso Tamaulipeco.....	5
Matorral Submontano	5
ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN EN COMUNIDADES VEGETALES.....	6
DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE ESPECIES	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
Localización	7
Fisiografía	8
Geología y suelos	8
Hidrología.....	9
Clima	9
Vegetación	9
METODOLOGÍA	10
Diseño y muestreo de la vegetación	10
Evaluación de calidad del muestreo	11
Clasificación del matorral desértico rosetófilo	11

Análisis de la estructura de la vegetación	12
Cálculo de la diversidad en la comunidad estudiada	13
Ordenación de la vegetación mediante variables ambientales	14
RESULTADOS	16
COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	16
RIQUEZA ESTIMADA	17
CLASIFICACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DEL MATORRAL ROSETÓFILO DE LA SIERRA DE ZAPALINAMÉ	18
ESTRUCTURA DE LAS ASOCIACIONES DEL MATORRAL ROSETÓFILO	19
DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE LAS ASOCIACIONES DEL MATORRAL ROSETÓFILO	23
ESPECIES ENDÉMICAS Y LISTADAS EN LA NOM-059-SEMARNAT-2010	24
VARIABLES AMBIENTALES QUE CONDICIONAN LA DISTRIBUCIÓN DEL MATORRAL ROSETÓFILO DE LA SIERRA DE ZAPALINAMÉ	25
Análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA)	25
Análisis de correspondencia canónica (CCA)	27
DISCUSIÓN	31
COMPOSICIÓN FLORÍSTICA	31
RIQUEZA ESTIMADA	32
ESTRUCTURA DE LAS ASOCIACIONES DEL MATORRAL ROSETÓFILO	33
DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE LAS ASOCIACIONES DEL MATORRAL ROSETÓFILO	35
VARIABLES AMBIENTALES QUE CONDICIONAN LA DISTRIBUCIÓN DEL MATORRAL ROSETÓFILO	36
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
LITERATURA CITADA	40
APÉNDICE	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Clasificación de los niveles de perturbación en el área estudiada. ...	15
Cuadro 2	Aspectos estructurales de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.....	20
Cuadro 3	Índices de diversidad del estrato arbustivo de las asociaciones vegetales del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.....	24
Cuadro 4	Especies de la sierra Zapalinamé que se encuentran bajo un estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010.	24
Cuadro 5	Resultados del análisis desprovisto de tendencia (DCA).....	25
Cuadro 6	Análisis de correspondencia canónica (CCA) para la ordenación del matorral rosetófilo mediante variables ambientales.....	27
Cuadro 7	Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los primeros dos ejes de ordenación.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación geográfica del área de estudio.	7
Figura 2	Diseño de parcelas de muestreo.....	10
Figura 3	Familias con mayor riqueza de género y especies presentes en la sierra de Zapalinamé.	16
Figura 4	Curva de acumulación de especies mediante el ajuste de la ecuación de Clench del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.	17
Figura 5	Dendrograma de la clasificación de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.	18
Figura 6	Diagrama de ordenación de especies del matorral rosetófilo con relación al eje 1 y 2 del Análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA).	26
Figura 7	Diagrama de ordenación de las especies del matorral rosetófilo con relación a las variables ambientales mediante Análisis de correspondencia canónica (CCA).....	30

RESUMEN

La sierra de Zapalinamé es un área protegida por el gobierno estatal, se localiza en el sureste de Coahuila, en la transición entre el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Oriental, la vegetación dominante es matorral xerófilo. Con la finalidad de conocer la estructura y diversidad del matorral rosetófilo y el efecto de variables ambientales que condicionan su distribución se establecieron de manera selectiva 49 sitios de muestreo sobre un gradiente de 1,800 a 2,600 m de altitud, en parcelas de 500 m² para árboles, 100 m² para arbustos y 2 m² para especies herbáceas, se cuantificó el diámetro de copa, altura media y para árboles el diámetro de base. La definición de las asociaciones vegetales se realizó mediante análisis de conglomerados, se calcularon los atributos básicos de la vegetación como densidad, dominancia y frecuencia relativa y se calculó el valor de importancia relativa; para el cálculo de la diversidad se utilizó el índice de Shannon, índice de riqueza de Margalef, equitatividad de Pielou y dominancia de Simpson. Para la ordenación de la vegetación se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA). Se registraron 137 especies, 88 géneros y 34 familias, las de mayor riqueza son Asteraceae, Cactaceae y Poaceae. Se definieron cuatro asociaciones del matorral rosetófilo donde dominan las especies *Agave lechuguilla*, *Parthenium incanum*, *Dasyilirion cedrosanum* y *Purshia plicata*. La asociación *Agave lechuguilla-Dasyilirion cedrosanum* presenta el índice de diversidad más alto con 3.83 nats, mientras que la asociación *Dasyilirion cedrosanum-Purshia plicata* tiene la mayor equitatividad con 96.36%. Se identificó un gradiente de humedad donde las especies *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum*, *Quercus pringlei* y *Pinus pinceana* están más influenciadas a este gradiente. La composición de las asociaciones incluyen especies de las provincias florísticas: Altiplanicie y Sierra Madre Oriental, con mayor contribución de la primera provincia. El gradiente de humedad condiciona la distribución de las especies del matorral rosetófilo, excepto en *Agave lechuguilla* y *Agave scabra*, las cuales no están influenciadas por este factor.

Palabras clave: *Agave lechuguilla*, arbustivas, gradiente ambiental, riqueza de especies.

ABSTRACT

The sierra de Zapalinamé located in the southeast of Coahuila, its a protected area by the state government, is located in the transition between the Chihuahuan Desert and the Sierra Madre Oriental, where the Chihuahuan Desert Scrub is the dominant vegetation. In order to understand the structure and diversity of rosette scrub and the effect of environmental variables that determine its distribution we selectively established 49 sampling sites on a gradient of altitude from 1,800 to 2,600 m, on plots of 500 m² for trees 100 m² and 2 m² for shrubs and herbaceous species, quantifying crown diameter, average height and base diameter was measured upon trees. The definition of plant associations was performed using cluster analysis method, attributes of the vegetation density, dominance and relative frequencies were calculated for the relative importance, in order to calculate diversity values we used several indexes, among them the Shannon index, Margalef richness index, evenness of Pielou and dominance of Simpson. Canonical correspondence analysis (CCA) was used for vegetation management. Were recorded 137 species, 88 genera and 34 families, the richest are: Asteraceae, Cactaceae and Poaceae. Four floristic associations which dominate species *Agave lechuguilla*, *Parthenium incanum*, *Dasyllirion cedrosanum* and *Purshia plicata* defined. The *Agave lechuguilla*-*Dasyllirion cedrosanum* association presented the highest diversity index with 3.83 nats while *Dasyllirion cedrosanum*-*Purshia plicata* association had the highest evenness with 96.36%. Moisture gradient where species *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum*, *Quercus pringlei* and *Pinus pinceana* had greater influence this gradient is presented. The composition of the associations includes species of the floristic provinces: Upland and Sierra Madre Oriental mountain range. The moisture gradient determined the species distribution of rosette scrub, except *Agave lechuguilla* and *Agave scabra*, which is not influenced by this factor.

Keywords: *Agave lechuguilla*, shrubs, environmental gradient, species richness.

Correo electrónico; Cristóbal de Jesús Flores Hernández,
cflores92.uaaan@outlook.es

INTRODUCCIÓN

La región xerofítica incluye grandes extensiones del norte y centro de la República Mexicana, caracterizadas por su clima árido y semiárido y vegetación de matorral xerófilo, abarcan cerca del 40% del territorio nacional (Rzedowski, 2006). Es propio de amplias áreas de la Altiplanicie, desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Guanajuato, Hidalgo y el Estado de México. Representada por comunidades como matorral submontano, matorral tamaulipeco, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo (González, 2004).

En el estado de Coahuila la vegetación xerofítica ocupa 80% de su territorio (Anónimo, 1983) en donde concurre con las provincias de la Altiplanicie, Planicie Costera del Noreste y la Sierra Madre Oriental, la primera de ellas ocupa una mayor extensión, se distribuye en áreas con clima seco, de tipo continental, en altitudes entre 800 y 2,200 m y mayor variación en la vegetación, en ella domina el Matorral Desértico Chihuahuense (Henrickson y Johnston, 1983) a través de las comunidades del matorral micrófilo y el matorral rosetófilo, las especies más abundantes son micrófilas, suculentas y con hojas agrupadas en forma de roseta.

En el noreste de México se ha estudiado la estructura, diversidad y composición florística, en Nuevo León se ha estudiado el matorral submontano (Canizales *et al.*, 2009) y matorral tamaulipeco (Alanís *et al.*, 2008 y Jiménez *et al.*, 2009) por su parte en Coahuila el matorral rosetófilo ha sido estudiado por Encina *et al.* (2013). En general el matorral rosetófilo ha sido poco estudiado tanto a nivel regional como nacional, se considera una comunidad abundante en el norte de México (Alanís *et al.*, 2015) y en donde solo pocos estudios han aportado información ecológica (Encina *et al.*, 2013; Treviño, 2004; Alanís, 2015 y Huerta y García, 2004).

La sierra de Zapalinamé es Zona Sujeta a Conservación Ecológica decretada en 1996 por el gobierno de Coahuila (Anónimo, 2010), se localiza en el sureste del estado de Coahuila (Anónimo, 1983), el 30% de la superficie pertenece a la Ecoregión del Desierto Chihuahuense, destacado por tener gran biodiversidad tanto de especies vegetales como animales (Williams *et al.*, 2001), donde corresponden a las comunidades del matorral desértico micrófilo (34.06%), matorral desértico rosetófilo (8.93%) y matorral submontano (2.44%) (Anónimo, 2010).

De acuerdo a lo anterior en este estudio se pretende clasificar y determinar la estructura, diversidad y algunas variables ecológicas que condicionan la distribución de las especies del Matorral Desértico Rosetófilo en la sierra de Zapalinamé, con la finalidad de obtener información ecológica de esta comunidad vegetal.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la estructura, diversidad y aspectos ecológicos de las especies del matorral desértico rosetófilo en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México.

Objetivo específico

- Caracterizar la estructura horizontal del matorral desértico rosetófilo en la Sierra de Zapalinamé.
- Determinar la diversidad y riqueza del matorral desértico rosetófilo.
- Determinar algunas variables físicas ambientales que condicionan la distribución de las especies del matorral desértico rosetófilo.

REVISIÓN DE LITERATURA

El matorral xerófilo en México

Los matorrales xerófilos abarcan diversas comunidades vegetales de porte arbustivo dominantes en los climas áridos y semiáridos de México, los cuales cubren la mayor parte del Altiplano mexicano (Challenger y Soberón, 2008). Comprenden el 27% de la cobertura total de la vegetación, en este predominan los géneros de afinidad neotropical (37%), con una contribución de 44% de los géneros, este tipo de vegetación están entre los más importantes de México por su extensión y contribución a la flora endémica del país (Rzedowski 1998; SEMARNAT, 2010). La flora xerófila de México se caracteriza por considerables formas biológicas que constituyen modos de adaptación del mundo vegetal para soportar la aridez (Rzedowski, 2006). Los matorrales están formados por vegetación arbustiva que generalmente presenta ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con altura variable, pero casi siempre inferior a 4 m (INEGI, 2009).

Aspectos fitogeográficos

El tipo de vegetación xerofítica es propio de amplias áreas de la Altiplanicie mexicana correspondiente a la región neotropical, desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Guanajuato, Hidalgo y el Estado de México, prolongándose aún más al sur en forma de faja estrecha a través de Puebla hasta Oaxaca. Además constituye la vegetación de una parte de la Planicie Costera Nororiental, desde el este de Coahuila hasta el centro de Tamaulipas, hasta llegar a parajes de la Sierra Madre Oriental (Rzedowski, 2006). Estas comunidades se desarrollan típicamente desde el nivel del mar hasta los tres mil metros de altitud (INEGI, 2009). Se localizan en las partes bajas de Sonora, Baja California, Baja California Sur y en el centro-norte del país, en porciones de los Estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Tamaulipas (Rzedowski, 2006).

Aspectos ecológicos

La vegetación está condicionada a una precipitación promedio inferior a los 700 mm anuales y por lo general el régimen de lluvias es estival; así también se pueden observar en diferentes condiciones topográficas y edafológicas la cual influye en la fisonomía y composición florística de las comunidades (Rzedowski, 2006). Este tipo de ecosistema presenta una alta diversidad beta (β), con elevada tasa de recambio de especies entre sitios y regiones. Los matorrales xerófilos tienen una fisonomía en la que predominan los arbustos de baja estatura, baja densidad, debido a que las condiciones de aridez limitan la producción de biomasa (Challenger y Soberón, 2008).

La diversidad biológica es relativamente baja por unidad de superficie; a pesar de ello los ecosistemas de zonas áridas de México son el centro mundial más importante de evolución de las cactáceas, especies características de estos ecosistemas. La densidad de los matorrales es variable, tanto entre diversas comunidades como dentro de la misma durante las estaciones del año (INEGI, 2009).

Principales comunidades del matorral xerófilo en noreste de México

Matorral Desértico Micrófilo

Comunidad vegetal propia de zonas áridas y semiáridas de mayor distribución en México formado por arbustos de hoja o folíolo pequeño (INEGI, 2009), se integra por especies arbustivas con alturas de 0.40 a 1.0 m, así como algunos individuos mayores a 1.5 m de alto. Se distribuye sobre el fondo de los valles que bordean la sierra y lomeríos o bien, en las partes bajas de abanicos aluviales, donde los suelos son profundos y poco pedregosos, a altitudes entre 1,100 y 2,000 m (Anónimo, 2010), puede estar formado por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados; asimismo pueden estar en su composición otras formas de vida, como cactáceas, izotes o gramíneas (INEGI, 2009). Las especies representativas de esta comunidad son: *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Mimosa biuncifera* y *Koeberlinia spinosa* (Henrickson y Johnston, 1983).

Matorral Desértico Rosetófilo

Matorral dominado por especies con hojas en forma de roseta, con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado (INEGI, 2009), se caracterizan por crecer en agrupaciones de arbustos, espinosos y perennifolios; los cuales forman un estrato arbustivo o subarbustivo, con una altura de 30 a 60 cm de alto. Es la vegetación más común y abundante en laderas de exposición sur donde los suelos son someros y pedregosos de tipo litosol y rendzina, en altitudes que oscilan entre 1,800 y 2,500 m (Anónimo, 2010). En esta comunidad vegetal se desarrollan algunas de las especies de mayor importancia económica de esas regiones áridas como: *Agave lechuguilla*, *Euphorbia antisiphylitica*, *Parthenium argentatum*, *Yucca carnerosana*, entre otras (Henrickson y Johnston, 1983).

Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Esta comunidad arbustiva está constituida por la dominancia de especies espinosas, caducifolias una gran parte del año o áfilas (sin hojas), es ampliamente difundido en el noreste de Tamaulipas, también se observa en el norte de Nuevo León y Coahuila (INEGI, 2009). Su composición consiste en árboles de porte medio alto y arbustos, localmente se denomina matorral espinoso o matorral subinorme (Rzedowski, 2006). Las especies leñosas que destacan por su abundancia y cobertura son: *Acacia rigidula*, *A. farnesiana*, *Pithecellobium pallens*, *Cordia boissieri*, *Karwinskia humboldtiana* y *Prosopis glandulosa* (Alanís *et al.*, 2008, Semarnat, 2010).

