

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Caracterización del suelo, ordenación y diversidad de especies del
zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México

Por:

YEDID VÁSQUEZ CORONEL

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Caracterización del suelo, ordenación y diversidad de especies del zacatal
semidesértico de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México

POR:

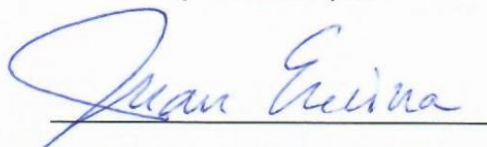
YEDID VÁSQUEZ CORONEL

TESIS

Que se somete a consideración del H. jurado examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Juan Antonio Encina Domínguez

Asesor Principal



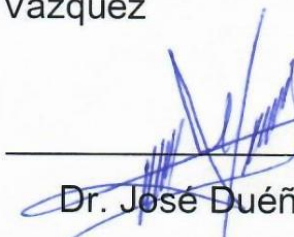
Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Coasesor



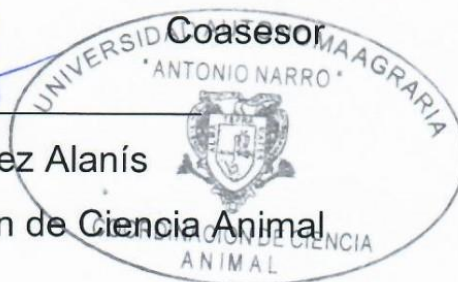
Ing. Sait Juanes Márquez

Coasesor



Dr. José Duéñez Alanís

Coordinador de la División de **Ciencia Animal**



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2020

DEDICATORIA

A MI MADRE.

Magdalena Coronel López.

*Por ser una madre ejemplar, por su apoyo, amor y
confianza a pesar de la distancia.*

A MIS ABUELOS

Juana López León y Camilo Coronel Sánchez.

*Por ser mis segundos padres, por guiarme y darme todo
su apoyo, amor y estar conmigo siempre.*

Para ustedes, con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la vida, por guiar mi camino durante esta y todas las etapas de mi vida, por darme las fuerzas para salir adelante y por acompañarme en cada momento de mi carrera profesional.

A mi “**Alma Terra Mater**” **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios, por permitirme conocer gente extraordinaria como mis maestros que me ayudaron en mi formación compartiéndome sus conocimientos sobre la agricultura y la vida, gracias por todas las oportunidades que me brindó para hacer una estancia de intercambio académico en España. Por poder ser parte del Equipo Internacional de Identificación de Plantas de Pastizales, para representar a esta gran casa en Estados Unidos, y gracias por permitirme conocer grandes amistades y gente que me apoyó durante mi formación universitaria.

A mi asesor, el **Dr. Juan Antonio Encina Domínguez**, por permitirme trabajar en este gran proyecto que me es de mucha ayuda para culminar mi carrera universitaria, por asesorarme, por su valioso tiempo para la realización de tesis y por compartirme sus conocimientos durante todo este tiempo.

Al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez**, por su valioso tiempo dedicado a la revisión de mi tesis y por sus valiosas opiniones y correcciones.

Al **Ing. Sait Juanes Márquez**, por su gran apoyo en la realización de mi tesis, por su valioso tiempo en la revisión de este trabajo, por sus sugerencias y valiosas opiniones.

A mis **maestros y maestras** por compartirme sus conocimientos durante toda mi estancia en esta universidad, porque sin ustedes ningún alumno de esta gran universidad lograría sus sueños como yo lo estoy logrando ahora.

Al **Equipo Internacional de Identificación de Plantas de Pastizales (EIIPP)**, por permitirme formar parte de este gran equipo que ha tenido una larga trayectoria durante muchos años con grandes logros y que con mucho esfuerzo pude ser una pieza para representar a nuestra “Alma Terra Mater” en Estados Unidos. Gracias por permitirme conocer compañeros extraordinarios que se volvieron grandes amigos.

A MI FAMILIA

A mis padres, **Magdalena Coronel López** y **Jesús Vasquez Hernández** por darme la vida y todas las lecciones de cómo afrontar los buenos y malos momentos que se me presenten, porque a pesar de la distancia siempre los sentí cerca. Gracias por el apoyo inmenso, por creer en mí para lograr todos esos sueños que tenía y logré, por sus consejos, y por darme la oportunidad de hacer una carrera universitaria.

A mis abuelos, **Juana López León** y **Camilo Coronel Sánchez**, porque más que mis abuelitos, ustedes también son mis padres. Gracias por cuidarme, por siempre apoyarme y por darme los mejores consejos y lecciones de vida, que a pesar de todo el sufrimiento; el amor, el respeto y la humildad siempre debemos mantenerlos vivos en nosotros, porque eso nos hacen ser grandes personas. Gracias por cada abrazo de despedida y lágrima de felicidad cada vez que me iba y volvía a casa. Siempre pido a Dios por ustedes porque son y serán siempre lo más importante en mi vida.

A mis hermanos **Abigail Vasquez** y **Daniel Coronel**, porque más que mis hermanos son mis mejores amigos, gracias por siempre escucharme, por apoyarme y por creer en mí. Son una pieza importante en este logro, porque siempre seguí tus pasos hermana, para poder lograr mis sueños como tú has logrado los tuyos y porque quiero que tú también logres todo lo que desees hermanito. Los amo inmensamente. Y a **Diana, Erick** y **Gadiel**, espero que con este logro pueda ser un ejemplo de bien para ustedes, para que también puedan lograr grandes cosas hermanos.

A mis tíos y tías, **Elvira, Idalia, Gerardo, Abel, Camilo, Judit, Adelina, Angelina** y **Cecilia**, gracias por todo el apoyo y amor incondicional que me han dado durante mi etapa universitaria y durante toda mi vida, gracias por creer siempre en mí y por apoyar a mis padres cada vez que podían. Los respeto, admiro y quiero muchísimo.

A MIS AMIGOS

A **Bryan Ramírez**, por ser mi mejor amigo durante la carrera universitaria y estar conmigo hasta culminarla, gracias por tu tiempo compartido, por los grandes, buenos y malos momentos, por apoyarme siempre y por tu amistad aún en la distancia.

A **Jenitzel Gil**, gracias por tu bonita amistad, por estar siempre presente en el trayecto de mis logros, por todas nuestras pláticas, risas, consejos y apoyo en todas mis locuras. Eres una pieza importante en mi vida.

A **Areli Velásquez**, por ser esa amiga con la que he podido compartir grandes momentos en la Universidad, gracias por esos días de llorar y reír con nuestras historias, por apoyarme en todas mis locuras, y por creer siempre en mí.

A **Hilde Cepeda**, por ser esa amiga con la que puedo contar siempre, doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino, porque siempre estas al pendiente de mí dándome buenos consejos, gracias por todos los bonitos momentos y por ser una persona extraordinaria, te quiero muchísimo. **Alonso Padilla**, a pesar de conocernos casi al final de la carrera universitaria te volviste mi mejor amigo de buenos momentos, gracias por ser parte de mis días alegres, por tus consejos, por escucharme y por acompañarme a reír con todas nuestras locuras juntos en España, México y el mundo. **Juan Carlos Ramírez y Selene Reyes**, por su bonita amistad, por el tiempo compartido, gracias a ustedes he tenido grandes y buenos momentos en mi vida y eso también se lo agradezco a mi lugar favorito, Cartagena España.