Matorral Submontano

Esta comunidad es considerada como una variante del Matorral Xerófilo (Rzedowski, 2006) es una formación arbustiva y subarbórea rica en sus formas de vida (Alanís *et al.*, 1996). Se distribuye a través de la Sierra Madre Oriental desde Coahuila hasta el centro-sur de México en climas semiáridos y altitudes inferiores a los 2,000 m. Es un matorral denso de hasta 3 m de alto, integrado por arbustos micrófilos e inermes (Rzedowski, 2006). Las especies dominantes pertenecen a los

géneros: *Quercus*, *Rhus*, *Diospyros*, *Acacia* y *Callia*, además de especies de la familia Rosaceae (Encina *et al.*, 2012).

Estructura y composición en comunidades vegetales

El estudio de la composición y estructura de la vegetación permite establecer una aproximación de la condición actual de un ecosistema (Wilson *et al.*, 1984). Este enfoque se utiliza en distintos tipos de vegetación, desde los desiertos hasta las selvas tropicales, y permite identificar especies indicadoras, o grupos de taxa que caractericen ciertas condiciones ambientales (Dufrière y Legendre, 1997).

La caracterización fisonómica estudia la estructura de las comunidades vegetales que está definida por la manera en que se ordenan los individuos de forma horizontal y vertical, la estructura vertical refleja la estratificación de las especies, y la horizontal la densidad, el área basal y la cobertura (Rangel y Velázquez, 1997). El conocimiento y evaluación de las características estructurales y su dinámica, son un factor fundamental para determinar las posibilidades de utilización, bien sea en aspectos de producción, conservación o regulación de un tipo de vegetación (Alvis, 2009).

Diversidad y riqueza de especies

La diversidad de especies se refiere a la variedad de especies que se presenta en una dimensión espacio - temporal definida, resultante de conjuntos de interacción entre especies que se integran en un proceso de selección, adaptación mutua y evolución, dentro de un marco histórico de variaciones medioambientales locales (Ramírez, 2006). Se compone por dos elementos, variedad o riqueza y abundancia relativa de especies (Magurran, 2004). Determinar la diversidad sirve para establecer el estado de conservación, grado de desarrollo y una toma de decisiones para los ajustes necesarios de los ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2001).

El número de especies de una región, la riqueza en especies es una medida que comúnmente se utiliza, para precisar la "diversidad taxonómica" la cual tiene en cuenta la estrecha relación existente entre una especie y otras (Moreno, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Localización

La sierra de Zapalinamé se localiza en el sureste de Coahuila, en los municipios de Saltillo y Arteaga (figura 1), es una zona de transición entre el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Oriental. Se ubica entre las coordenadas 25°15'00" - 25°25'58.35" de latitud Norte y entre 100°47'14.5" - 101°05'3.8" de longitud Oeste (Anónimo, 2010).

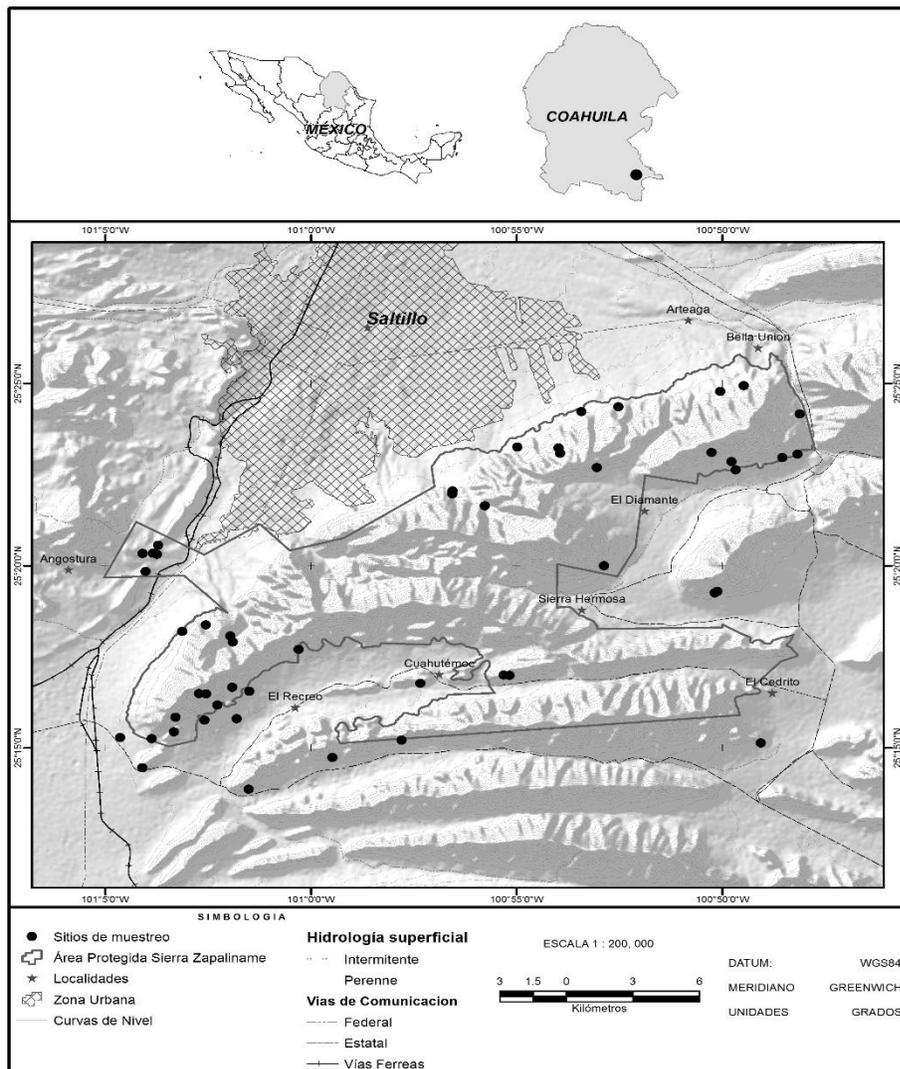


Figura 1 Ubicación geográfica del área de estudio.

Fisiografía

La región donde se ubica la sierra de Zapalinamé pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental que se extiende desde el centro del país, llega en forma continua hasta el extremo sureste del estado de Coahuila, el 60.71% queda dentro de la Subprovincia Gran Sierra Plegada mientras que el resto (39.28%), en la Subprovincia Pliegue Saltillo-Parras (Anónimo, 1983). La orientación de los pliegues transversales es de este a oeste, con altitudes entre 1,590 a 2,200 m, alcanza su mayor elevación a 3,140 m en el cerro El Penitente (Meganck *et al.*, 1981). El relieve original de esta región, consistente en pliegues y rupturas fue moldeado por procesos exógenos donde la erosión hídrica es el principal agente; así como la acción del intemperismo físico (Anónimo, 1982).

Geología y suelos

La geología de la sierra de Zapalinamé y su área de influencia, está representada por un basamento de rocas del Paleozoico, sobre las cuales descansa una gruesa columna sedimentaria mesozoica (48.92%) y un conjunto de depósitos conglomeráticos cenozoicos (51.07%). Las rocas sedimentarias del Mesozoico incluyen formaciones del Jurásico superior (1%), del Cretácico inferior (36.06%) y del Cretácico superior (11.85%), en tanto que los depósitos del Cenozoico incluyen formaciones del Cuaternario (51.07 %) (Cárdenas, 1993).

Está compuesta por suelos y afloramientos rocosos que se alternan con áreas de suelos muy someros (Anónimo, 1983). Los suelos son en su mayoría aluviales con componentes calcáreo arcilloso, originados de depósitos aluviales y fluviales constituidos por gravas, arenas y arcillas, así también presentan fases químicas de salinidad y sodicidad (Anónimo, 1983). De acuerdo a la información digital del SIGMAPLAN (Anónimo, 2003), hay trece tipos de suelos dominantes en la sierra de Zapalinamé y su área de influencia. De ellos, los suelos de tipo Litosol y los de tipo Rendzina, abarcan mayor superficie en comparación con los otros tipos de suelo, pues en conjunto cubren 64.76% de la superficie; en tanto que ninguno de los otros supera el 10%, excepto el suelo de tipo Xerosol Háplico que cubre el 10.99% de las superficie total.

Hidrología

La sierra y su área de influencia se encuentra en dos regiones hidrológicas en la Bravo Conchos, en la cuenca Río Bravo-San Juan (77.93%) y en El Salado, en la cuenca San Pablo (22.06%) (CNA, 1998). Las microcuencas aportantes de la primera porción son: Agua de Mulas, Las Terneras, Arroyo del Pueblo, El Cuatro, Boca de León, El Blanco, Los Chorros, Arroyo Grande, El Recreo y Los Caballos mientras que la segunda está integrada por las microcuencas de Los Llanos, Tanque de los Laurel y Los Ardillones (Anónimo, 2010).

Clima

El clima predominante en la sierra de Zapalinamé de acuerdo a la clave climática BS1kw que significa semiárido templado con temperatura media anual entre 12 y 18°C, con lluvias en verano y lluvias invernales las cuales alcanzan del 5 a 10% del total anual en la parte centro sur, mientras que al norte predomina un clima BSohw definido como árido semicálido con temperatura media anual entre 18 y 22°C, la precipitación media anual es de 498 mm anuales (Anónimo, 2010).

Vegetación

La sierra de Zapalinamé y su área de influencia, se localizan en la zona de transición entre la Sierra Madre Oriental y la Ecorregión del Desierto Chihuahuense; debido a esto en el área convergen comunidades vegetales propias de estas Provincias (Anónimo, 2010) y de acuerdo con Rzedowski (2006), la vegetación de la sierra de Zapalinamé está integrada por floras de los reinos Holártico y Neotropical; razón por la cual se presenta una rica diversidad florística y de tipos de vegetación.

En general la cubierta vegetal de las áreas con exposición sur está representada por matorrales rosetófilos y micrófilos. En las partes altas está integrada por bosque de pino y oyamel, en los cañones se localizan bosques de encino y en las laderas bajas de exposición norte y oeste se presenta el matorral submontano de rosáceas (Marroquín, 1976 y Villarreal y Valdés, 1992-93)).

Metodología

Diseño y muestreo de la vegetación

Se establecieron 49 sitios de manera selectiva a través de un gradiente altitudinal. El muestreo de la vegetación se realizó con el método de parcela (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). La información de árboles (individuos con diámetro $\geq 5\text{cm}$) se tomó en sitios de 500 m^2 , para arbustos se utilizó una parcela 100 m^2 , se consideró variaciones en la composición florística y condiciones de humedad para conocer el grado de asociación del Matorral Desértico Rosetófilo, las herbáceas se evaluaron en parcelas de 2 m^2 . En cada sitio se cuantificó la altura y cobertura de copa de las especies presentes y para el caso de árboles se midió el diámetro a la base (figura 2).

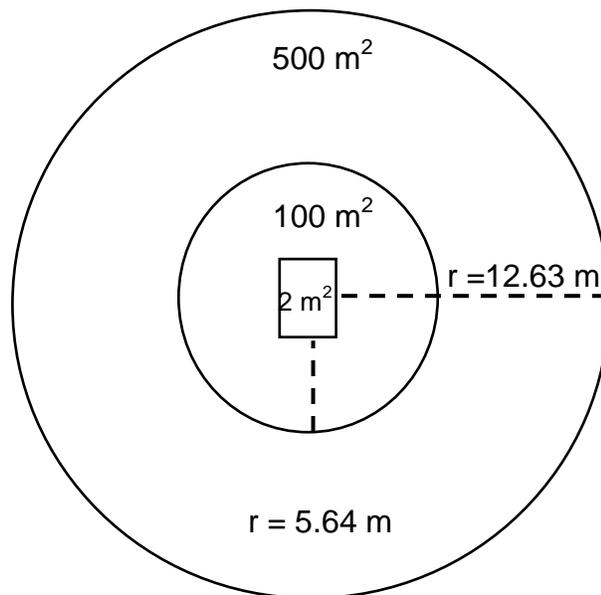


Figura 2 Diseño de parcelas de muestreo

Se recolectaron muestras botánicas de las especies que presentaron flores o frutos, las cuales se pusieron a disposición del herbario ANSM (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), la nomenclatura de estas se revisó en la base de datos: *International plant name index* (<http://www.ipni.org>). Cada sitio de muestreo fue georreferenciado con un receptor GPS, además de registrar la altitud (tomada de un altímetro-barómetro).

Evaluación de calidad del muestreo

Con el programa *Estimates* v.9.1 y *Statística* v.12 se elaboró la curva de acumulación de especies (Jiménez y Hortal, 2003) y la función de acumulación de Clench (Soberón y Llorente, 1993), el cual predice la riqueza total de un sitio como el valor del número de especies donde la curva de acumulación alcanza la asíntota u horizontalidad.

$$E(s) = \frac{ax}{1 + bx}$$

Posteriormente con la derivada de la función de Clench se analizara la calidad del inventario, de acuerdo con Jiménez y Hortal (2003) a partir de proporciones superiores al 70% las estimaciones de la riqueza asíntótica se hacen estables. Dicho análisis se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{S_{obs}}{(a/b)}$$

Donde *Fr* es la proporción de la flora registrada, S_{obs} es especies observadas; a y b son parámetros de la ecuación.

Clasificación del matorral desértico rosetófilo

Para determinar las asociaciones vegetales del Matorral Desértico Rosetófilo, se utilizó el análisis de conglomerados, mediante la técnica de Clasificación Jerárquica, Polietética y Aglomerativa a través del método de análisis de correspondencia (Hill, 1973a, 1974) y el programa de clasificación ecológica TWINSpan v. 2.3 (Hill y Šmilauer, 2005). Con la información de 85 especies leñosas

se preparó una matriz con los datos de densidad para efectuar el análisis de conglomerados.

Análisis de la estructura de la vegetación

Para la evaluación de la asociación de especies se calcularon los atributos de abundancia, frecuencia y dominancia absoluta y relativa por especie, hecho esto se realizó la sumatoria de dichos atributos para la obtención del Índice de Valor de Importancia (Mueller - Dombois y Ellenberg, 1974). Para lo cual se utilizaron las siguientes formulas:

$$Densidad\ absoluta = \frac{Numero\ de\ individuos\ de\ la\ especie\ i}{Area\ muestreada}$$

$$Desnidad\ relativa = \frac{Numero\ de\ individuos\ de\ la\ especie\ i}{Total\ de\ inividuos} * 100$$

$$Dominancia\ absoluta = \frac{Cobertura\ de\ copa\ de\ la\ especie\ i}{Area\ muestreada}$$

$$Dominancia\ relativa = \frac{Dominancia\ por\ especie}{Dominancia\ total} * 100$$

$$Frecuencia\ absoluta = \frac{Numero\ de\ sitios\ con\ la\ especie\ i}{Numero\ total\ de\ sitios}$$

$$Frecuencia\ relaitva = \frac{Frecuencia\ de\ la\ especie\ i}{Total\ de\ las\ frecuencias} * 100$$

Con los valores relativos obtenidos se calcula el valor de importancia mediante la fórmula:

$$V.I.R. = \frac{Abundancia\ rel. + Frecuencia\ rel. + Dominancia\ rel.}{3}$$

Cálculo de la diversidad en la comunidad estudiada

Índice de Shannon – Wiener

Es uno de los índices más utilizados para determinar la diversidad de especies de plantas de un hábitat (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 2004). Dicho índice se calcula de la siguiente manera:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

Donde S es el número de especies presentes, Ln es logaritmo natural y p_i es la proporción de las especies $p_i = n_i / N$; donde n_i es el número de individuos de la especie i y N es el número total de individuos.

Índice de equitatividad de Pielou

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 2004). Para fines prácticos los valores de este índice se transformaron a porcentajes (Moreno, 2001).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde $H'_{max} = \ln S$, S es el número total de especies registradas.

Índice de riqueza de Margalef

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 2004). Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Al usar $S-1$, en lugar de S , el índice de Margalef es cero cuando hay una sola especie (Moreno, 2001).

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde S es el número de especies registradas y N es el número total de individuos de todas las especies.

Índice de Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 2004; Peet, 1974). Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$ (Lande, 1996).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Ordenación de la vegetación mediante variables ambientales

Con la finalidad de obtener los atributos ecológicos de la vegetación mediante variables ambientales y verificar los cambios de la composición de especies, se utilizaron datos de densidad de 34 especies, que se sometieron a técnicas de ordenación multivariadas, para lo cual se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA) (Ter Braak, 1986 y 1987) mediante el programa CANOCO versión 4.0 para Windows (Ter Braak y Smilauer, 1988) y CANODRAW versión 2.1 (Smilauer, 1992) para obtener los diagramas de ordenación. Las variables

ambientales utilizadas son: precipitación anual y temperatura media anual, altitud y pendiente, como factor adicional se evaluó el nivel de perturbación. Los datos de las variables climáticas se obtuvieron por interpolación de la información de un análisis de regresión lineal (Zar, 1999) realizado con registros de los últimos 10 años (Terwin, 2007) , provenientes de 45 estaciones climatológicas con la finalidad de tener mayor variación para el área de estudio; la variables utilizadas son: altitud en base al modelo digital del terreno (INEGI, 2013) como variable independiente, temperatura media anual y precipitación anual como variables dependientes y de esta manera se obtuvo el modelo digital de los valores medios anuales de precipitación y temperatura. Para medir la perturbación o disturbio se propone como criterio la cobertura impactada (ramoneo de plantas) como indicador principal, densidad de excretas y compactación del suelo (Recango y Martorell, 2001), los niveles fueron evaluados en niveles de 1 a 3 clasificados como lo muestra el cuadro 1.

Cuadro 1 Clasificación de los niveles de perturbación en el área estudiada.

Nivel	Grado de perturbación	Cobertura impactada (%)
1	Sin perturbación aparente	< 10
2	Ligera	10 a 30
3	Moderada	30 a 50
4	Alta	50 a 70
5	Muy Alta	> 70

Se realizó un análisis de gradiente indirecto mediante análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA) con la finalidad de diferenciar la racionalidad del modelo de respuesta, mediante un comportamiento unimodal de los datos de las especies, ya que para ordenar la vegetación mediante variables ambientales es necesario que las especies presenten un modelo de respuesta unimodal (Ter Braak y Smilauer, 1998); cuando los datos del DCA presentan una longitud de gradiente asociada al primer eje igual o mayor a 3 unidades de desviación estándar se justifica la aplicación de dicho modelo (Ter Braak, 1988, Ter Braak y Smilauer, 1998).

RESULTADOS

Composición florística

Como parte de la flora, se registraron 137 especies, distribuidas en 34 familias y 88 géneros, las familias con mayor riqueza son Asteraceae con 22 especies, Cactaceae (21), Poaceae (17) y Fabaceae (10 especies). Los géneros más abundantes son *Echinocereus* y *Opuntia* con seis especies, seguido de los géneros *Quercus* y *Agave* con cinco y cuatro especies (figura 3). En el apéndice 1 se presenta el listado florístico de las especies registradas en el matorral rosetófilo para la sierra de Zapalinamé.

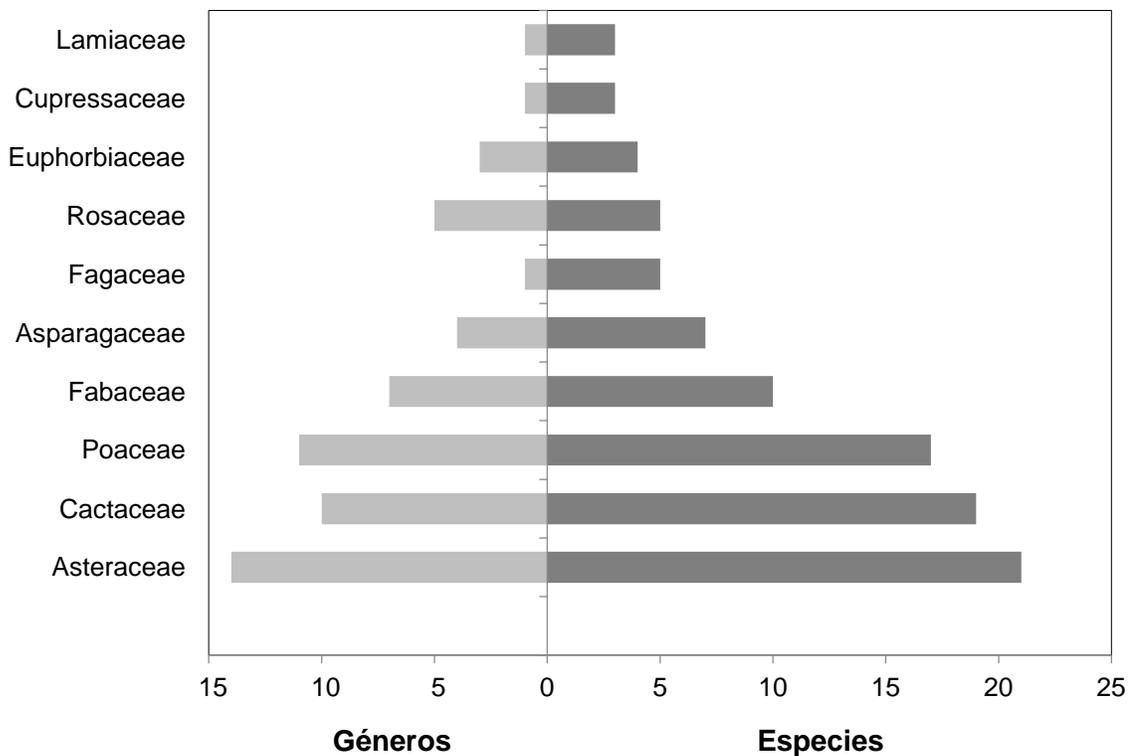


Figura 3 Familias con mayor riqueza de género y especies presentes en la sierra de Zapalinamé.

Riqueza estimada

De acuerdo a la gráfica acumulativa de especies (figura 4) y en base a la derivada de la ecuación de Clench, se obtuvo un registro de la riqueza estimada de un 85.82%, lo cual indica que el muestreo fue suficiente y por ello no se requiere mayor esfuerzo de muestreo y por lo tanto la curva de riqueza estimada tiende a ser asintótica y la estimación de la diversidad tiende a estabilizarse, donde el ajuste de datos mostró un $R^2 = 0.99$.

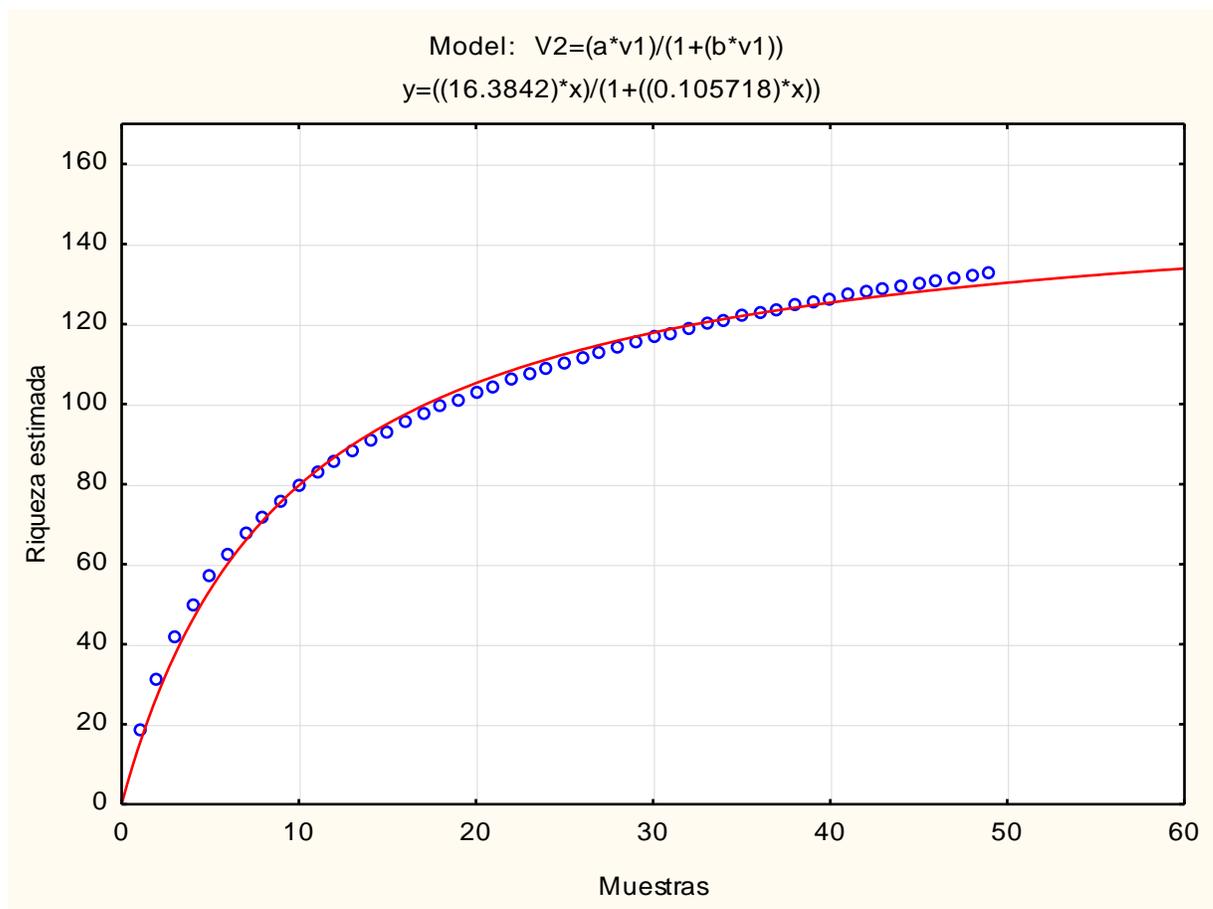


Figura 4 Curva de acumulación de especies mediante el ajuste de la ecuación de Clench del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.

Clasificación de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé

En base a la clasificación obtenida del TWINSpan se definieron dos grupos, correspondientes al Matorral Desértico Chihuahuense y Matorral Submontano, en el primer grupo se presentan dos asociaciones de especies dominadas por *Agave lechuguilla*-*Jatropha dioica* y *Agave lechuguilla*-*Agave striata*; mientras que el segundo grupo lo componen *Agave lechuguilla*-*Agave scabra* y *Dasyllirion cedrosanum* - *Agave gentryi* (figura 5).

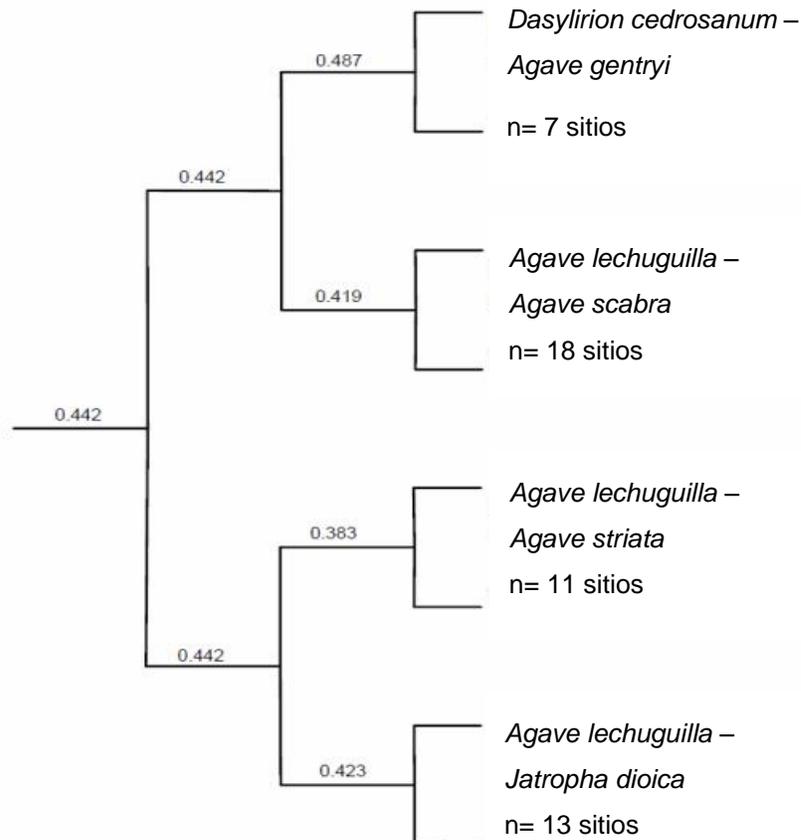


Figura 5 Dendrograma de la clasificación de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.

Estructura de las asociaciones del matorral rosetófilo

Dada las condiciones del microrelieve ocurren zonas transicionales entre las comunidades del matorral rosetófilo y matorral micrófilo, así como entre el matorral rosetófilo y el matorral submontano, las cuales se describen a continuación.

a) Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* – *Parthenium incanum*.

Se desarrolla en áreas de mayor radiación solar, en laderas de exposición sureste y noroeste, en un gradiente de altitud de 1,832 a 2,165 m. Las especies son arbustos de porte bajo, con hojas en forma de roseta y micrófilas, con algunas especies espinosas, con alturas frecuentes que oscilan de 34.4 a 108.6 cm. Las dominantes son *Agave lechuguilla* con densidad de 13,408 ind/ha y *Parthenium incanum* con densidad de 1,385 ind/ha e integran un Valor de Importancia Relativa (VIR) de 32.389% (cuadro 2). Se presentan especies frecuentes como *Mimosa zygophylla* con densidad de 1,092 ind/ha y *Salvia ballotiflora* con 738 ind/ha, integran un VIR de 9.070%, otra especie propia del matorral micrófilo es *Larrea tridentata* con densidad de 569 ind/ha y VIR de 3.873%. Se presenta alta riqueza de la familia Cactaceae donde destacan las especies *Mammillaria chionocephala*, *Echinocereus stramineus* y *Neolloydia conoidea* con densidades que oscilan de 308 a 138 ind/ha e integran un VIR de 3.011%.

En el estrato arbóreo se presentan dos especies que se encuentran de manera escasa, estas son *Pinus cembroides* con densidad de 9 ind/ha y un VIR de 71.297% y *Pinus pinceana* con densidad de 2 ind/ha y VIR de 28.703%, presentan diámetro medio de 11.5 y 30 cm, respectivamente (Apéndice 2).

En el estrato herbáceo se presentaron alturas de 7.7 a 58.8 cm, donde las dominantes son *Bouteloua gracilis* con densidad de 21,154 ind/ha y *Bouteloua curtipendula* con 8,077 ind/ha, integran un VIR de 34.227% (Apéndice 2).

Cuadro 2 Aspectos estructurales de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.