A **Sait Juanes**, por tu bonita amistad, por ser ese amigo con el que siempre puedo contar y confiar. Gracias por enseñarme a ser mejor persona, a pensar siempre positivamente y a mantenerme siempre de pie cada vez que intentaba caer. Gracias por transmitirme cosas buenas, escucharme siempre, animarme, alegrar mis días y por todos esos grandes momentos compartidos.

A mis amigos **Hugo Lisandro, Arlley Gómez y Martín Torres**, por ser esos grandes amigos que compartieron grandes momentos conmigo, por todo el apoyo en la universidad, gracias, son personas de un corazón enorme, los valoro y admiro.

Y a todas esas personas que me encontré en el trayecto de mi carrera universitaria, los que me apoyaron y motivaron. Gracias.

INDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| INDICE GENERAL | v |
| INDICE DE CUADROS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivo general | 4 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1 Definición del zacatal | 5 |
| 2.2 Distribución y ecología del zacatal en México | 5 |
| 2.3 Distribución de los zacatales en Coahuila | 6 |
| 2.4 Importancia de los zacatales en la ganadería | 7 |
| 2.5 Utilización y sobrepastoreo de los zacatales en México | 8 |
| 2.6 Degradación del suelo del zacatal por efecto del sobrepastoreo | 12 |
| 2.7 Conservación de los zacatales en el norte de México..... | 14 |
| 2.8 Diversidad y Riqueza de especies de plantas | 15 |
| 2.9 Análisis de correspondencia canónico (ACC) | 16 |
| 2.10 Propiedades físicas y químicas del suelo..... | 17 |
| 2.10.1 Macroelementos del suelo en zacatales (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)) | 17 |
| 2.10.2 Microelementos del suelo en zacatales; cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn)..... | 18 |
| 2.10.3 Conductividad hidráulica | 19 |
| 2.10.4 pH del suelo y capacidad de intercambio catiónico..... | 19 |
| 2.10.5 Fertilidad del suelo y la importancia de la materia orgánica | 20 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 22 |
| 3.1 Descripción del área de estudio | 22 |
| 3.1.1 Clima..... | 22 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.1.2 | Suelo..... | 24 |
| 3.1.3 | Vegetación | 24 |
| 3.2 | Metodología..... | 24 |
| 3.2.1 | Establecimiento de parcelas..... | 24 |
| 3.2.2 | VARIABLES EVALUADAS | 25 |
| 3.2.2.1 | VARIABLES ECOLÓGICAS..... | 25 |
| 3.2.2.2 | Propiedades físico-químicas del suelo..... | 25 |
| 3.2.2.3 | Composición y ordenación de especies..... | 26 |
| 3.2.3 | Cálculos de la diversidad vegetal de la comunidad estudiada | 26 |
| IV. | RESULTADOS..... | 30 |
| 4.1 | Composición florística | 30 |
| 4.2 | Diversidad y riqueza de especies..... | 31 |
| 4.3 | Ordenación de las parcelas y especies del zacatal semidesértico con relación a variables ambientales a través del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). | 31 |
| 4.4 | Caracterización de los suelos..... | 36 |
| 4.4.1 | Propiedades físicas del suelo..... | 36 |
| 4.4.2 | Fertilidad y propiedades químicas del suelo..... | 37 |
| 4.4.3 | Potencial Hidrógeno (pH) | 43 |
| V. | DISCUSIÓN..... | 45 |
| 5.1 | Composición florística | 45 |
| 5.2 | Diversidad y riqueza de especies | 47 |
| 5.3 | Análisis de correspondencia canónica | 49 |
| 5.2 | Propiedades químicas de los suelos del zacatal | 51 |
| VI. | CONCLUSIONES..... | 57 |
| VII. | RECOMENDACIONES | 58 |
| VIII. | LITERATURA CITADA | 59 |
| IX. | ANEXOS | 74 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|-----------|
| Cuadro 1. Principales familias de plantas con más especies presentes en el zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé. | 30 |
| Cuadro 2. Forma biológica y estatus migratorio de las especies de plantas presentes en las parcelas estudiadas..... | 31 |
| Cuadro 3. Índices de diversidad del zacatal semidesértico de la sierra de Zapalinamé | 31 |
| Cuadro 4. Análisis de correspondencia canónica (CCA) para la ordenación del zacatal semidesértico mediante variables evaluadas | 32 |
| Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los 4 ejes de ordenación | 33 |
| Cuadro 6. Clase de textura de los suelos del zacatal de la Sierra de Zapalinamé | 36 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Conjunto de datos vectoriales del pastizales en México. (Fuente: CONABIO 2020) | 6 |
| Figura 2. Diferentes escalas de efecto de los animales sobre las pasturas (Adaptado de Stuth 1991)..... | 9 |
| Figura 3. Porcentaje de utilización y nivel de residuos (Adaptado de Stuth 1991). | 9 |
| Figura 5. Conglomerados de cada sitio de muestreo que incluye dos parcelas para evaluación de atributos de la vegetación en el zacatal semidesértico. | 25 |
| Figura 6. Diagrama de ordenación de los sitios y las especies del zacatal semidesértico con relación a las variables ambientales mediante el Análisis de Correspondencia Canónico (CCA), que muestra 134 especies y donde los 3 polígonos encerrados muestran asociaciones de especies del zacatal. Los acrónimos de las especies se describen en el anexo 3. Na: Sodio, K: Potasio, Mg: Magnesio, Zn: Zinc, MO: Materia Orgánica y Ca: Calcio..... | 35 |
| Figura 7. Valores promedio y desviación estándar de materia orgánica de los suelos del zacatal..... | 37 |
| Figura 8. Valores promedio y desviación estándar de nitrógeno total de los suelos del zacatal..... | 38 |
| Figura 9. Valores promedio y desviación estándar de fósforo de los suelos del zacatal..... | 39 |
| Figura 10. Valores promedio y desviación estándar de materia potasio de los suelos del zacatal. | 40 |
| Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de calcio de los suelos del zacatal..... | 41 |
| Figura 12. Valores promedio y desviación estándar de magnesio de los suelos del zacatal..... | 42 |
| Figura 13. Valores promedio y desviación estándar de sodio de los suelos del zacatal..... | 43 |
| Figura 14. Valores promedio y desviación estándar de pH de los suelos del zacatal | 44 |

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Sierra de Zapalinamé, área natural protegida por el gobierno estatal, localizado en el ejido Jagüey de Ferniza en el sureste de Coahuila. El objetivo fue determinar la diversidad y riqueza de especies, el efecto de variables ambientales que condicionan su distribución y ordenación, así como conocer las principales propiedades químicas del suelo. Se establecieron ocho sitios con dos parcelas por cada uno (16 parcelas de muestreo de 10 x 10 m), donde se determinó la composición y ordenación de especies, a través de un gradiente de altitud de 2,102 a 2,268 m. 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 especies se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA). Así mismo se colectaron muestras de suelo de 0 a 10 cm de profundidad por parcela para su posterior análisis químico para determinar; porcentaje de M.O, P Olsen, N total, Ca, Na, K, Mg, CIC, conductividad eléctrica y pH. Se registraron 178 especies, 45 familias y 136 géneros. Las familias con mayor riqueza son Asteraceae, Fabaceae y Poaceae. Se determinaron tres asociaciones del zacatal, que fueron influenciadas por los gradientes de altitud, pH, M.O, K, Mg, Na, Ca y Zn. El zacatal presentó un índice de diversidad de 4.47 nats, considerado alto y un índice de equitatividad de 90.52 %. La distribución y asociación de especies, fueron influenciadas por el gradiente de altitud, mayormente en el área del zacatal adyacente al bosque de pinos, mientras que, el pH lo hizo cerca del matorral xerófilo. Se determinó una textura del suelo como franco, con un contenido del 20-30 % de arcilla, 2 a 8% de materia orgánica y un pH de 8.1, considerado como suelo alcalino. Se registraron diferencias significativas entre parcelas en el contenido de macronutrientes y micronutrientes, siendo componentes descriptivos para el zacatal. La composición de especies del zacatal de la sierra de Zapalinamé está determinada por un gradiente de altitud y pH, la cual determina la presencia de algunas asociaciones de especies.