Espece	Altura media (cm)	Densidad (ind/ha)	Dens Rel (%)	Dom Rel (%)	Frec Rel (%)	*VIR (%)
<i>Agave lechuguilla</i> - <i>Parthenium incanum</i> (1,832 – 2,165 m s.n.m.)						
<i>Agave lechuguilla</i>	34.4	13,408	50.115	23.118	6.667	26.633
<i>Parthenium incanum</i>	53.8	1,385	5.175	7.648	4.444	5.756
<i>Mimosa zygophylla</i>	65.0	1,092	4.083	6.47	3.333	4.629
<i>Salvia ballotiflora</i>	66.9	738	2.76	5.008	5.556	4.441
<i>Larrea tridentata</i>	108.2	569	2.128	6.714	2.778	3.873
<i>Fouquieria splendens</i>	287.3	92	0.345	9.998	1.111	3.818
<i>Mimosa biuncifera</i>	54.4	523	1.955	4.919	3.889	3.588
<i>Viguiera stenoloba</i>	56.5	777	2.904	2.788	3.889	3.194
<i>Calliandra conferta</i>	38.9	546	2.041	3.112	3.889	3.014
<i>Dasyllirion cedrosanum</i>	108.6	254	0.949	4.341	3.333	2.874
Otras especies (49)		7,369	27.545	25.885	61.111	38.18
<i>Agave lechuguilla</i> - <i>Fouquieria splendens</i> (2,092 – 2,498 m s.n.m.)						
<i>Agave lechuguilla</i>	33.2	9,391	38.602	9.903	5.076	17.861
<i>Fouquieria splendens</i>	276.9	536	2.205	29.502	4.061	11.922
<i>Agave striata</i>	54.9	1,727	7.1	6.022	3.553	5.559
<i>Dasyllirion cedrosanum</i>	97.1	518	2.13	6.599	5.584	4.771
<i>Opuntia stenopetala</i>	32.0	709	2.915	4.517	4.569	4
<i>Neolloydia conoidea</i>	10.8	1,718	7.063	0.164	4.061	3.763
<i>Viguiera greggii</i>	65.6	864	3.55	3.921	3.553	3.675
<i>Lindleya mespiloides</i>	180.7	255	1.046	6.888	3.046	3.66
<i>Hechtia texensis</i>	23.3	1,527	6.278	0.997	2.03	3.102
<i>Krameria cytisoides</i>	51.8	309	1.271	3.09	4.061	2.807
Otras especies (42)		6,773	27.84	28.398	60.406	38.881
<i>Agave lechuguilla</i> - <i>Dasyllirion cedrosanum</i> (1,901 – 2,612 m s.n.m.)						
<i>Agave lechuguilla</i>	34.1	4,356	27.538	7.124	5.2	13.287
<i>Dasyllirion cedrosanum</i>	113.5	878	5.55	15.803	6.8	9.384
<i>Agave scabra</i>	36.0	2,300	14.542	6.646	4	8.396
<i>Lindleya mespiloides</i>	143.6	500	3.161	12.784	4.4	6.782
<i>Opuntia stenopetala</i>	38.3	689	4.355	6.198	4.8	5.118
<i>Rhus virens</i>	114.1	283	1.791	7.433	3.6	4.275
<i>Cercocarpus fothersgilloides</i>	142.5	200	1.264	8.012	3.2	4.159
<i>Agave striata</i>	55.5	561	3.548	2.855	4	3.468
<i>Gochnatia hypoleuca</i>	121.7	150	0.948	3.533	3.2	2.56

<i>Neolloydia conoidea</i>	9.3	800	5.058	0.062	2.4	2.507
Otras especies (57)		5,100	32.24	29.55	58.4	40.06
<i>Dasyilirion cedrosanum</i> - <i>Purshia plicata</i> (1,841 – 2,433 m s.n.m.)						
<i>Dasyilirion cedrosanum</i>	113.9	1,400	11.667	22.363	7.407	13.812
<i>Purshia plicata</i>	102.1	857	7.143	11.565	7.407	8.705
<i>Quercus striatula</i>	80.8	800	6.667	11.84	3.704	7.403
<i>Chrysactinia mexicana</i>	34.2	1,157	9.643	1.795	6.173	5.87
<i>Agave gentryi</i>	34.0	1,200	10	2.409	3.704	5.371
<i>Nolina cespitifera</i>	73.1	614	5.119	4.889	4.938	4.982
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	61.9	986	8.214	1.706	4.938	4.953
<i>Agave lechuguilla</i>	35.0	1,043	8.69	1.855	3.704	4.75
<i>Cercocarpus fothersgilloides</i>	141.2	343	2.857	7.65	3.7	4.74
<i>Berberis trifoliolata</i>	78.1	329	2.738	3.414	4.938	3.697
Otras especies (28)		3,271	27.262	30.512	49.383	35.719

*VIR: Dens Rel + Dom Rel + Frec Rel / 3

b) Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* - *Fouquieria splendens*.

Se desarrolla en zonas con afloramientos rocosos y en pendientes moderadas (<25%), en altitudes de 2,092 a 2,498 m, con frecuencia en exposiciones sur y sureste. Los arbustos dominantes son de porte medio y pocos de porte alto, con alturas que oscilan de 10.8 a 276 cm. Las especies dominantes son *Agave lechuguilla* con densidad de 9,391 ind/ha y *Fouquieria splendens* con densidad de 536 ind/ha e integran un VIR de 29.783%. Se presentan especies como *Agave striata* con 1,727 ind/ha, *Dasyilirion cedrosanum* con 518 ind/ha y *Hechtia texensis* con densidad de 1,527 ind/ha, propias del Matorral Desértico Chihuahuense. De igual manera se presenta alta riqueza de cactáceas, donde en mayor abundancia es *Neolloydia conoidea* con densidad de 1,718 ind/ha y VIR de 3.763% y seguidas por *Mammillaria chionocephala*, *Ferocactus pilosus* y *Echinocereus eneacanthus* con densidad que oscila de 327 a 155 ind/ha e integran un VIR de 3.633%.

En el estrato arbóreo se presentan individuos aislados de *Pinus pincheana* con altura media de 4.2 m con densidad de 82 ind/ha y VIR de 88.946% y *Pinus cembroides* con altura media 3.6 m y 5 ind/ha, con diámetro medio de 19.7 y 13 cm, respectivamente (Apéndice 2).

Para el estrato herbáceo las especies dominantes son *Astrolepis cochisensis* con densidad de 10,909 ind/ha y *Dyssodia pinnata* con densidad de 1,945 ind/ha, que integran un VIR de 26.517%. Otras frecuentes son *Bouteloua gracilis* y *Cheilanthes eatonii* cada una con densidad de 7,727 ind/ha, ambas integran un VIR de 22.908% (Apéndice 2).

c) Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* - *Dasyllirion cedrosanum*.

Se desarrolla en zonas con mejor humedad en altitudes que oscilan de 1,901 a 2,612 m, se presenta en la mayoría de las exposiciones, pero en laderas de exposición Sur y Noroeste es frecuente. Está conformada por arbustos de porte medio, con alturas de 1 hasta 2 m. Las especies dominantes son *Agave lechuguilla* con densidad de 4,356 ind/ha y *Dasyllirion cedrosanum* con densidad de 878 ind/ha que integran un VIR de 22.671%. Otras frecuentes y propias del matorral submontano son *Agave scabra*, *Lindleya mespiloides*, *Rhus virens* y *Cercocarpus fothergilloides* con densidad que oscila de 500 a 200 ind/ha e integran un VIR de 15.215%. Se presenta alta riqueza de cactáceas donde destacan *Neolloydia conoidea*, *Mammillaria chionocephala* y *Echinocereus stramineus* con densidad que oscila de 800 a 122 ind/ha, integran un VIR de 4.463%.

En el estrato arbóreo se presenta a través de individuos aislados con alturas de entre 2 a 4.6 m y diámetro medio de 6 a 30 cm, donde dominan *Pinus cembroides* con densidad de 72 ind/ha y VIR de 44.169% y *Pinus pinceana* con densidad de 82 ind/ha y VIR de 40.487%. La especie *Quercus laceyi* es escaso con densidad de 10 ind/ha y VIR de 5.392% (Apéndice 2).

En el estrato herbáceo las especies dominantes son *Muhlenbergia emersleyi* con densidad de 6,944 ind/ha y VIR de 21.574%, seguida de *Aristida curvifolia* con 13,056 ind/ha y VIR de 18.141% (Apéndice 2).

d) Matorral rosetófilo de *Dasyllirion cedrosanum* - *Purshia plicata*.

De manera similar a la anterior se desarrolla en áreas con mayor humedad, en altitudes de 1,841 a 2,433 m. Como dominante se presenta *Dasyllirion cedrosanum* con densidad de 1,400 ind/ha y *Purshia plicata* con 857 ind/ha, integran un VIR de 22.517%. Otras frecuentes son *Quercus striatula*, *Chrysactinia mexicana*, *Agave*

gentryi y *Nolina cespitifera* con densidad que oscila de 1,200 a 800 ind/ha, integran un VIR de 18.644%, de manera ruderal se presenta la especie *Gymnosperma glutinosum* con 986 ind/ha. Se presenta baja riqueza de cactáceas, donde las abundantes son *Echinocereus stramineus*, *Mammillaria winterae* y *Mammillaria chionocephala* con densidades de 271 a 14 ind/ha e integran un VIR de 2.194%.

En el estrato arbóreo se desarrollan individuos aislados de *Pinus cembroides* y *Juniperus flaccida* ambos con 3 ind/ha y VIR de 62.069 y 37.931%, respectivamente. Para el estrato herbáceo las especies dominantes son *Aristida curvifolia* con densidad de 16,429 ind/ha y *Muhlenbergia emersleyi* con 8,571 ind/ha, integran un VIR de 50.149% (Apéndice 2).

Diversidad y riqueza de las asociaciones del matorral rosetófilo

La diversidad calculada con el Índice de Shannon para el estudio mostró una tendencia similar ya que se mantiene para las cuatro asociaciones y que en general es alta (cuadro 3), donde el matorral de *Agave lechuguilla* - *Dasyilirion cedrosanum* presenta el mayor valor de diversidad (3.83 nats), evidente en el índice de riqueza evaluado en la asociación (8.30), seguido del matorral de *Agave lechuguilla* - *Parthenium incanum* (3.79 nats), mientras que la equitatividad de las asociaciones, en general, mostraron valores altos (mayor al 90%) donde el matorral de *Dasyilirion cedrosanum* - *Purshia plicata* presenta la mayor equitatividad (94.36%), lo que indica que las especies están próximas a alcanzar una distribución uniforme o igual proporción. El índice de dominancia muestra bajo valor para las asociaciones (menor a 0.3), debido a la alta equitatividad de las especies.

Cuadro 3 Índices de diversidad del estrato arbustivo de las asociaciones vegetales del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé.

Asociación Vegetal	Número de especies	Índice de Riqueza (Margalef)	Diversidad (Shannon)	Equitatividad	Dominancia (Simpson)
<i>Agave lechuguilla - Parthenium incanum</i>	59	7.19	3.79	92.89	0.264
<i>A. lechuguilla - Fouquieria splendens</i>	52	6.46	3.71	93.99	0.170
<i>A. lechuguilla - Dasylirion cedrosanum</i>	67	8.30	3.83	91.19	0.111
<i>D. cedrosanum - Purshia plicata</i>	38	5.49	3.43	94.36	0.066

*Para su cálculo se utilizó frecuencia relativa.

Especies endémicas y listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

En los muestreos y recorridos de campo se observó una alta riqueza de especies de la familia Cactaceae (cuadro 4), algunas se encuentran bajo algún estatus de conservación de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, que establece el listado de especies y subespecies de la flora silvestre terrestre y acuática en peligro de extinción (P), sujetas a protección especial (Pr) y amenazadas (A) y otras más consideradas de lento crecimiento y difícil regeneración.

Cuadro 4 Especies de la sierra Zapalinamé que se encuentran bajo un estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia	Especie	Estatus
CACTACEAE	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Protección especial
	<i>Epithelantha micromeris</i>	Protección especial
	<i>Ferocactus pilosus</i>	Protección especial
	<i>Thelocactus rinconensis</i>	Amenazada
	<i>Turbinicarpus beguinii</i>	Protección especial
	<i>Ariocarpus retusus</i>	Protección especial
PINACEAE	<i>Pinus pinceana</i>	Peligro de extinción

VARIABLES AMBIENTALES QUE CONDICIONAN LA DISTRIBUCIÓN DEL MATORRAL ROSETÓFILO DE LA SIERRA DE ZAPALINAMÉ

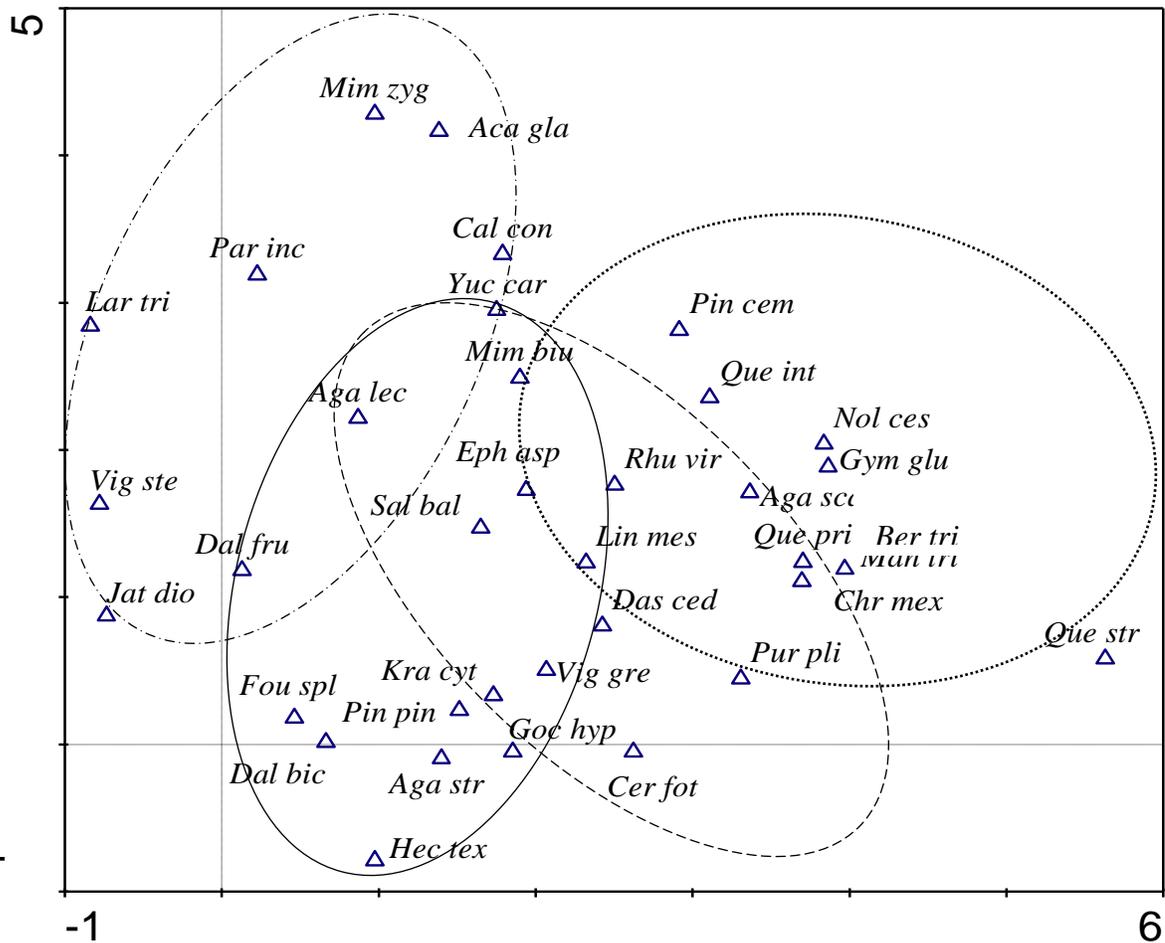
ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA DESPROVISTO DE TENDENCIA (DCA)

El análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA) permitió estimar una longitud de gradiente asociada al primer eje de 4.275 unidades de desviación estándar, en este análisis el porcentaje de varianza acumulada hasta el eje cuatro fue de 36.9% (cuadro 5).