Palabras clave: Zacatal, diversidad de especies, gradiente ambiental, propiedades químicas del suelo.

ABSTRACT

This study was carried out in the Sierra de Zapalinamé, a natural area protected by the state government, located in the ejido Jagey de Ferniza in southeastern Coahuila. The objective was to determine the diversity and richness of species, the effect of environmental variables that condition their distribution and management, as well as to know the main chemical properties of the soil. Eight sites were established with two plots each (16 sampling plots of 10 x 10 m), where the composition and management of species was determined, through an altitude gradient of 2,102 to 2,268 m. For the calculation of diversity, Shannon's index, Margalef's wealth index, Pielou's evenness index and Simpson's dominance were used. Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used for species management. Soil samples 0 to 10 cm deep per plot were also collected for further chemical analysis to determine; percentage of M.O,P Olsen, Total N, Ca, Na, K, Mg, CIC, Electrical Conductivity and pH. There were 178 species, 45 families and 136 genera. The richest families are Asteraceae, Fabaceae and Poaceae. Three grassland associations were determined, which were influenced by altitude gradients, pH, M.O, K, Mg, Na, Ca, and Zn. The rangeland had a diversity index of 4.47 nats, considered high and a riding rate of 90.52%. The distribution and association of species, were influenced by the altitude gradient, mostly in the area of the zacatal adjacent to the pine forest, while, the pH did so near the xerophilic scrub. A soil texture was determined as frank, with a content of 20-30% clay, 2 to 8% organic matter and a pH of 8.1, considered to be alkaline soil. Significant differences were recorded between plots in the content of macronutrients and micronutrients, being descriptive components for the rangeland. The composition of zapalinamé mountain range species is determined by an altitude gradient and pH, which determines the presence of some species associations.

Keywords: Rangeland, species diversity, environmental gradient, soil chemical properties.

I. INTRODUCCIÓN

Los zacatales de América del Norte se extienden desde el sur de Canadá hasta el centro de México. Comprende las praderas de zacates altos, mixtos y cortos presentes en Canadá y los Estados Unidos (Coupland, 1979). El zacatal semiárido de México se considera una extensión hacia al sur de la pradera de zacates cortos, que se distribuye desde Alberta y Saskatchewan hasta Arizona, Nuevo México y Texas (Shreve, 1942).

Los zacatales comprenden el 6.1 % del territorio mexicano (CONABIO 2020) y su existencia se remonta a principios del Terciario (Rzedowski, 2006), tiene amplias variaciones ecológicas y de composición de especies. Más del 80 % de esta vegetación se presenta en el Altiplano Mexicano, en forma de zacatales semiáridos, dominados por especies de los géneros *Bouteloua*, *Aristida*, *Sporobolus* y *Muhlenbergia*. Están muy extendidos en el norte del país y cubren grandes zonas en Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco. Existen muchas similitudes fisonómicas y ecológicas entre el zacatal de gramíneas cortas y los zacatales semiáridos mexicanos, incluida la dominancia de especies del género *Bouteloua* (Rzedowski, 1975). México es considerado el centro de diversidad para este género donde se distribuyen 29 especies y 13 variedades (Herrera-Arrieta *et al.*, 2004).

El zacatal es la vegetación que ha sido más impactada por la influencia humana (Hannah *et al.*, 1995). Cada vez son más vulnerables debido al pastoreo no planificado, apertura de áreas agrícolas, invasión de especies exóticas, así como la sequía lo cual ocasiona su disminución (Encina-Domínguez *et al.*, 2014). En México a pesar de su importancia, se encuentran entre los ecosistemas menos protegidos y más amenazados (Coupland, 1979; CONABIO, 1998). De acuerdo con, SEMARNAT (2003) el 95 % de los zacatales áridos mexicanos están sobre pastoreados. La visión negativa de los zacatales ha resultado en una falta de protección y una fuerte degradación (Martorell *et al.*, 2017).

En los valles intermontanos con suelos profundos localizados en el sureste de Coahuila se distribuye el Zacatal Mediano Abierto (Vásquez, 1973; CONAZA, 1994). Comunidad vegetal que ha sido fragmentada por el cambio de uso del suelo para establecer áreas agrícolas, actividades industriales, así como el incremento de áreas sobre pastoreadas (Vásquez, 1973; CONAZA, 1994).

En los zacatales existe gran diversidad y riqueza de especies de plantas; La familia de las gramíneas es la cuarta con mayor riqueza de especies de plantas con flor. En el mundo se tienen aproximadamente 12,074 especies y cerca de 771 géneros (Soreng *et al.*, 2015). Para Coahuila se registra una riqueza de 318 especies y 43 infraespecies, distribuidas en ocho subfamilias, 19 tribus y 100 géneros (Valdés-Reyna, 2015).

En México, los zacatales y sus especies son de gran importancia pero sin dejar a un lado la importancia del suelo ya que las propiedades químicas son los indicadores de la calidad del suelo que hay en la zona y las reservas nutritivas pueden modificarse debido a las actividades humanas. El uso del suelo, es referido en su sentido más amplio, a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal. En México el 24 % de los suelos se encuentran degradados y es resultado de la deforestación y cambio de uso de suelo (Sánchez-Castillo y Cantú, 2014). Las propiedades físicas y químicas, asignan al suelo la calidad necesaria para albergar la vida y mantener la capacidad productiva (Fernández *et al.*, 2016). Las reservas nutritivas de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio tienden a presentar una pérdida debido a las actividades humana (Wang *et al.*, 2015).

Los suelos xerosoles se caracterizan por ser un suelo de zona seca o árida; la vegetación natural que sustenta matorrales y pastizales; el uso pecuario es el más importante. Su ubicación está restringida a las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país (Sierra *et al.*, 1992). Su característica primordial es poseer un régimen hídrico arídico, y un perfil compuesto de un horizonte A, poco expresado, de color gris claro, sobre un horizonte B, con estructura poco desarrollada, de color pardo

claro o gris; algunos poseen en profundidad un horizonte de acumulación de carbonato cálcico en el límite inferior del suelo (Iñiguiz *et al.*, 1981).

A pesar de su importancia en la región, no existen estudios cuantitativos que aborden el impacto del pastoreo en la composición y estructura de la vegetación, así como su efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo y que sirvan de base para la restauración de las áreas degradadas y la conservación de este ecosistema. (Vásquez, 1973; CONAZA, 1994).

Por lo anterior, se pretende determinar la diversidad y ordenación de especies con variables ecológicas y caracterizar las propiedades químicas del suelo que condicionan la distribución de las especies del zacatal semidesértico de la sierra de Zapalinamé, con la finalidad de obtener información florística – ecológica de esta comunidad vegetal y generar las bases para su manejo adecuado.