Cuadro 5 Resultados del análisis desprovisto de tendencia (DCA)

Análisis	Ejes				INERCIA TOTAL
	1	2	3	4	
Valores propios	0.591	0.35	0.231	0.111	3.479
Longitud de gradiente	4.275	3.011	3.178	1.901	
Varianza acumulada de las especies (%)	17	27	33.7	36.9	

En la figura 6 se muestra el diagrama de ordenación de las especies con relación a los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA), la distribución de las especies a través del eje 2 al 1 se atribuye a un supuesto gradiente de humedad que aumenta de manera gradual de izquierda a derecha (tendencia negativa), de esta manera, las asociaciones más xéricas (matorral de *Agave lechuguilla* - *Parthenium incanum* y matorral de *Agave lechuguilla* - *Fouquieria splendens*) se ubican en la porción superior izquierda del diagrama, mientras que se presenta especies de afinidad másica (matorral de *Agave lechuguilla* - *Dasyllirion cedrosanum* y el matorral de *Dasyllirion cedrosanum* - *Purshia plicata*) se localizan en la parte inferior derecha, la distribución de estas asociaciones presentan una varianza total del 36.9%.



— · Matorral de Agave lechuguilla – Parthenium incanum; — · Matorral de Agave lechuguilla – Fouquieria splendens; — · Matorral de Agave lechuguilla – Dasyliirion cedrosanum; ·····Matorral de Dasyliirion cedrosanum – Purshia plicata.

Los acrónimos de las especies son: *Aca gla*= *Acacia glandulifera*, *Aga lec*= *Agave lechuguilla*, *Aga sca*= *Agave scabra*, *Aga str*= *Agave striata*, *Cal con*= *Calliandra conferta*, *Cer fot*= *Cercocarpus fothersgilloides*, *Chr mex*= *Chrysactinia mexicana*, *Dal bic*= *Dalea bicolor*, *Dal fru*= *Dalea frutescens*, *Das ced*= *Dasyliirion cedrosanum*, *Eph asp*= *Ephedra aspera*, *Fou spl*= *Fouquieria splendens*, *Goc hyp*= *Gochnatia hypoleuca*, *Gym glu*= *Gymnosperma glutinosum*, *Hec tex*= *Hechtia texensis*, *Jat dio*= *Jatropha dioica*, *Kra cyt*= *Krameria cytisoides*, *Lar tri*= *Larrea tridentata*, *Lin mes*= *Lindleya mespiloides*, *Ber tri*= *Berberis trifoliolata*, *Mim biu*= *Mimosa biuncifera*, *Mim zyg*= *Mimosa zygophylla*, *Nol ces*= *Nolina cespitifera*, *Par inc*= *Parthenium incanum*, *Pur pli*= *Purshia plicata*, *Que int*= *Quercus intricata*, *Que pri*= *Quercus pringlei*, *Que str*= *Quercus striatula*, *Rhu vir*= *Rhus virens*, *Sal bal*= *Salvia ballotiflora*, *Vig gre*= *Viguiera greggii*, *Vig ste*= *Viguiera stenoloba*, *Yuc car*= *Yucca carnerosana*, *Pin cem*= *Pinus cembroides*, *Pin pin*= *Pinus pinceana*.

Figura 6 Diagrama de ordenación de especies del matorral rosetófilo con relación al eje 1 y 2 del Análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA).

Análisis de correspondencia canónica (CCA)

En el análisis de correspondencia canónica realizado para la ordenación de las asociaciones de las especies matorral rosetófilo mediante variables ambientales, se observó que la mayor variación en la densidad de las especies se concentra en el primer eje (cuadro 6), es decir, la vegetación cambia en relación a un gradiente principal, la longitud para el primer eje es 0.204, el valor de correlación especies-ambiente para este eje es 0.782; la inercia total o varianza de los datos es 3.479, mientras que la varianza acumulada de las especies hasta el eje 4 fue de 13.3%, lo que indica que las covariables obtuvieron un buen ajuste al modelo.

Cuadro 6 Análisis de correspondencia canónica (CCA) para la ordenación del matorral rosetófilo mediante variables ambientales.

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valores propios	0.204	0.149	0.068	0.040	3.479
Correlaciones especie - ambiente	0.782	0.592	0.646	0.420	
Porcentaje de varianza acumulado en los datos de las especies	5.9	10.2	12.1	13.3	
Porcentaje de varianza acumulado en la relación especies-ambiente	42.7	73.9	88.2	96.6	
Suma de todos los valores propios					3.479
Suma de todos los valores característicos canónicos					0.478

En el cuadro 7 se muestran los coeficientes de correlación de las variables ambientales con relación al primer eje de ordenación, al revisar los coeficientes se infiere que el primer gradiente es de temperatura, debido a que la temperatura media anual presenta el valor más alto (-0.757), seguida de la altitud (0.727) y precipitación anual (0.723), en la definición de este gradiente, la precipitación anual y la altitud están relacionados positivamente, mientras que la temperatura se relaciona de manera inversa a las demás, por otra parte las variables pendiente y perturbación obtuvieron los valores más bajos con 0.601 y -0.610 respectivamente, la importancia

de todas las variables se representa mediante flechas o vectores en el diagrama de ordenación (figura 7), de ésta se deduce que la temperatura, precipitación y la altitud son los factores con mayor influencia en la distribución de las especies y en menor proporción la pendiente del terreno y la perturbación.

Cuadro 7 Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los primeros dos ejes de ordenación.

SPEC AX1	1			
SPEC AX2	0.129	1		
ENVI AX1	0.782	0	1	
ENVI AX2	0	0.5922	0	1
Altitud	0.568	-0.367	0.727	-0.619
Precipitación anual	0.566	-0.323	0.723	-0.545
Temperatura media anual	-0.592	0.353	-0.757	0.596
Pendiente	0.470	-0.238	0.601	-0.402
Perturbación	-0.477	-0.259	-0.610	-0.437
	SPEC AX1	SPEC AX2	ENVI AX1	ENVI AX2

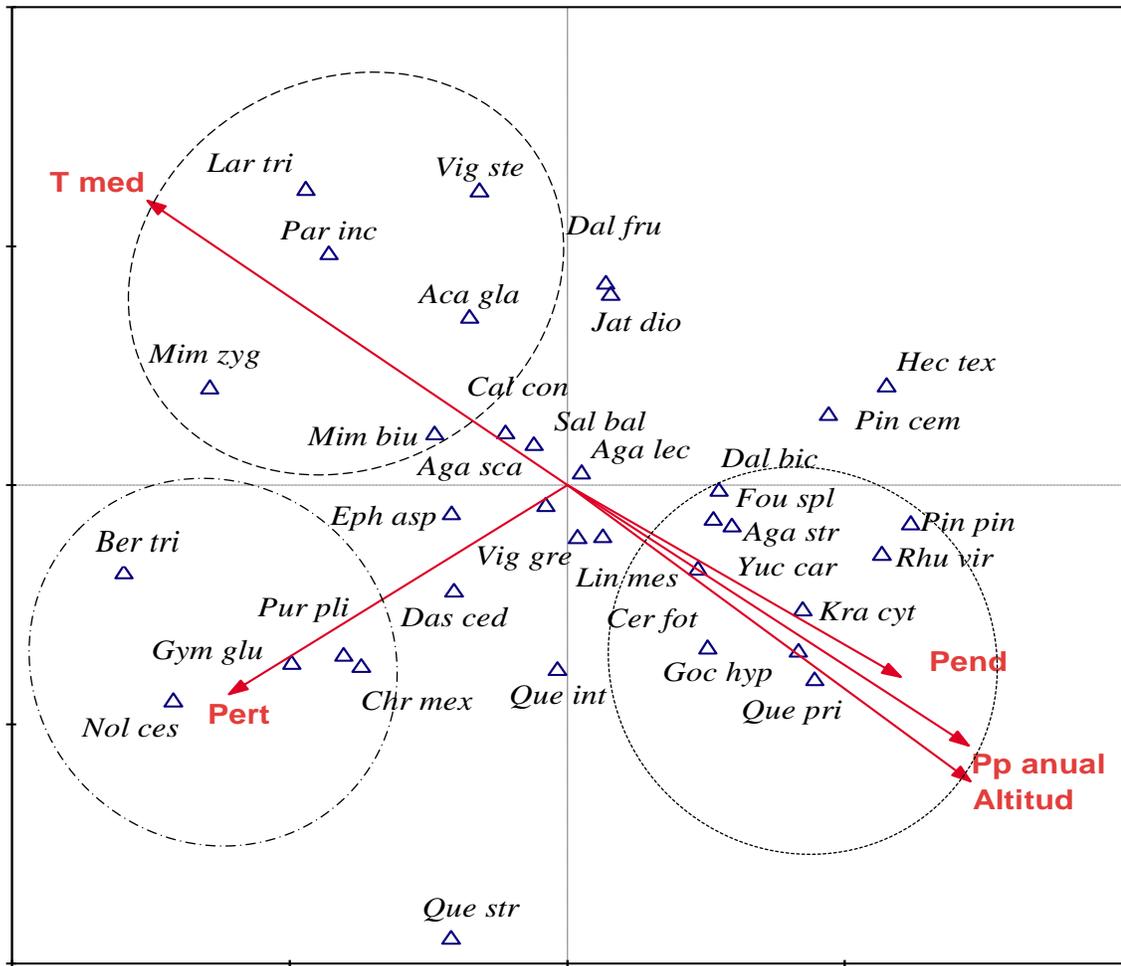
La ordenación de las especies mediante variables ambientales (figura 7) concuerda de manera general con la clasificación de la vegetación realizada mediante análisis desprovisto de tendencia, que para este caso las asociaciones de *Agave lechuguilla* - *Fouquieria splendens* y el matorral de *Agave lechuguilla* - *Dasyllirion cedrosanum* reflejaron influencia hacia tres variables ambientales, a continuación se describen las agrupaciones obtenidas a través del análisis de correspondencia canónica con sus respectivas relaciones ambientales:

El matorral de *Agave lechuguilla* - *Parthenium incanum* se relaciona con áreas secas, de baja precipitación (menor a 500 mm al año) y laderas menos inclinadas (menor a 20% de pendiente), es decir, en valles con suelos de tipo aluvial y mal drenados (eje 1 valores negativos), las especies que se desarrollan en estas regiones áridas son arbustos de *Larrea tridentata*, *Mimosa zygophylla*, *Parthenium incanum* y *Viguiera stenoloba*.

El matorral de *Agave lechuguilla* - *Fouquieria splendens* y *Agave lechuguilla* - *Dasyllirion cedrosanum* muestran una similitud en cuanto a los factores que están relacionados, tal parece que están influenciadas por áreas con mayor precipitación (mayor a 500 mm al año) y altitud (mayor a 2,300 m) , así como pendientes más pronunciadas (25 a 41%), en suelos con buen drenaje y en afloramientos rocosos, las especies que se desarrollan en estas condiciones son *Quercus pringlei*, *Pinus pinceana*, *Rhus virens*, *Krameria cytisoides*, *Gochnatia hypoleuca*, *Cercocarpus fothergilloides* y en menor proporción las especies *Fouquieria splendens*, *Agave striata* y *Yucca carnerosana*.

Por otra parte el matorral de *Dasyllirion cedrosanum* - *Purshia plicata* presenta una relación a lugares con pastoreo intensivo (mayor al 50% de la cobertura impactada), en lugares cercanos a centros de población rural y de la ciudad de Saltillo, las especies que reflejaron una mayor relación y que prosperan en estas condiciones son *Gymnosperma glutinosum*, *Berberis trifoliolata* y *Nolina cespitifera*, esta última con indicios de ramoneo.

La ordenación reveló algunas especies cuya distribución no es afectada de manera importante por las variables evaluadas, lo que indica que son indiferentes a estas variables o no influyen en su distribución, estas especies son *Agave lechuguilla* y *Agave scabra*.



— — Matorral de *Agave lechuguilla* – *Parthenium incanum*; --- Matorral de *Agave lechuguilla* – *Fouquieria splendens* y matorral de *Agave lechuguilla* – *Dasyllirion cedrosanum*; - · - Matorral de *Dasyllirion cedrosanum* – *Purshia plicata*.

Los acrónimos de las especies son: *Aca gla*= *Acacia glandulifera*, *Aga lec*= *Agave lechuguilla*, *Aga sca*= *Agave scabra*, *Aga str*= *Agave striata*, *Cal con*= *Calliandra conferta*, *Cer fot*= *Cercocarpus fothergilloides*, *Chr mex*= *Chrysactinia mexicana*, *Dal bic*= *Dalea bicolor*, *Dal fru*= *Dalea frutescens*, *Das ced*= *Dasyllirion cedrosanum*, *Eph asp*= *Ephedra aspera*, *Fou spl*= *Fouquieria splendens*, *Goc hyp*= *Gochnatia hypoleuca*, *Gym glu*= *Gymnosperma glutinosum*, *Hec tex*= *Hechtia texensis*, *Jat dio*= *Jatropha dioica*, *Kra cyt*= *Krameria cytisoides*, *Lar tri*= *Larrea tridentata*, *Lin mes*= *Lindleya mespiloides*, *Ber tri*= *Berberis trifoliolata*, *Mim biu*= *Mimosa biuncifera*, *Mim zyg*= *Mimosa zygophylla*, *Nol ces*= *Nolina cespitifera*, *Par inc*= *Parthenium incanum*, *Pur pli*= *Purshia plicata*, *Que int*= *Quercus intricata*, *Que pri*= *Quercus pringlei*, *Que str*= *Quercus striatula*, *Rhu vir*= *Rhus virens*, *Sal bal*= *Salvia ballotiflora*, *Vig gre*= *Viguiera greggii*, *Vig ste*= *Viguiera stenoloba*, *Yuc car*= *Yucca carnerosana*, *Pin cem*= *Pinus cembroides*, *Pin pin*= *Pinus pinceana*.

Figura 7 Diagrama de ordenación de las especies del matorral rosetófilo con relación a las variables ambientales mediante Análisis de correspondencia canónica (CCA).

DISCUSIÓN

Composición florística

De la flora registrada correspondiente a 34 familias, 88 género y 137 especies, esta cifra representa 4.51% para las especie de la flora reportada para Coahuila (Villarreal, 2001), el 0.613% para Magnoliophyta de México (Villaseñor, 2003) y el 0.585% de las plantas vasculares de México (Villaseñor, 2004). Donde las familias con mayor riqueza de especies son Asteraceae, Cactaceae, Poaceae y Fabaceae, esto coincide para la flora de México (Rzedowski, 2006) y para la flora de Coahuila (Villarreal, 2001).

La flora registrada de las asociaciones del matorral rosetófilo de la sierra de Zapalinamé, están influenciados por la provincia de la Altiplanicie, las características de esta región xerófila son por la presencia de los géneros *Agave*, *Dalea*, *Dasyilirion*, *Fouquieria* y *Yucca*, que de acuerdo con Rzedowski (2006) están dominadas por arbustos bajos, espinosos e inermes, adaptados para soportar los climas secos y semicálidos que dominan en la provincia.

Dentro de la composición de especies del matorral rosetófilo, se registraron especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como *Echinocactus platyacanthus*, *Epithelantha micromeris*, *Ferocactus pilosus*, *Thelocactus rinconensis*, *Turbinicarpus beguinii*, *Ariocarpus retusus* y *Pinus pinceana* (Semarnat, 2010). Mientras como especies endémicas para el sureste de Coahuila de acuerdo con Villarreal y Encina (2005) se registraron las especies *Acacia glandulifera*, *Flourensia microphylla* y *Quercus saltillensis*. Por otra parte *Pinus pinceana* una especie endémica de México (Villarreal *et al.*, 2009), se presenta en la transición entre la vegetación xerófila y mesófila.