1.1 Objetivo general

Determinar la diversidad, riqueza y ordenación de especies de plantas, así como la descripción de las propiedades físico – químicas del suelo en un zacatal semidesértico en el sureste de Coahuila, México.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición, diversidad y riqueza de especies de plantas del zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé.
- Caracterizar la ordenación de especies del zacatal semidesértico a través de gradientes ambientales como altitud y el suelo.
- Determinar las propiedades físico-químicas que caracterizan el suelo del zacatal semidesértico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición del zacatal

Es conocido como grassland, sabana, o zacatonal (Ogata *et al.* 2007). Es una comunidad vegetal donde las especies dominantes son las gramíneas o zacates (Rzedowski, 1975), esta clasificación incluye a los pastizales de Miranda y Hernández (1963), donde abarca los zacatonales, así como los parámos de altura y las sabanas. Huss y Aguirre (1976) mencionan que los zacatales son áreas donde las precipitaciones son insuficientes para soportar la formación de árboles, pero suficiente para la formación de desiertos, estas áreas están dominados por gramíneas: hierbas y leguminosas, ocurren en cantidades menores y se desarrollan en las zonas de climas áridos.

2.2 Distribución y ecología del zacatal en México

Los zacatales son comunidades vegetales con dominancia de especies de la familia Poaceae (gramíneas o zacates), se desarrollan en valles donde los suelos son de mediana profundidad, así como en laderas poco inclinadas, tienen amplia distribución en México y Norteamérica (Rzedowski, 1975). Se distribuyen en regiones con clima templado y semiseco, en altitudes entre 800 a 2,500 m, con una temperatura media anual de 12 a 20 °C y 300 - 600 mm de precipitación anual y donde la mayor parte de ésta ocurre en el verano de junio a septiembre (Rzedowski, 2006).

A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX los pastizales del norte de México eran fuente de gran riqueza para las haciendas que se dedicaban a la ganadería. Con el reparto agrario por el gobierno a los ejidos, en las mejores áreas de pastizal se establecieron áreas agrícolas para cultivos de temporal (Shreve, 1942). En la región donde se localiza el área de estudio la actividad agrícola inició a finales del siglo XIX (Favret-Tondato, 2013) para cultivar trigo, maíz, frijol y cebada, además de

frutales, de esta forma se ocasionó la disminución del pastizal mediano abierto propio de valles aluviales. De acuerdo con Encina-Domínguez (2017) en la sierra de Zapalinamé es la vegetación más fragmentada y ocupa una superficie de 1,976.659 ha, lo que representa el 4.510 % de la zona montañosa.

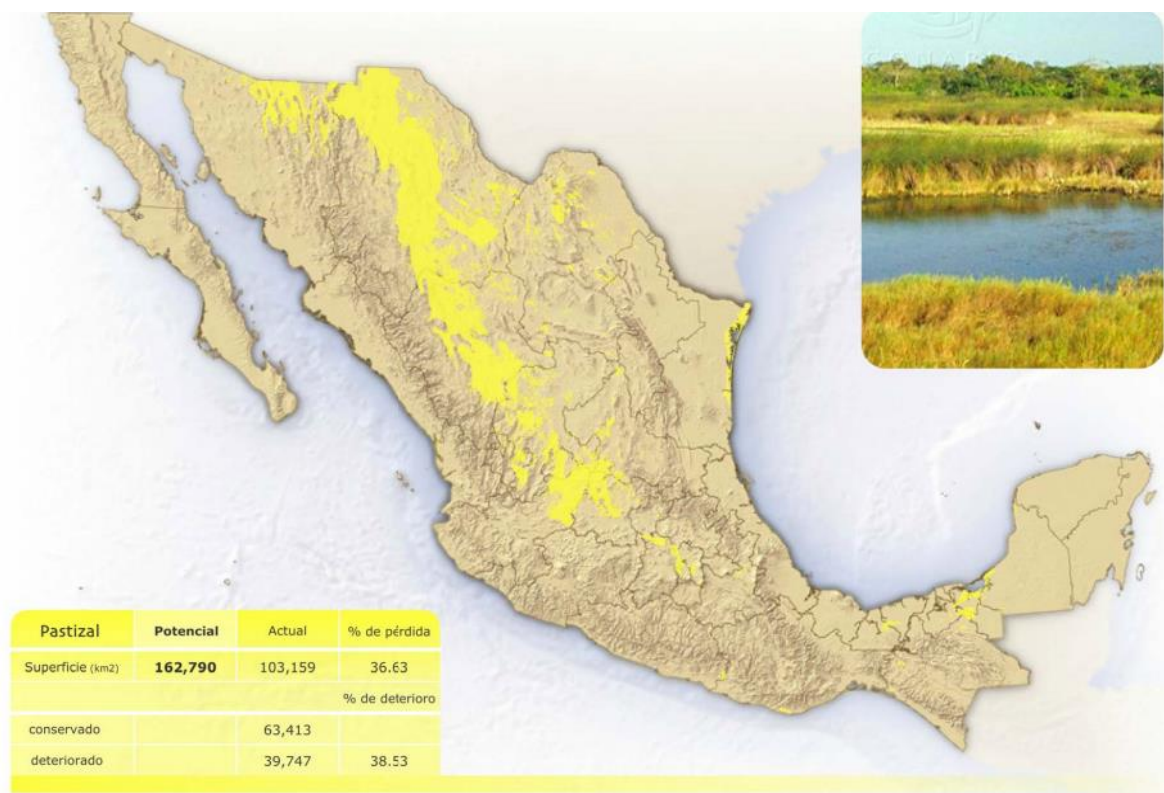


Figura 1. Conjunto de datos vectoriales de los pastizales en México (Fuente: CONABIO, 2020).

2.3 Distribución de los zacatales en Coahuila

En Coahuila los zacatales se distribuyen en porciones aisladas que varían en tamaño en todo el territorio del estado y dominan un área aproximada del 8 % de la superficie estatal (Villarreal y Valdés, 1992 - 93). En el estado se presenta gran variedad de condiciones fisiográficas, climáticas y edáficas, factores que dan lugar a una significativa diversidad de tipos de vegetación y de flora (Villarreal, 2001), donde los zacatales ocupan 6.18 % de la superficie estatal según el ordenamiento ecológico

de Coahuila (ICE, 2001) e incluye el pastizal natural o climático, el gipsófilo (Pinkava, 1984) y halófilo (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). Se encuentran asociados con otros tipos de vegetación, principalmente con el matorral xerófilo y con bosques de pino piñonero, por lo que la composición de especies es diversa, sin embargo, en las asociaciones domina el estrato herbáceo a través de varias especies de gramíneas, con arbustos y árboles que crecen aislados.

En el estado de Coahuila, La superficie de zacatal mejor conservado se ubica en el Rancho Experimental Los Ángeles, a 32 km al sur de Saltillo, para tal predio Vásquez (1973) describe el zacatal como Pastizal Mediano Abierto, siendo la comunidad vegetal dominante, de la cual forma parte especies del género *Bouteloua*, además de los géneros *Aristida* y *Muhlenbergia*, así como plantas leñosas aisladas.