Riqueza estimada

En la curva de colecta de especies, la incorporación de nuevas especies al inventario se relaciona con alguna medida del esfuerzo de muestreo. Cuanto mayor sea este esfuerzo, mayor será el número de especies colectadas (Jiménez y Hortal, 2003). Por lo anterior y en base al estudio realizado es preciso mencionar que en un inventario real no llega a completarse el número de especies totales, por lo que la estimación final del número de especies depende de la especificación del muestreo realizado y que de acuerdo con Adler y Lauenroth (2003) es fundamental que las estimaciones de riqueza especifiquen el área y periodo temporal de recolecta de muestras. Sin embargo, las curvas de acumulación permiten dar fiabilidad a los inventarios biológicos y posibilitar su comparación, así como mejorar la planificación del trabajo de muestreo con la finalidad de conseguir inventarios fiables de acuerdo con Lamas *et al.*, 1991; Soberón y Llorente, 1993; Colwell y Coddington, 1994; Gotelli y Colwell, 2001.

Por lo anterior, de acuerdo con Jiménez y Hortal (2003) con la ecuación de Clench y el número de individuos, cuando las proporciones son mayores al 70% la estimación de la riqueza asintótica tienden a estabilizarse, lo que indica que a partir de este valor la riqueza será en teoría igual para los próximos muestreos, para el presente estudio se obtuvo un porcentaje de la flora registrada del 85.82%, ligeramente mayor a lo que obtuvo Valdés *et al.* (2015) para las gramíneas de Coahuila con valor de 80.5% de la riqueza estimada para esta familia, quien menciona que a pesar de que el inventario sea incompleto nos revela una confianza en el muestreo a partir de la ecuación de acumulación.

Estructura de las asociaciones del matorral rosetófilo

En la asociación *Agave lechuguilla-Parthenium incanum*, la especie *Agave lechuguilla* presenta valores altos en densidad y valor de importancia (13,408 ind/ha, 26.633%) inferior al estudio de Flores y Perales (1989) quienes reportan densidades superiores a los 20,000 ind/ha para esta especie en el estado de Coahuila. Por lo anterior esto concuerda con las especies registradas para la región del Desierto Chihuahuense en los estudios de Granados *et al.* (2011), Rzedowski (2006); y Henrickson y Johnston (1983) quienes mencionan que esta comunidad se mezcla con elementos propios del matorral micrófilo como *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum* y *Mimosa zygophylla* entre otras.

En la asociación de *Agave lechuguilla-Fouquieria splendens* se presenta una densidad menor para *Agave lechuguilla* con 9,391 ind/ha pero de acuerdo con Rzedowski (2006), González (2004) y Henrickson y Johnston (1983) por las condiciones del terreno se mezcla con elementos de *Hechtia texensis* y *Fouquieria splendens*, donde esta última a pesar de que no presenta alta densidad (536 ind/ha) y debido a su fisonomía cuenta con la mayor dominancia relativa (29.502%), lo que concuerda con la vegetación de Coahuila (Villarreal y Valdés, 1992-93) así como con Reyes *et al.* (2000) quien estudiaron las comunidades de *Agave lechuguilla* en la Altiplanicie.

Las asociaciones *Agave lechuguilla-Dasyllirion cedrosanum* y *Dasyllirion cedrosanum-Purshia plicata* se presenta en condiciones de mayor humedad, donde *Agave lechuguilla* presenta una disminución en la densidad (4,356 ind/ha) similar a lo que obtuvo Alanís *et al.* (2015) para el noreste de México y Encina *et al.* (2013) para el centro y sur de Coahuila, mientras que *Dasyllirion cedrosanum* presenta la mayor dominancia relativa respecto a las demás especies a pesar de la baja densidad (878 ind/ha).

La asociación dominada por *Dasyllirion cedrosanum* presenta la densidad y VIR mas alto (1,400 ind/ha, 13.812%) superior a lo obtenido por Encina *et al.* (2013) para el centro y sur de Coahuila, esta especie es seguida de *Purshia plicata* con 857 ind/ha, la cual tiene densidad inferior a lo obtenido por Encina *et al.* (2012) para la sierra de Zapalinamé en Coahuila.

Es notable el cambio en la composición de especies ya que se registran especies propias del matorral submontano y del bosque de pino, debido a la zona transicional entre el Altiplano y la Sierra Madre Oriental, da lugar a una compleja composición entre las dos provincias, donde las especies propias de zonas méxicas son *Lindleya mespiloides*, *Cercocarpus fothergilloides*, *Quercus striatula*, *Agave scabra* y *A. gentryi* con densidades que oscilan de 2,300 a 200 ind/ha lo que también concuerda con lo mencionado por Villarreal y Valdés (1992-93) y Encina *et al.* (2012) para el estado de Coahuila. Las especies arbóreas como *Pinus cembroides* y *P. pinceana* no forman bosques densos sino que forman bosques abiertos, que se refleja en la densidad de los individuos (72 y 82 ind/ha, respectivamente) y las cuales se mezclan con la vegetación xerófila (Perry, 1991).

Por lo anterior se corrobora que *Agave lechuguilla* es la especie dominante para el matorral rosetófilo que de acuerdo con Rzedowski (2006), Berlanga *et al.* (1992) y Gentry (1982) quienes mencionan que esta especie se distribuye en altitudes desde los 200 a hasta los 2,400 m y en climas variados que van desde áridos a templados, lo que se corrobora en el presente estudio.

Es evidente que la comunidad del matorral rosetófilo almacena gran cantidad de especies de la familia Cactaceae, que para este estudio se registraron 20 especies, donde *Neolloydia conoidea* alcanzó la mayor densidad en la asociación *Agave lechuguilla-Fouquieria splendens* con 1,718 ind/ha, seguida de la especie *Mammillaria chionocephala* (154 ind/ha) lo que concuerda con Marroquín *et al.* (1981) quienes mencionan la alta diversidad de cactáceas en las zonas áridas del norte de México.

Diversidad y riqueza de las asociaciones del matorral rosetófilo

En general los valores de diversidad obtenidos con el índice de Shannon para este estudio fueron altos (mayor a 3 nats) de acuerdo con Margalef (1972), comparado con lo obtenido por Alanís *et al.* (2015) para el matorral rosetófilo en el noreste de México y Encina *et al.* (2012) para el matorral submontano en la sierra de Zapalinamé, quienes reportan valores de entre 0.36 a 1.36 nats y 2.6 nats, sin embargo para este estudio la mayor diversidad la obtuvo la asociación de *Agave lechuguilla* - *Dasyllirion cedrosanum* (3.85 nats), que de igual manera concuerda con Encina *et al.* (2013) para el centro-sur de Coahuila, que para esta asociación obtuvo una alta riqueza de especies, en este caso se debe a la transición entre dos provincias fisiográficas, lo que influye de manera directa en el Índice de Margalef ya que en estas áreas de transición, que de acuerdo con Hansen *et al.*, 1988; Hernández *et al.*, 2001 y Huerta y García, 2004, mencionan que estas áreas poseen mayor riqueza de especies. Por otra parte este índice está relacionado por el número de especies, debido a que en las asociaciones identificadas no fue igual el muestreo, por lo tanto este valor incrementa en mayor número de muestras (Romero, 1999).

En cuanto a la equitatividad de las asociaciones estas presentaron valores altos (mayor a 90%) lo que indica que las especies están próximas a alcanzar la máxima distribución proporcional o uniforme en la abundancia, similar a lo que reportó Lara (2011) para la Sierra El Mascarón, comparada con lo obtenido por Encina *et al.* (2012) donde para el matorral submontano reportó una equitatividad del 68.58% lo que indica que para esta comunidad existe variación en cuanto a la distribución proporcional de especies.

El índice de dominancia es bajo para las asociaciones, esto debido a la alta equitatividad, lo que indica que no hay presencia de especie dominante en la estructura de la vegetación, por otra parte de acuerdo con Romero (1999) este valor es debido a que el índice disminuye con el incremento del número de muestras y por ello la abundancia de especies aumenta.

Variables ambientales que condicionan la distribución del matorral rosetófilo

El análisis de correspondencia canónica presenta la agrupación de las asociaciones y su relación a través de los gradientes ambientales evaluados y de manera similar por el análisis de correspondencia desprovisto de tendencia. Por lo anterior, se justifica su uso de técnicas multivariantes cuando las especies muestran relación de tipo unimodal a gradientes ambientales al presentar una longitud igual o superior a 3 unidades de desviación estándar (Ter Braak, 1988), que para este caso tiene un valor de 4.275 de desviación estándar y por lo tanto es justificable el uso de estas técnicas.

En la asociación de *Agave lechuguilla-Parthenium incanum* muestra mayor relación a zonas con temperaturas más elevadas, donde *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum* y *Mimosa zygophylla* son las que presentan mayor influencia de esta variable, lo cual concuerda con lo observado por Mata (2010) para el centro-este de Coahuila, de acuerdo con Rzedowski (2006) el clima es determinante para la distribución de las especies, por otra parte, difiere con lo obtenido por Luna *et al.* (2012) donde la temperatura no presentó influencia significativa sobre la distribución de especies del género *Solanum* en México.

Para la asociación *Agave lechuguilla-Fouquieria splendens* y *Agave lechuguilla-Dasyllirion cedrosanum* ambas presentaron mayor influencia a dos gradientes ambientales (precipitación anual y altitud), de acuerdo con Estrada (1998) para el matorral submontano en Nuevo León, Montaña y Valiente (1998) en la región semiárida intertropical de México, Huerta *et al.* (1999) en Jalisco, Huerta *et al.* (2004) en la región semiárida del centro de México y Pavón *et al.* (2000) en su estudio en el valle de Zapotitlán, México, consideran que estas variables son las que ejercen mayor influencia en la distribución de las especies de zonas áridas y semiáridas.

La pendiente del terreno presenta baja relación en la distribución de las especies, similar a lo que obtuvo Huerta *et al.* (2004) para el sureste del Desierto Chihuahuense, donde menciona que esta variable también influye en menor proporción en la distribución de especies, pero en conjunto con las variables de

precipitación y altitud prosperan especies propias del Matorral Submontano, que para este caso son *Pinus pinceana*, *Cercocarpus fothergilloides*, *Rhus virens*, *Quercus pringlei*, *Krameria cytisoides* y en menor proporción *Fouquieria splendens* y *Agave striata* que se desarrollan bajo estas condiciones, lo que concuerda también con Sánchez y López (2003) en la Sierra Nevada en el estado de México y Luna *et al.* (2012) sobre la influencia de estas variables ambientales.

La asociación de *Agave lechuguilla-Dasyilirion cedrosanum* presenta relación evidente a zonas con indicios de perturbación debido al pastoreo intensivo y que da origen a especies ruderales, que de acuerdo con García y Jurado (2008) en el matorral tamaulipeco en Nuevo León, el pastoreo es factor de cambio en la composición de especies, tal como lo menciona Baruch *et al.* (1989) y Encina *et al.* (2014) para un zacatal en el noreste de Coahuila, que mencionan que las malezas y arbustos espinosos pueden llegar a sustituir la vegetación nativa. Por otra parte se refleja en la riqueza con 38 especies para esta asociación, de igual manera concuerda con Jiménez *et al.* (2012) y García y Jurado (2008) quienes estudiaron la composición y diversidad del matorral tamaulipeco en Nuevo León, otro aspecto a considerar son las propiedades hidrológicas, propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales son modificadas por el pastoreo ya que destruye capas superficiales y reduce la capacidad de infiltración, tal como lo menciona Mainguet (1994) en su publicación acerca de la desertificación natural.

CONCLUSIONES

La composición de las asociaciones del matorral rosetófilo presenta especies propias de las provincias florísticas de la Altiplanicie y Sierra Madre Oriental.

A pesar de la variación altitudinal, topográfica y climática en la sierra de Zapalinamé la especie *Agave lechuguilla* presenta la mayor dominancia en las asociaciones definidas.

El efecto de borde refleja alta diversidad y riqueza de especies en las asociaciones del matorral rosetófilo, mientras que la distribución de las especies se presenta de manera uniforme.

El gradiente de humedad identificado condiciona la distribución de algunas especies del matorral rosetófilo como *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum*, *Pinus pinceana* y *Quercus pringlei*.

El gradiente de humedad no condiciona la distribución de las especies *Agave lechuguilla* y *Agave scabra*.

RECOMENDACIONES

Elaborar un estudio enfocado a conocer la dinámica poblacional de las especies endémicas y listadas en estatus de conservación de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Elaborar un calendario fenológico de especies de importancia ecológica y las que se encuentren en estatus de conservación, para colecta de germoplasma y posterior propagación.

Elaborar un programa de manejo para el control del pastoreo dentro del área protegida, con la finalidad de mantener la estructura y composición del matorral rosetófilo propio de las áreas sin apacentamiento.

LITERATURA CITADA

- Adler, P. B. y W. K. Lauenroth. 2003. The power of time: spatiotemporal scaling of species diversity. *Ecology Letters* 6:749-756.
- Alanís, G. J.; Cano, G.; Rovalo, M. 1996. *Vegetación y Flora de Nuevo León. Una Guía Botánico-Ecológica*. Impresora Monterrey, S. A. de C. V. México. 251 p.
- Alanís, R.E., Mora, O.A, Jiménez, P.J., González, T.M., Yerena, Y.J., Martínez, A.J., González, R.L. 2015. Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana* 110:105-117.
- Alanís, R.E.; Jiménez, J.; Aguirre, O.A.; Treviño, J. E.; Jurado, E.; González, M.A. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Ciencia UANL* 11(1):56-62.
- Alvís, G. J. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Rev. Bio. Agro* 7(1):115-122.
- Anónimo, 1982. *Cartas: Hidrológica de Aguas Subterráneas; Hidrología de Aguas Superficiales; Geológica, Edafológica*. G14-7 (Monterrey). Dirección General de Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- Anónimo, 1983. *Síntesis Geográfica de Coahuila*. Dirección General de geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 163 p.
- Anónimo, 2010. *Programa de manejo de la Sierra de Zapalinamé. Protección de la Fauna Mexicana A.C.* Saltillo, Coah. 289 p.

- Anónimo. 2003. Sistema de Información Geográfica para el Manejo y Planeación por Microcuencas (SIGMAPLAN Coahuila Sureste). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - FIRCO - Secretaría de Fomento Agropecuario, Coahuila, México.
- Arce, G. L. y Marroquín, J. S. 1985. Las unidades fisonómico-florísticas del cañón de San Lorenzo, Saltillo, Coahuila, México. *Biótica* 10(4):369-393.
- Baruch, Z., A.B. Hernández, y M.G. Montilla. 1989. Dinámica de crecimiento, fenología y repartición de biomasa de gramíneas nativas e introducidas en una sabana neotropical. *Ecotropicos* 2:1-13.
- Berlanga, R.C., González, L.L. y Franco, L.H. 1992. Metodología para la evaluación y manejo de lechuguilla en condiciones naturales. Folleto Técnico Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, SARH. Saltillo, Coah. 21 p.
- Canizales, P. A., Alanís, R. E., Aranda, R.R., Mata J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J.I. y Ruiz, M.G. 2009. Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León. *Revista Chapingo. Serie Ciencia Forestal y Ambiental* 15:115-120.
- Cárdenas, V.J. 1993. Monografía Geológico-Minera del Estado de Coahuila. Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Subsecretaria de Minas. Consejo de Recursos Minerales. México 154 p.
- Challenger, A. y Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, 87-108 p.

- Colwell, R. K. y J. A. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Trans. Royal Society. London B* 345:101-118.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250000. México.
- Dufrène, M. y P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345 - 366.
- Encina, D.J., Gómez, P.S. y Valdés, R.J. 2012. Composición florística y ecología del matorral submontano de rosáceas de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 6(1):143-156.
- Encina, D.J., Meave, A. J. y Zárate, L.A. 2013. Structure and woody species diversity of the *Dasyllirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila State, Mexico. *Botanical Sciences* 91(3):335-347.
- Encina, D.J., Valdés, R.J. y Villarreal, Q.J. 2014. Estructura de un zacatal de toboso (*Hilaria mutica*: Poaceae) asociado a sustrato ígneo en el noreste de Coahuila, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 8(2):583-594.
- Estrada, A. E. 1998. Ecología del matorral submontano en el estado de Nuevo León, México. Tesis doctoral. Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, 190 p.
- Flores, F.J.D. y Perales, G.J.M. 1989. Primer reporte nacional de las plagas asociadas a la lechuguilla *Agave lechuguilla* Torrey. *Agraria* 5:57-73.