2.4 Importancia de los zacatales en la ganadería

Desde el punto de vista de la economía humana, las áreas con cubierta vegetal dominadas por especies de gramíneas revisten gran importancia, pues constituyen el medio natural más benéfico para el aprovechamiento pecuario (Rzedowski, 2006), debido a que esta vegetación es la base para la ganadería extensiva, ya que son la fuente más barata de forraje para consumo del ganado doméstico (Encina-Domínguez *et al.*, 2014). Los zacatales son adecuados para la alimentación del ganado bovino y equino y la mayor parte de la superficie correspondiente a esta vegetación se dedica a tal propósito, en algunas zonas el ganado ovino y caprino también utiliza zacatales para su alimentación, aunque las preferencias nutritivas de estos animales más bien tienden a encontrarlos en otro tipo de vegetación (Rzedowski, 2006). Tal forraje es transformado por los animales en alimentos (proteína animal) y otros subproductos (pieles, lana, entre otros). Aunque hay que tener en cuenta que a pesar de la gran importancia económica de la ganadería extensiva producen cambios en las comunidades vegetales debido a que el ganado es selectivo el consumo de las especies presentes en función de su calidad y palatabilidad (Quintana, 2014).

La introducción del ganado en México ocurrió en 1521, dando inicio a esta actividad, que alcanzó su máximo desarrollo entre 1562 y 1680 (Brand, 1961). Como en muchos otros países, la falta inicial del manejo del pastoreo provocó su degradación (González, 1965). Se reconoce que el efecto del pastoreo del ganado provoca cambios en la estructura de las comunidades vegetales, cuyo resultado depende del clima del área, así como de la intensidad y frecuencia del pastoreo (Milchunas *et al.*, 1988). En las zonas semiáridas del norte de México se produce una disminución de la cobertura de las gramíneas forrajeras, además del reemplazo por arbustos espinosos y/o gramíneas de menor calidad de los géneros *Dasyochloa*, *Enneapogon*, *Scleropogon* y *Stipa* poco apetecidos por el ganado (Quintana, 2014).

2.5 Utilización y sobrepastoreo de los zacatales en México

El pastoreo del ganado es una de las acciones de perturbación más importantes en los zacatales (Milchunas *et al.*, 1988). Se ha documentado que el sobrepastoreo reduce la biomasa debido al pastoreo selectivo e impide el desarrollo de especies forrajeras, propicia y aumenta la invasión de plantas indeseables no palatables como arbustos espinosos y resistentes al pastoreo (Hickman y Hartnett, 2002) y hierbas anuales de tipo ruderal que son dispersadas por el ganado (Richardson *et al.*, 2000), además, el pisoteo excesivo ocasiona compactación del suelo, también cambios en los procesos hidrológicos del suelo y susceptibilidad a la erosión eólica (Steffens *et al.*, 2008), lo que reduce la cobertura de la vegetación (Hobbs y Huenneke, 1992) y de acuerdo con Kahmen *et al.* (2002) altera la composición, diversidad y estructura de la vegetación.

Huss (1993) considera que el sobrepastoreo es el producto de periodos de pastoreo y de recuperación inadecuados, asociado a tasas de ocupación excesivas y malos sistemas de manejo. Estos dan como resultado un pastoreo destructivo y constituyen una de las causas más importantes de la desertificación de las tierras de pastoreo. Por su parte Savory (2000) describe que el sobrepastoreo reduce el mantillo, la cubierta vegetal, las raíces y dirige el agostadero hacia una sucesión

negativa, con el consecuente incremento de suelo desnudo por la desaparición de plantas de calidad y a su vez, surgen plantas y animales indeseables, este proceso conduce a la degradación de los zacatales.

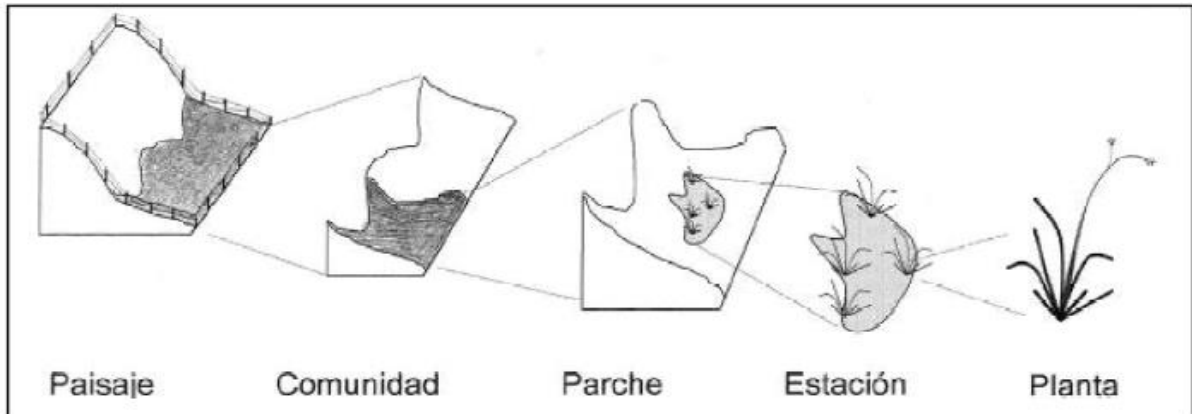


Figura 2. Diferentes escalas de efecto de los animales sobre las pasturas (Adaptado de Stuth 1991).

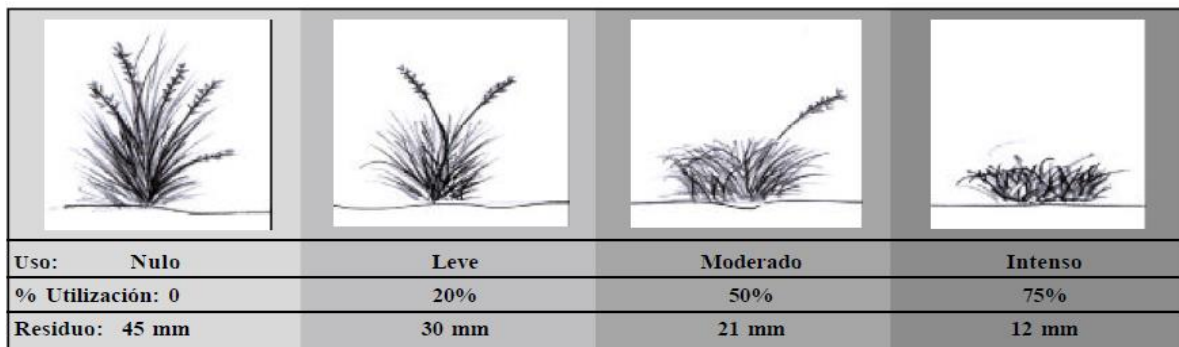


Figura 3. Porcentaje de utilización y nivel de residuos (Adaptado de Stuth 1991).

En los pastizales se ha estudiado el efecto ecológico del pastoreo al alterar la composición, riqueza y diversidad de especies, así como su productividad (Milchunas *et al.*, 1988; Fleischner, 1994; Gillen y Sims, 2004). Los efectos pueden ser positivos o negativos, dependiendo del tipo de ganado que es pastoreado, su intensidad, especies de plantas dominantes y la estructura de la comunidad vegetal. En pastizales con productividad alta o moderada, el pastoreo aumenta la riqueza de especies de plantas, pero la puede disminuir en pastizales con baja productividad

(Osem *et al.*, 2002). Un pastizal de regiones húmedas es más productivo y tiene mayor resistencia a la presión de pastoreo en comparación a un pastizal de zonas áridas (Hayes y Holl, 2003). Por otro lado, la intensidad de pastoreo es importante en la diversidad de especies ya que los niveles bajos a moderados de pastoreo con frecuencia pueden aumentar la diversidad de especies de plantas (Milchunas *et al.*, 1992), mientras que el pastoreo intenso puede reducirla (Biondini *et al.*, 1998).

Dentro de las amplias extensiones del zacatal, según Rzedowski (1975), con frecuencia dominan las especies del género *Bouteloua* y la más común de todas *B. gracilis* que prevalece sobre todo en sitios en que el sobrepastoreo no ha perturbado demasiado las condiciones originales y donde los suelos son profundos.

Desde hace casi cuatro décadas, de acuerdo con Rzedowski (1975), en México se reconocía que la presencia humana en pastizales provocaba una fuerte influencia en su extensión y composición, sin embargo, la magnitud de estos cambios es difícil de evaluar. Aquí mismo, los pastizales de *Bouteloua curtipendula*, *B. gracilis* y *B. hirsuta* han sido utilizados para el pastoreo intensivo de ganado bovino (Herrera-Arrieta *et al.*, 2004), ya que, son de excelente valor forrajero cuando se aprovechan aplicando técnicas adecuadas de manejo de pastizales. Sin embargo, el sobrepastoreo al que han sido sometidos, no permite obtener su mayor rendimiento (Rzedowski, 2006). En el norte de México, el deterioro de los zacatales dedicados al pastoreo de animales domésticos es evidente en la gran mayoría de los predios, en especial los de uso común, como son los ejidos, mientras que los que están mejor conservados se localizan en ranchos de propiedad privada.

En algunos matorrales y zacatales de las zonas áridas del Coahuila, los efectos del sobrepastoreo están ocasionando la desaparición casi total de las gramíneas forrajeras y una baja cobertura del suelo, afectando los servicios ecosistémicos (Bai *et al.*, 2001). Por lo anterior, Teague y Barnes (2017) proponen un control de la carga animal adecuada en terrenos dedicados al pastoreo a través de aplicar un programa de manejo del pastizal, lo cual es fundamental para mantener la

composición de especies, así como la estructura de la comunidad vegetal, valores altos de diversidad de especies, productividad y conservación del suelo.

La exclusión del pastoreo es parte del manejo de pastizales donde se excluye el pastoreo del ganado y tiene como objetivo restaurar la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo, donde permite a la comunidad vegetal entrar en un estado de auto recuperación (Lunt *et al.*, 2007). En pastizales donde hay poca productividad, la exclusión del pastoreo tiene efectos positivos sobre la diversidad de especies (Cheng *et al.* 2011). En los últimos años se ha demostrado que la vegetación y la fertilidad del suelo han mejorado después de la exclusión del pastoreo (Courtois *et al.*, 2004; Deleglise *et al.*, 2011; Al-Rowaily *et al.*, 2015). En un pastizal en la zona árida de China se reportó que la cobertura de la vegetación, altura y riqueza de especies de plantas aumentaron después de la exclusión del pastoreo (Cheng *et al.*, 2011). De acuerdo con, Rong *et al.* (2014), en la misma región se registraron los mismos resultados en cinco años de estudio. Así mismo, en la parte noroeste de este mismo país, se encontró que los nutrientes del suelo, la cobertura de las plantas y la riqueza de especies aumentaron después de excluir el pastoreo durante ocho años (Zhang y Zhao, 2015). El tiempo requerido de la exclusión del pastoreo para poder mejorar de forma significativa la vegetación y el suelo varía entre los pastizales (Courtois *et al.*, 2004).

No obstante, otros estudios presentan resultados donde los pastizales con libre pastoreo tienen mayor riqueza y diversidad de especies. En pastizales de Uruguay, dominados por los géneros *Stipa* y *Piptochaetium*, Altesor *et al.* (2005) encontraron que las áreas con pastoreo presentaron mayor riqueza y diversidad de especies que las parcelas donde se excluyó el pastoreo. De igual forma Rusch y Oesterheld (1997) mencionan que el pastoreo incrementó la riqueza de especies en las pampas argentinas con el aumento de algunas especies ruderales de invierno de origen Euroasiático, sin reducir la riqueza y la cobertura de la flora nativa. Por su parte Zou *et al.* (2016) encontró que la exclusión del pastoreo en praderas alpinas del norte de China, disminuyó la diversidad de especies en comparación con las áreas

con pastoreo moderado, lo cual se atribuye a la limitación de la luz inducida por mayores cantidades de hojarasca.

2.6 Degradación del suelo del zacatal por efecto del sobrepastoreo

Estudios actuales mencionan que el 95 % de los pastizales naturales y el 70 % de los matorrales de México están sobre pastoreados COTECOCA (2004). La degradación de los pastizales es de importancia a nivel mundial (Holzer y Kriechbaun, 2001) y es común en diferentes agro ecosistemas de América Latina Tropical (Bourman *et al.*, 1999). El proceso de degradación de un pastizal se caracteriza, por la disminución de su productividad y por el cambio en la composición botánica con incremento de plantas no deseadas (Dias-Filho, 2003).

La degradación del suelo sucede como resultado de múltiples factores ambientales y socioeconómicos entre los que se encuentran la topografía, el clima, los sistemas de producción y de tenencia de la tierra, las políticas públicas y el mercado. No solo es un sólo factor el que desencadena la degradación del suelo y la pérdida de la cubierta vegetal, aunque en todos los casos el factor dominante son las actividades humanas a través del cambio de uso del suelo, que sustituye la vegetación natural por terrenos para las actividades agrícolas y ganaderas (SEMARNAT, 2009).

Así mismo, las actividades agrícolas se identifican como causa de deterioro del suelo en los pastizales, así como el sobrepastoreo afecta los pastizales a través de altas cargas de ganado, que compacta el suelo, aumenta la superficie desnuda y facilita el escurrimiento del agua arrastrando partículas del suelo (Márquez *et al.*, 2009).

En México la ganadería extensiva se realiza en el Centro y Norte del país, donde los ecosistemas árido y semiárido son extremadamente frágiles. Estos ecosistemas pertenecen tanto al Desierto Sonorense como al Chihuahuense. El

Desierto Chihuahuense, abarca principalmente los Estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León, estados de gran importancia ganadera. De acuerdo con COTECOCA (2004), la ganadería se practica en la mayor parte del país, abarcando 109 millones de has, que equivalen al 56 % de la superficie total de México.

SEMARNAT (2003), estima que el sobrepastoreo se encuentra presente en aproximadamente 47 millones de has, que representa el 24 % de la superficie nacional (43 % de superficie dedicada a la ganadería). Las principales especies forrajeras en los pastizales son del género *Aristida*, *Bouteloa*, *Digitaria*, *Hilaria*, *Muhlenbergia*, *Setaria* y *Sporobolus*. Es importante que el establecimiento y revegetación deba ser con especies de pastos nativos o introducidos que estén plenamente adaptados a la región.

Los sistemas pecuarios más utilizados en el noreste de México, entre los ganaderos, son el pastoreo continuo (Hanselka, 1988), se caracteriza porque los animales hacen uso constante de un área determinada durante todo un ciclo de producción o al menos durante una estación. Fundamentalmente, se distingue de otros tipos de manejo porque el pastoreo ocurre durante el periodo de crecimiento activo de las plantas y presenta la ventaja de que el animal ejerce una amplia selectividad sobre estructuras específicas de la planta o las plantas que desea consumir (Murillo, 1999). La desventaja principal es que el pastoreo no es uniforme, lo que ocasiona que existan áreas con sobreutilización de especies y una distribución heterogénea de las mismas (Humphreys, 1991).