- García, J. y Jurado, E. 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares, N. L., México. *Ra Ximhai* 4(1):1-21.
- Gentry, H.S. 1982. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona. USA. 670 p.
- González, M.F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2a. ed. México, D.F., México. 82 p.
- Gotelli, N.J. y Colwell, R.K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4:379-391.
- Hansen, A.J., Di Castri, F. y Naiman, R.J. 1988. Ecotones: what why? En: Di Castri F., Hansen A.J. y Hollands M.M. Eds. *A New Look at Ecotones: Emerging International Projects on Landscape Boundaries*. Biology International Special Issue 17. International Union of Biological Science, Paris 9-46 p.
- Henrickson, J. y Johnston, M.C. 1983. Vegetation and community types of the Chihuahuan Desert. in second symposium on resources of the Chihuahuan Desert Region, U.S. and México (Barlow, J.C., Powell, A.M. and B.N. Timmermann, eds.) Sul Ross State University, Alpine, Texas. 20-39.
- Hernández, H., Gómez, C. y Barcenas, R. 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation* 10:1097-1112.

- Hill, M.O. 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61:237-249.
- Hill, M.O. 1974. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. *Applied Statistics* 23:340-354.
- Hill, M.O. y Šmilauer, P. 2005. Guía de usuario TWINSpan v. 2.3. 29 p.
- Huerta, F. M., E. García, J. L. Flores y E. Pimienta. 1999. Ordenación de las poblaciones silvestres de pitayo y cardón en la cuenca de Sayula, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64:11-24.
- Huerta, M.F. y García, M.E. 2004. Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: implicaciones para la conservación. *Interciencia* 29(8):435-444.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2009. Guía para la interpretación de cartografía y uso de suelo de la vegetación: Escala 1:250 000. Serie III. Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2013. Continuo de modelos digitales de elevación LIDAR de terreno con resolución de 15m. México.
- Jiménez, J.P., Alanís, E., Aguirre, O., Pando, M. y González, M. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques* 15:5-20 p.

- Jiménez, P.J., Alanís, R.E., Ruiz, G.J.L., González, T.M., Yerena, Y.J. I. y Alanís, F.G. J. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México. *Revista Ciencia UANL* 15 (58):66-71.
- Jiménez, V. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8:151-161.
- Lamas, G., Robbins, R. K. y Harvey, D.J. 1991. A preliminary survey of the butterfly fauna of Pakitza, Parque Nacional del Manu, Peru, with an estimate of its species richness. *Field Museum of Natural History. UNMSM (A)* 40:1-19.
- Lara, R.E. 2011. Estructura y diversidad de la vegetación en una porción de la sierra el mascarón, en el norte de Zacatecas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. 65 p.
- Luna, C.M., Romero, M.A. y García, M.E. 2012. Distribución geográfica de *Solanum tuberosum* silvestres de México y su relación con factores del medio. *Interciencia* 37(5):355-362.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, Oxford, U.K. 215 p.
- Mainguet, M. 1994. *Desertification natural. Background and human management*. 2nd Edition. Springer. Berlin Heidelberg. Germany. 314 p.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Trans. Connect. Acad. Arts Sci.* 44:211-235.

- Marroquín, J., Borja, L.G., Velásquez, C.R. y De la Cruz J.A. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. Publicación Especial No. 2, 166 p.
- Marroquín, J.S. 1976. Vegetación y florística del nordeste de México. I. Aspectos sinecológicos en Coahuila. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural* 36:69–101.
- Mata, R.E. 2010. Estructura, diversidad y aspectos ecológicos del matorral xerófilo en una zona de transición florística del centro-este de Coahuila, México. Tesis Profesional. Departamento Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 86 p
- Meganck, R.A., Carrera, J.L., Rodríguez, F.C. y Serrato, V.C. 1981. Plan de manejo para el uso múltiple del cañón de San Lorenzo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Organización de los Estados Americanos (OEA). Saltillo, Coahuila, México.
- Montaña, C., y A. Valiente. 1998. Floristic and life-form diversity along an altitudinal gradient in an intertropical semiarid mexican region. *The southwestern naturalist* 43(1):25-39.
- Mora, D.C., Jiménez, P.J., Alanís, R.E., Rubio, C.E., Yerena, Y.J. y González, T.M. 2013. Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17): 124-137.
- Moreno, E.C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M y T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España. 84 p.

- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Mueller, D.D. y Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley y Sons. Inc. Nueva York. 547 p.
- Pavón, N.R., Hernández, T.H. y Rico, G.V. 2000. Distribution of plant life forms along an altitudinal gradient in the semi-arid valley of Zapotitlán, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 11:39-42.
- Peet, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5:285-307.
- Ramírez, A. 2006. Ecología: Métodos de Muestreo y Análisis de Poblaciones y Comunidades. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 271 p.
- Rangel, O. y Velázquez, A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. Colombia diversidad biótica II. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Editorial Guadalupe Ltda. Bogotá, Colombia. 59-83 p.
- Recango, E. P. y Martorell, D. C. 2000. Conocimiento y Conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Thuacán- Cuicatlan. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Biodiversidad (CONABIO), 1998-2000. Mexico, DF. 38 p.
- Reyes, A.J.A., Aguirre, R.J.R. y Peña, V.C.B. 2000. Biología y aprovechamiento de la especie *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la Sociedad Mexicana de México* 67:75-88.

- Romero, G. 1999. Caracterización ecológica y definición de esquemas de muestreo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del Nordeste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, 72 p.
- Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14:3-21.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sánchez, G. A. y Granados, S. D. 2003. Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales. *Terra Latinoamericana*, 21(3):311-319.
- Sánchez, G. A. y López, M. L. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Serie Botánica* 74(1):47-71.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Atlas geográfico del medio ambiente y recursos naturales. México. 2010.
- Smilauer, P. 1992. Cano Draw User's guide version 3.0. Microcomputer power. Ithaca, N. Y., E.U.A.
- Soberón, J. y J. Llorente 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology* 7:480-488.

- Ter Braak, C. J. F., y P. Smilauer. 1998. CANOCO Referent manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4.0) Microcomputer power (Ithaca, NY, USA) 352 p.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5):1167-1179.
- Ter Braak, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetation* 69:69-77.
- Ter Braak, C.J.F. 1988. Partial canonical correspondence analysis. In: Bock, H.H. (ed.). *Classification and related methods of data analysis*. Elsevier Sc. Pub. B.V. (North-Holland). Ámsterdam, The Netherlands 551-558.
- Treviño, C.J. 2004. *Ecología de los matorrales rosetófilos de México: patrones geográficos y ecofisiológicos de las comunidades de Dasylirion*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 164 p.
- Trewin, B. 2007. *Función de las normales climatológicas en un clima cambiante*. National Climate Centre. Australian Bureau of Meteorology. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. 47 p.
- Valdés, J., Villaseñor, J.L., Encina, D.J. y Ortiz, E. 2015. The grass family (Poaceae) in Coahuila, Mexico: Diversity and distribution. *Botanical Sciences* 93(1):1-11.
- Villarreal, J. A., Mares, O.A., Cornejo, O.E. y Capó, A.M. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta Botánica Mexicana* 89:87-124.

- Villarreal, J.A. 2001. Listados florísticos de México. XXIII Flora de Coahuila. UNAM, Instituto de Biología. 137 p.
- Villarreal, J.A. y Encina, D.J. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana* 70:1-46.
- Villarreal, J.A. y Valdés, R.J. 1992-93. Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo de Pastizales* 6 (1,2):9-18.
- Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28(3):160-167.
- Villaseñor, J.L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:105-135.
- Williams, C., Olson, D., Valero, A., Allnutt, T., Schipper, J. y Burdette, C. 2001. Chihuahuan Desert (NA1303). Fondo Mundial para la Naturaleza, WWF.
- Wilson, A.D., D.J. Tongway, R.D. Graetz and M. D. Young. 1984. Range inventory and monitoring. In: Harrington, G. N., A. D. Wilson and M. D. Young (eds.). *Management of Australia's Rangelands*. Division of Wildlife and Rangelands Research CSIRO. East Melbourne, Victoria. Australia. 113-127 p.
- Zar, H. J. 1999. *Biostatistical analysis*. Fourth Edition. Prentice Hall. USA. 663 P.

APÉNDICE

Apéndice 1.- Listado florístico de las asociaciones del matorral rosetófilo de las Sierra de Zapalinamé.

Familia	Genero	Especie	Autor
Anacardiaceae	<i>Rhus</i>	<i>microphylla</i>	Engelm.
	<i>Rhus</i>	<i>virens</i>	Lindh. ex A. Gray
Apocynaceae	<i>Mandevilla</i>	<i>karwinskii</i>	(Müll. Arg.) Hemsl.
	<i>Mandevilla</i>	<i>macrosiphon</i>	(Torr.) Pichon
Asparagaceae	<i>Agave</i>	<i>gentryi</i>	B. Ullrich
	<i>Agave</i>	<i>lechuguilla</i>	Torr.
	<i>Agave</i>	<i>scabra</i>	Ortega
	<i>Agave</i>	<i>striata</i>	Zucc.
	<i>Dasyilirion</i>	<i>cedrosanum</i>	Trel.
	<i>Nolina</i>	<i>cespitifera</i>	Trel.
	<i>Yucca</i>	<i>carnerosana</i>	(Trel.) McKelvey
Asteraceae	<i>Acourtia</i>	<i>nana</i>	(A. Gray) Reveal & R.M. King
	<i>Ageratina</i>	<i>calaminthifolia</i>	(Kunth) R.M. King & H. Rob.
	<i>Ageratina</i>	<i>calophylla</i>	(B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.
	<i>Ageratina</i>	<i>saltillensis</i>	(B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob.
	<i>Ageratina</i>	<i>wrightii</i>	(A. Gray) R.M. King & H. Rob.
	<i>Brickellia</i>	<i>veronicifolia</i>	(Kunth) A. Gray
	<i>Chrysactinia</i>	<i>mexicana</i>	A. Gray
	<i>Dyssodia</i>	<i>pinnata</i>	(Cav.) B.L. Rob.
	<i>Flourensia</i>	<i>microphylla</i>	(A.Gray) S.F.Blake
	<i>Gochnatia</i>	<i>hypoleuca</i>	(DC.) A. Gray
	<i>Gymnosperma</i>	<i>glutinosum</i>	(Spreng.) Less.
	<i>Jefea</i>	<i>brevifolia</i>	(A. Gray) Strother
	<i>Parthenium</i>	<i>argentatum</i>	A. Gray
	<i>Parthenium</i>	<i>hysterophorus</i>	L.
	<i>Parthenium</i>	<i>incanum</i>	Kunth
	<i>Porophyllum</i>	<i>linaria</i>	(Cav.) DC.
	<i>Thymophylla</i>	<i>setifolia</i>	Lag.
	<i>Viguiera</i>	<i>dentata</i>	(Cav.) Spreng.
	<i>Viguiera</i>	<i>greggii</i>	(A. Gray) S.F. Blake
	<i>Viguiera</i>	<i>stenoloba</i>	S.F. Blake
<i>Zinnia</i>	<i>juniperifolia</i>	(DC.) A. Gray	
Berberidaceae	<i>Berberis</i>	<i>trifoliolata</i>	Moric.
Bignoniaceae	<i>Tecoma</i>	<i>stans</i>	(L.) Juss. ex Kunth

Familia	Genero	Especie	Autor
Boraginaceae	<i>Tiquilia</i>	<i>greggi</i>	(Torr. & A. Gray) A.T. Richardson
Bromeliaceae	<i>Hechtia</i>	<i>texensis</i>	S. Watson
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>fagaroides</i>	(Kunth) Engl.
Cactaceae	<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i>	Link & Otto
	<i>Echinocereus</i>	<i>enneacanthus</i>	Engelm.
	<i>Echinocereus</i>	<i>pectinatus</i>	(Scheidw.) Engelm.
	<i>Echinocereus</i>	<i>stramineus</i>	(Engelm.) F. Seitz
	<i>Epithelantha</i>	<i>micromeris</i>	(Engelm.) F.A.C. Weber ex Britton & Rose
	<i>Ferocactus</i>	<i>hamatacanthus</i>	(Muehlenpf.) Britton & Rose
	<i>Ferocactus</i>	<i>pilosus</i>	(Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm.
	<i>Mammillaria</i>	<i>chionocephala</i>	J.A. Purpus
	<i>Mammillaria</i>	<i>formosa</i>	Galeotti ex Scheidw.
	<i>Mammillaria</i>	<i>winterae</i>	Boed.
	<i>Neolloydia</i>	<i>conoidea</i>	(DC.) Britton & Rose
	<i>Opuntia</i>	<i>engelmannii</i>	Salm-Dyck ex Engelm.
	<i>Cylindropuntia</i>	<i>leptocaulis</i>	(DC.) F.M. Knuth
	<i>Opuntia</i>	<i>microdasys</i>	(Lehm.) Pfeiff.
	<i>Opuntia</i>	<i>phaeacantha</i>	Engelm.
	<i>Opuntia</i>	<i>stenopetala</i>	Engelm.
	<i>Cylindropuntia</i>	<i>tunicata</i>	(Lehm.) F.M. Knuth
	<i>Thelocactus</i>	<i>rinconensis</i>	(Poselger) Britton & Rose
<i>Turbincarpus</i>	<i>beguinii</i>	(N.P. Taylor) Mosco & Zanovello	
Celastraceae	<i>Mortonia</i>	<i>palmeri</i>	Hemsl.
Convolvulaceae	<i>Dichondra</i>	<i>sp.</i>	J.R. Forst. & G. Forst.
	<i>Ipomoea</i>	<i>hederacea</i>	Jacq.
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>deppeana</i>	Steud.
	<i>Juniperus</i>	<i>flaccida</i>	Schltld.
	<i>Juniperus</i>	<i>saltillensis</i>	M.T. Hall
Ephedraceae	<i>Ephedra</i>	<i>aspera</i>	Engelm. ex S. Watson
	<i>Ephedra</i>	<i>compacta</i>	Rose
Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	<i>sancti-lazari</i>	Croizat
	<i>Croton</i>	<i>suaveolens</i>	Torr.
	<i>Euphorbia</i>	<i>antisyphilitica</i>	Zucc.
	<i>Jatropha</i>	<i>dioica</i>	Sessé
Fabaceae	<i>Acacia</i>	<i>berlandieri</i>	Benth.
	<i>Acacia</i>	<i>glandulifera</i>	S. Watson
	<i>Bauhinia</i>	<i>uniflora</i>	S. Watson
	<i>Sophora</i>	<i>secundiflora</i>	(Ortega) DC.
	<i>Calliandra</i>	<i>conferta</i>	Benth.
	<i>Dalea</i>	<i>bicolor</i>	Humb. & Bonpl. ex Willd.