En el Noreste de México se ha reportado que los animales en pastoreo consumen una gran variedad de plantas, entre los que destacan los zacates nativos. Aunque algunos de ellos son consumidos por los rumiantes, ya que producen mayor cantidad de forraje que otros grupos de plantas (Ramírez *et al.*, 2001). En la ganadería de doble propósito depende del pastizal, que presenta gran proporción de especies nativas (Améndola *et al.*, 2006) como el zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*),

Aristida spp, *Bouteloua gracilis*, *Chloris ciliata*, *Digitaria californica*, *Hilaria belangeri*, *Panicum hallii*, *Setaria macrostachya* y *Tridens muticus* (Ramírez *et al.*, 2001) y algunas introducidas como varias especies del género *Cynodon* spp, que se manejan de forma inadecuada, por lo que en su conjunto son consideradas de bajo valor forrajero (Améndola *et al.*, 2006).

2.7 Conservación de los zacatales en el norte de México

De acuerdo con SEMARNAT (2003) el 95 % de los pastizales áridos mexicanos están sobrepastoreados. La visión negativa de los pastizales ha resultado en una falta de protección y una fuerte degradación (Martorell *et al.*, 2017). En México a pesar de su importancia, se encuentran entre los ecosistemas menos protegidos y más amenazados (Coupland, 1979; CONABIO, 1998). Como parte de las estrategias para proteger esta vegetación se han implementado varias acciones que contribuyen a conservar los pastizales y revertir su destrucción, las cuales se describen a continuación:

La primera se trata de la elaboración de la Estrategia para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense, en la que participan los siete estados de la región interesados en establecer principios comunes encaminados a la conservación y uso sustentable de los pastizales compartidos.

La segunda es el decreto por el gobierno federal de la Reserva de la Biosfera Janos (RBJ), en el municipio de Janos al noroeste del estado de Chihuahua donde se conservan 526,482 ha, de esta superficie el 41.56 % corresponde a pastizales naturales (Diario Oficial, 2009). En esta región los pastizales presentan excelente estado de conservación, lo cual la ubica en la primera y más grande área natural representativa de este ecosistema en el territorio nacional, asegurando también una conectividad con los pastizales de Norteamérica. Esta reserva tiene una elevada biodiversidad debido a la relación biogeográfica entre la ecorregión del Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Occidental. La mezcla entre bosques templados y

pastizales forma parte del sistema continuo de pastizales semiáridos e “islas del cielo” de Nuevo México, Arizona, Texas y Chihuahua, contiene un mosaico de especies prioritarias.

2.8 Diversidad y Riqueza de especies de plantas

La diversidad de especies es un indicador que se utiliza para comparar comunidades que han sido afectadas por un disturbio, estrés, o para conocer el estado de sucesión vegetal, también puede ser utilizado para conocer la estabilidad una comunidad vegetal (Keylock, 2005).

De igual manera se refiere a la variedad de especies que se presenta en dimensión espacio – temporal definida, resultante de conjuntos de interacciones 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).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener es el más útil de los índices, ya que crea equivalencias en diversidad entre comunidades (Jost, 2006; citado por Segura, 2017). Los supuestos de este índice son que los individuos están distribuidos al azar y el tipo de muestreo es un muestreo con remplazo en la comunidad; y cada individuo debe de ser clasificado correctamente de acuerdo a la identidad de la especie (Chao y Shen, 2003). Este índice refleja la heterogeneidad de una comunidad basándose en dos factores, que son el número de especies y su abundancia relativa (Pla, 2006), por lo que cuando solo hay una especie de planta el índice es “0” y aumenta conforme lo hace el número de especies. Entre más grande sea el área muestreada, mayor será la probabilidad de encontrar un mayor número de especies, lo que aumentara su diversidad (Keddy, 2005).

La diversidad de especies de plantas tiende a disminuir cuando es excluido el

ganado (Wu *et al.*, 2009), ya que en ausencia de herbívoros las plantas tienen una competencia natural directa por los recursos del suelo y la dominancia de especies aumenta (Jing *et al.*, 2014).

2.9 Análisis de correspondencia canónico (ACC)

De acuerdo con Estrada-Castillón (1998), el análisis de correspondencia canónica se interpreta a partir de los ejes de ordenación que se basa en los coeficientes canónicos y las correlaciones intragrupo. Estos coeficientes canónicos definen los ejes de ordenación como combinaciones lineales de las variables ambientales. Observando los signos y las magnitudes relativas de las correlaciones intragrupo y de los coeficientes canónicos, es obtenida la predicción de la composición de la comunidad. Si las variables ambientales se encuentran fuertemente correlacionadas entre ellas, sus efectos en la composición de la comunidad difícilmente se podrán separar, en consecuencia, los coeficientes canónicos serán inestables, producto de la multicolinealidad, en este caso es recomendable eliminar estas variables. La aproximación para el ajuste de superficies de respuesta gaussiana se da por la ordenación canónica; las especies están ubicadas en el óptimo aproximado de estas superficies, así, la probabilidad de ocurrencia de un taxón decrece con la distancia de su ubicación en el diagrama de ordenación. Esta muestra en los dos primeros ejes la importancia de las variables y la distribución de los sitios y especies. Las variables están representadas por flechas, las puntas de cada flecha indican la posición relativa de los centros de las distribuciones de las diferentes especies a lo largo de las variables, indicando de una manera aproximada el valor relativo de los promedios ponderados de cada especie con respecto a la variable. Los promedios ponderados se aproximan en el diagrama como desviaciones de la gran media de cada variable ambiental, estando (la gran media) representada por el origen de la gráfica (0, 0). Esta provee una aproximación de los promedios ponderados de las especies con respecto a las variables ambientales. La longitud de una flecha que representa a una variable ambiental es igual a la tasa de cambio en los promedios ponderados que se infieren en la gráfica,

siendo, por lo tanto, una medida de cuanto difiere la distribución de la especie a lo largo de una variable ambiental. Las variables ambientales importantes estarán representadas por flechas más largas que las variables menos importantes.

2.10 Propiedades físicas y químicas del suelo

2.10.1 Macroelementos del suelo en zacatales (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K))

El suelo es un recurso natural no renovable y su regeneración es muy lenta, está sometido a los procesos de destrucción y degradación. Es un elemento fundamental para la agricultura por proveer de agua y nutrientes a los cultivos; además, interviene en los ciclos del agua, carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos de interés, del agua y del aire se obtienen elementos como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno; directamente de las rocas y minerales se obtienen las bases: Ca, Mg, K, Na y P (Ferrerías *et al.*, 2015).

El Nitrógeno es el elemento más limitante en los ecosistemas terrestres, de todos los nutrientes del suelo necesarios para el crecimiento de las plantas (Vitousek *et al.*, 1997). El contenido de Nitrógeno orgánico en el suelo incluye una gran variedad de formas (Binkley y Vitousek, 1989), puede no estar disponible para las plantas en moléculas complejas o perderse por desnitrificación, erosión del suelo, lixiviado, volatilización (Philippot y Germon, 2005). El 98 % de nitrógeno se encuentra en las rocas, 2 % en la atmósfera y < 1 % en el suelo y agua (William y Seese, 1996) y desempeña un papel importante en la composición y diversidad de las especies, y en la dinámica y funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas. La mayoría de las plantas nativas de cada región están adaptadas y su funcionamiento óptimo va de acuerdo a las concentraciones más bajas de nitrógeno disponible en sus suelos (Vitousek *et al.*, 1997).