Familia	Genero	Especie	Autor
	<i>Dalea</i>	<i>frutescens</i>	A. Gray
	<i>Mimosa</i>	<i>biuncifera</i>	Benth.
	<i>Mimosa</i>	<i>zygophylla</i>	Benth.
	<i>Prosopis</i>	<i>glandulosa</i>	Torr.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>intricata</i>	Trel.
	<i>Quercus</i>	<i>laceyi</i>	Small
	<i>Quercus</i>	<i>pringlei</i>	Seemen
	<i>Quercus</i>	<i>saltillensis</i>	Trel.
	<i>Quercus</i>	<i>striatula</i>	Trel.
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria</i>	<i>splendens</i>	Engelm.
Krameriaceae	<i>Krameria</i>	<i>cytisoides</i>	Cav.
Lamiaceae	<i>Poliomintha</i>	<i>sp.</i>	A. Gray
	<i>Salvia</i>	<i>ballotiflora</i>	Benth.
	<i>Salvia</i>	<i>coulteri</i>	Fernald
	<i>Salvia</i>	<i>regla</i>	Cav.
Lauraceae	<i>Litsea</i>	<i>parvifolia</i>	(Hemsl.) Mez
Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	<i>cuspidata</i>	Torr.
	<i>Fraxinus</i>	<i>greggii</i>	A. Gray
	<i>Menodora</i>	<i>scabra</i>	Engelm. ex A.Gray
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>cembroides</i>	Zucc.
	<i>Pinus</i>	<i>pinceana</i>	Gordon & Glend.
Poaceae	<i>Aristida</i>	<i>curvifolia</i>	E.Fourn
	<i>Bouteloua</i>	<i>curtipendula</i>	(Michx.) Torr.
	<i>Bouteloua</i>	<i>gracilis</i>	(Kunth) Lag. ex Steud.
	<i>Bouteloua</i>	<i>ramosa</i>	Scribn. ex Vasey
	<i>Bouteloua</i>	<i>uniflora</i>	Vasey
	<i>Dasychloa</i>	<i>pulchella</i>	(Kunth) Willd. ex Rydb.
	<i>Eragrostis</i>	<i>palmeri</i>	S. Watson
	<i>Erioneuron</i>	<i>avenaceum</i>	(Humb., Bonpl. & Kunth) Tateoka
	<i>Heteropogon</i>	<i>contortus</i>	(L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.
	<i>Disakisperma</i>	<i>dubium</i>	(Kunth) P.M. Peterson & N. Snow
	<i>Muhlenbergia</i>	<i>phleoides</i>	(Kunth) Columbus
	<i>Metcalfia</i>	<i>mexicana</i>	(Scribn.) Conert
	<i>Muhlenbergia</i>	<i>emersleyi</i>	Vasey
	<i>Muhlenbergia</i>	<i>lindheimeri</i>	Hitchc.
	<i>Muhlenbergia</i>	<i>dubia</i>	E. Fourn.
<i>Muhlenbergia</i>	<i>tenuifolia</i>	(Kunth) Kunth	
<i>Setaria</i>	<i>leucopila</i>	(Scribn. & Merr.) K. Schum.	
Polemoniaceae	<i>Loeselia</i>	<i>greggii</i>	S. Watson
Pteridaceae	<i>Astrolepis</i>	<i>cochisensis</i>	(Goodd.) D.M. Benham & Windham

Familia	Genero	Especie	Autor
	<i>Astrolepis</i>	<i>sinuata</i>	(Lag. ex Sw.) D.M. Benham & Windham
	<i>Cheilanthes</i>	<i>eatonii</i>	Baker
Ranunculaceae	<i>Clematis</i>	<i>drummondii</i>	Torr. & A. Gray
Rhamnaceae	<i>Ceanothus</i>	<i>caeruleus</i>	Lag
	<i>Condalia</i>	<i>spathulata</i>	A. Gray
Rosaceae	<i>Malacomeles</i>	<i>denticulata</i>	(Kunth) G.N.Jones
	<i>Cercocarpus</i>	<i>fothergilloides</i>	Kunth
	<i>Lindleya</i>	<i>mespiloides</i>	Kunth
	<i>Purshia</i>	<i>plicata</i>	(D. Don) Henrickson
	<i>Vauquelinia</i>	<i>corymbosa</i>	Bonpl.
Rubiaceae	<i>Bouvardia</i>	<i>ternifolia</i>	(Cav.) Schtdl.
Sapotaceae	<i>Sideroxylon</i>	<i>lanuginosum</i>	Michx.
Scrophulariaceae	<i>Buddleja</i>	<i>marrubifolia</i>	Benth.
	<i>Leucophyllum</i>	<i>langmaniae</i>	Flyr
	<i>Leucophyllum</i>	<i>minus</i>	A. Gray
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i>	<i>lepidophyla</i>	(Hook. & Grev.) Spring
Verbenaceae	<i>Aloysia</i>	<i>gratissima</i>	(Gillies & Hook.) Tronc.
	<i>Lippia</i>	<i>graveolens</i>	Kunth
Zygophyllaceae	<i>Larrea</i>	<i>tridentata</i>	(DC.) Coville

Apéndice 2. Atributos estructurales del estrato arbóreo y herbáceo de las asociaciones del matorral rosetófilo.

Agave lechuguilla - Parthenium incanum (1,832 – 2,165 m s.n.m.)							
Atributos Arboles							
Especie	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Densidad (ind/ha)	Dens Rel (%)	Dom Rel (%)	Frec Rel (%)	VIR (%)
<i>Pinus cembroides</i>	11.5	2.5	9	85.714	78.178	50.000	71.297
<i>Pinus pinceana</i>	30.0	5.0	2	14.286	21.822	50.000	28.703
Total			11	100	100	100	100
Atributos Hierbas							
<i>Bouteloua gracilis</i>		0.357	21,154	29.730	19.265	13.889	20.961
<i>Bouteloua curtipendula</i>		0.475	8,077	11.351	17.334	11.111	13.266
<i>Aristida curvifolia</i>		0.356	10,385	14.595	14.366	8.333	12.431
<i>Eragrostis palmeri</i>		0.588	3,077	4.324	11.396	5.556	7.092
<i>Muhlenbergia dubia</i>		0.513	4,231	5.946	5.302	8.333	6.527
<i>Acourtia nana</i>		0.268	2,308	3.243	7.776	8.333	6.451
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>		0.550	2,692	3.784	8.924	2.778	5.162
<i>Disakisperma dubium</i>		0.309	4,231	5.946	3.597	5.556	5.033
<i>Heteropogon contortus</i>		0.400	1,923	2.703	5.618	2.778	3.699
<i>Dasychloa pulchella</i>		0.770	4,231	5.946	1.247	2.778	3.324
Otras especies (9)			8,846	12.432	5.175	30.556	16.054
Agave lechuguilla - Fouquieria splendens (2,092 – 2,498 m s.n.m.)							
Especie	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Densidad (ind/ha)	Dens Rel (%)	Dom Rel (%)	Frec Rel (%)	VIR (%)
Atributos Arboles							
<i>Pinus pinceana</i>	19.7	4.2	82	93.750	98.089	75.000	88.946
<i>Pinus cembroides</i>	13.0	3.6	5	6.250	1.911	25.000	11.054
Total			87	100	100	100	100
Atributos Hierbas							
<i>Astrolepis cochisensis</i>		0.214	10,909	18.605	6.902	14.815	13.440
<i>Dyssodia pinnata</i>		0.235	9,545	16.279	8.137	14.815	13.077
<i>Bouteloua gracilis</i>		0.408	7,727	13.178	13.329	11.111	12.540
<i>Cheilanthes eatonii</i>		0.268	7,727	13.178	6.817	11.111	10.369
<i>Bouteloua ramosa</i>		0.583	3,636	6.202	20.048	3.704	9.985
<i>Astrolepis sinuata</i>		0.300	5,909	10.078	4.062	7.407	7.182
<i>Disakisperma dubium</i>		0.403	5,000	8.527	5.146	7.407	7.027
<i>Mandevilla karwinskii</i>		0.817	1,364	2.326	14.996	3.704	7.008
<i>Muhlenbergia tenuifolia</i>		0.800	909	1.550	11.125	3.704	5.460
<i>Bouteloua curtipendula</i>		0.410	1,818	3.101	3.184	7.407	4.564

Otras especies (4)			6,773	27.840	28.398	60.804	39.014
Agave lechuguilla - Dasyliirion cedrosanum (1,901 – 2,612 m s.n.m.)							
Especie	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Densidad (ind/ha)	Dens Rel (%)	Dom Rel (%)	Frec Rel (%)	VIR (%)
Atributos Arboles							
<i>Pinus cembroides</i>	20.8	4.6	72	41.935	54.571	36.000	44.169
<i>Pinus pinceana</i>	17.5	2.9	82	47.742	33.720	40.000	40.487
<i>Quercus laceyi</i>	11.8	3.8	10	5.806	6.368	4.000	5.392
<i>Fraxinus cuspidata</i>	14.2	2.8	4	2.581	3.936	8.000	4.839
<i>Juniperus flaccida</i>	30.0	4.1	1	0.645	0.836	4.000	1.827
<i>Juniperus saltillensis</i>	15.0	2.0	1	0.645	0.512	4.000	1.719
<i>Juniperus deppeana</i>	6.0	2.5	1	0.645	0.057	4.000	1.567
Total			172	100	100	100	100
Atributos Hierbas							
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>		0.780	6,944	8.039	39.702	16.981	21.574
<i>Aristida curvifolia</i>		0.455	13,056	15.113	22.329	16.981	18.141
<i>Bouteloua gracilis</i>		0.362	16,667	19.293	7.924	16.981	14.733
<i>Selaginella lepidophylla</i>		0.650	22,222	25.723	2.779	1.887	10.130
<i>Disakisperma dubium</i>		0.544	3,333	3.859	9.198	3.774	5.610
<i>Dyssodia pinnata</i>		0.256	5,278	6.109	1.468	7.547	5.042
<i>Bouteloua curtispindula</i>		0.600	2,778	3.215	5.640	3.774	4.210
<i>Mandevilla karwinskii</i>		0.214	2,500	2.894	1.573	3.774	2.747
<i>Astrolepis cohisensis</i>		0.268	2,500	2.894	1.274	3.774	2.647
<i>Astrolepis sinuata</i>		0.250	2,222	2.572	1.040	3.774	2.462
Otras especies (11)			8,889	10.289	7.073	20.755	12.706
Dasyliirion cedrosanum - Purshia plicata (1,841 - 2,433 m.s.n.m.)							
Especie	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Densidad (ind/ha)	Dens Rel (%)	Dom Rel (%)	Frec Rel (%)	VIR (%)
Atributos Arboles							
<i>Pinus cembroides</i>	20.0	3.1	3	50.000	86.207	50.000	62.069
<i>Juniperus flaccida</i>	9.0	2.6	3	50.000	13.793	50.000	37.931
Total			6	100	100	100	100
Atributos Hierbas							
<i>Aristida curvifolia</i>		0.420	16,429	22.549	38.781	27.778	29.703
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>		0.600	8,571	11.765	32.907	16.667	20.446
<i>Bouteloua gracilis</i>		0.375	16,429	22.549	8.177	11.111	13.946
<i>Bouteloua curtispindula</i>		0.450	7,143	9.804	10.323	16.667	12.265
<i>Dyssodia pinnata</i>		0.140	8,571	11.765	2.457	16.667	10.296
Otras especies (2)			15,714	21.57	7.35	11.11	13.34

Apéndice 3.- Coordenadas geográficas de sitios de muestreo por asociación florística y atributos ecológicos

Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* – *Parthenium incanum*

Sitio	*Coordenadas		Altitud (m)	Precip anual (mm)	Temp Media (°C)	Pendiente (%)	Exposición	Grado de perturbación
	X	Y						
1	295564	2795659	2,100	481.5	15.51	3.49	Sureste	4
2	294245	2795602	2,165	496.8	15.26	8.47	Sur	2
8	292081	2794688	2,056	469.8	15.70	4.41	Oeste	2
9	290792	2794765	1,975	452.2	16.00	2.52	Oeste	3
12	293415	2800111	2,031	466.8	15.75	11.72	Noroeste	3
20	292494	2804502	1,832	422.7	16.49	7.92	Sur	1
23	291857	2804092	1,860	427.5	16.41	3.76	Sureste	4
25	291951	2803169	1,860	431.4	16.34	22.93	Este	2
26	291668	2793231	2,045	472.8	15.65	36.62	Sur	1
27	292432	2804028	1,879	436.9	16.25	30.07	Este	3
28	316950	2794124	2,150	494.0	15.30	22.57	Sur	4
29	292280	2804101	1,898	436.5	16.26	16.14	Noroeste	3
41	310446	2808159	2,346	540.9	14.52	24.23	Sur	4

Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* - *Fouquieria splendens*

Sitio	*Coordenadas		Altitud (m)	Precip anual (mm)	Temp media (°C)	Pendiente (%)	Exposición	Grado de perturbación
	X	Y						
6	306741	2797688	2,498	572.4	14.00	31.39	Sur	1
10	293067	2795760	2,285	524.9	14.79	35.16	Sureste	2
13	295992	2792073	2,130	494.9	15.29	23.34	Sur	2
16	302282	2794463	2,355	544.1	14.47	29.40	Sur	1
17	303087	2797341	2,317	532.4	14.66	27.37	Sur	2
21	295469	2799546	2,191	506.8	15.09	41.55	Este	1
35	292990	2795022	2,241	516.0	14.94	24.61	Sureste	3
36	318762	2810767	1,882	431.2	16.35	17.16	Este	3
40	315938	2808395	2,215	512.1	15.00	19.59	Sur	3
46	318641	2808737	2,092	484.2	15.46	28.20	Sureste	4
47	318022	2808561	2,165	499.7	15.21	30.63	Sur	4

Matorral rosetófilo de *Agave lechuguilla* - *Dasyilirion cedrosanum*

Sitio	*Coordenadas		Altitud (m)	Precip anual (mm)	Temp media (°C)	Pendiente (%)	Exposición	Grado de perturbación
	X	Y						
3	294788	2796360	2,220	510.7	15.02	13.12	Sureste	3
4	296100	2797029	2,180	501.1	15.18	4.68	Sureste	3
5	295404	2797254	2,305	532.2	14.67	34.41	Sur	2
7	306500	2797704	2,560	592.9	13.66	11.78	Sur	2
11	294048	2796954	2,612	599.6	13.55	35.69	Sureste	1
14	305846	2806286	2,162	494.9	15.29	25.71	Norte	1
15	299436	2793627	2,250	521.7	14.84	25.09	Sureste	2
18	294339	2796925	2,507	575.4	13.95	29.77	Sureste	1
19	298136	2799131	2,317	435.1	14.62	33.40	Este	3
22	295362	2799858	2,192	505.9	15.10	28.20	Noreste	1
24	294374	2800436	2,112	485.1	15.45	16.55	Noroeste	3
38	316111	2807975	2,105	483.3	15.48	7.86	Sur	1
39	315133	2808863	2,480	571.2	14.02	35.32	Sur	1
42	311371	2811231	1,901	434.4	16.29	22.64	Noroeste	4
43	310671	2803181	2,375	546.3	14.43	33.69	Este	3
44	316491	2812226	1,957	446.7	16.09	18.78	Norte	3
48	315167	2801750	2,321	530.3	14.70	31.94	Sur	2
49	315278	2801821	2,328	538.1	14.57	29.89	Sur	2

Matorral rosetófilo de *Dasyilirion cedrosanum* - *Purshia plicata*

Sitio	*Coordenadas		Altitud (m)	Precip anual (mm)	Temp media (°C)	Pendiente (%)	Exposición	Grado de perturbación
	X	Y						
30	304545	2807057	2,034	465.7	15.77	18.34	Este	3
31	304524	2806916	2,055	472.3	15.66	10.55	Noreste	3
32	308901	2809185	2,300	525.1	14.78	27.76	Noroeste	3
33	307217	2809260	1,906	434.2	16.30	26.83	Noroeste	4
34	308953	2808915	2,433	555.0	14.24	20.60	Noroeste	5
37	309852	2811016	1,841	420.5	16.52	19.59	Noroeste	4
45	315533	2811950	1,960	447.6	16.07	18.87	Noroeste	4

*Coordenadas UTM WGS 84 Zona 14