El Fósforo (P) es un nutriente esencial y factor limitante del crecimiento de las

plantas en suelos con contenido bajo de este elemento y que pueden ser fertilizados con abonos fosfatados o estiércol animal. Las plantas absorben la mayoría de P como ion ortofosfato primario (H_2PO_4). El pH influye en gran parte en la absorción de esta forma de P por la planta. Las plantas pueden utilizar otras formas de P, pero en menores cantidades. El P ayuda a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejorar su resistencia a las bajas temperaturas. Muy poco P se pierde por lixiviación, aun cuando se mueve más libremente en suelos arenosos que en arcillosos. La erosión remueve partículas de suelo que contienen P la erosión del suelo es una de las formas más significativas de pérdida de P (Szogi *et al.*, 2012).

El Potasio (K) es un nutriente requerido por las plantas en gran cantidad, siendo absorbido en su forma catiónica K^+ . Es usado junto con el nitrógeno y el fósforo para la confección de los fertilizantes y aporta a las plantas una mayor resistencia a enfermedades y a sequías heladas, muy típicas en ambientes mediterráneos. Este nutriente se suministra al suelo en forma de residuos vegetales y animales y de una manera artificial mediante la aplicación de fertilizantes. Además, es el elemento que se transfiere en mayores proporciones a los animales herbívoros a través de las bellotas y del material herbáceo, cosa que no ocurre con el calcio, el sodio, el hierro y el manganeso (Escudero-Beirián *et al.*, 1985).

2.10.2 Microelementos del suelo en zacatales; cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn)

Las plantas cubren sus necesidades de microelementos minerales a partir de la solución del suelo, por lo que es necesario el estudio de la relación suelo-planta (Depablos *et al.*, 2009). La capacidad del suelo para suministrar el Cobre a las plantas está determinada, entre otros factores por: la cantidad del mineral en el suelo, la roca madre, el potencial Hidrógeno, la textura, los materiales de desecho, la humedad y las condiciones de drenaje (Gaskin *et al.*, 2003). Cobo *et al.* (2013) indican que existe correlación ($p < 0.01$) negativa entre el Cu, Zn y Mn con el pH, lo cual hace que las concentraciones de esos elementos esten influenciados en gran

medida por la reacción del suelo. Mellum *et al.*, (1998), también describieron una correlación de signo negativo para el par pH-Mn. Muñiz (2008), expresó que los microelementos muestran una marcada dependencia a las variaciones de pH, ya que al aumentar este, disminuye la disponibilidad de Mn, Cu y Zn.

En América Latina se reporta la disminución de la disponibilidad de Cu, por efecto del incremento del pH (Abreu *et al.*, 2001). Sin embargo, Ratto (2006), expresa que el contenido total de un nutriente en el suelo no siempre se relaciona con la fertilidad química, pero es un indicador a utilizar para tener una aproximación de la riqueza potencial del elemento.

2.10.3 Conductividad hidráulica

Conductividad hidráulica La conductividad hidráulica (K) se refiere a la velocidad con la que el agua pasa a través de la masa del suelo, por unidad de gradiente de carga hidráulica. Este parámetro depende del 25 % de la porosidad del suelo, particularmente, de la proporción de poros con radio equivalente mayor a 15 μ m que se mantienen abiertos en condiciones de saturación. Una baja conductividad hidráulica se debe a una baja porosidad, pocos poros grandes y una pobre interconectividad entre ellos, los valores altos se presentan en suelos de textura gruesa, aunque tengan una baja porosidad. El comportamiento de la Conductividad Hidráulica depende de la tensión aplicada, por lo tanto, la variable dependiente es la Conductividad Hidráulica y la independiente la tensión aplicada. La variabilidad de dichos parámetros disminuye al aumentar la tensión matricial por el hecho de que los macro poros se van haciendo menor proporcionalmente conforme se incrementa la succión. (Enríquez y Orozco, 2011).

2.10.4 pH del suelo y capacidad de intercambio catiónico

El pH se usa como parámetro para expresar el grado de acidez o basicidad de una solución, consiste en medir en la misma concentración de iones hidronio (H_3O^+).

Su importancia radica en su efecto sobre la solubilidad de los minerales, ya que a cierto valor de pH (<5,00 - >9,00) muchos nutrientes (N, P, Ca, Mg, K) dejan de ser asimilables para las plantas (Hazelton y Murphy, 2007).

Castellanos *et al.* (2000) mencionan que el pH y la conductividad eléctrica son indicadores de la calidad del suelo y de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas que influyen en su fertilidad. En general, suelos con pH en un intervalo de 5.8 a 7.5, son considerados como deseables o menos problemáticos para la mayoría de los cultivos (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Pulido (2014) indica que la capacidad de intercambio catiónico elevada tiene numerosos efectos positivos sobre el suelo: amortigua los cambios de pH, controla la estabilidad estructural, aumenta la disponibilidad de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, intensifica el efecto de las enmiendas y los fertilizantes y presta al suelo resistencia frente a cualquier cambio químico causado.

2.10.5 Fertilidad del suelo y la importancia de la materia orgánica

La fertilidad de un suelo se define por su capacidad potencial de producción vegetal. Es influenciada por numerosos factores físicos, químicos o biológicos: disponibilidad de agua y nutrientes, espesor del suelo útil, cantidad y tipo de materia orgánica, presencia de organismos vivos, pH, capacidad de intercambio catiónico, textura. Las principales fuentes de nutrientes (macro y micronutrientes) del suelo son el agua, el aire, los minerales y la materia orgánicas (Pulido, 2014).

La materia orgánica del suelo desempeña un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad, al retener y transferir nutrientes a las plantas (Álvarez *et al.*, 2012), es un indicador clave de la calidad del suelo, en sus funciones agrícolas (producción y economía) y ambientales. Además, es considerada el principal determinante de la actividad biológica del suelo y fuente de nutrientes. También afecta otras propiedades del suelo y sus funciones, incluyendo la retención de agua,

infiltración de aire, de agua y la estabilidad de agregados; modifica la porosidad y capacidad de agua disponible (Darwish *et al.*, 1995). Pero en ecosistemas semiáridos la materia orgánica tiende a ser escasa (Cross y Schlesinger, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El ejido Jagüey de Ferniza área de estudio de esta investigación, forma parte de la sierra de Zapalinamé, la cual es un área natural protegida bajo la categoría de Reserva Natural Estatal por el gobierno del estado de Coahuila y se localiza en el sureste del estado. De acuerdo con Anónimo (1983) y Anónimo (1998), se localiza en el sureste de Coahuila, en la zona de transición entre el Desierto Chihuahuense y la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en el noreste de México. Forma parte del municipio de Saltillo. Se ubica entre los 25°13'57.48" - 25°14'57.25" de latitud norte y los 100°56'44.62" - 101°01'5.17" de longitud oeste. Las parcelas de exclusión se localizan en un gradiente de altitud de 2,102 a 2,268 m.

3.1.1 Clima

El clima dominante en la región es seco BSkw (García, 2004). La caseta meteorológica más cercana está ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. (23°38' N, 103°38' W, altitud 1,588 m), donde se registra una temperatura media anual de 16.9°C y la precipitación media anual de 498 mm, valores que se consideran próximos a los correspondientes al área de estudio, las lluvias son de tipo convectivo, coincidiendo con los meses calientes del año.

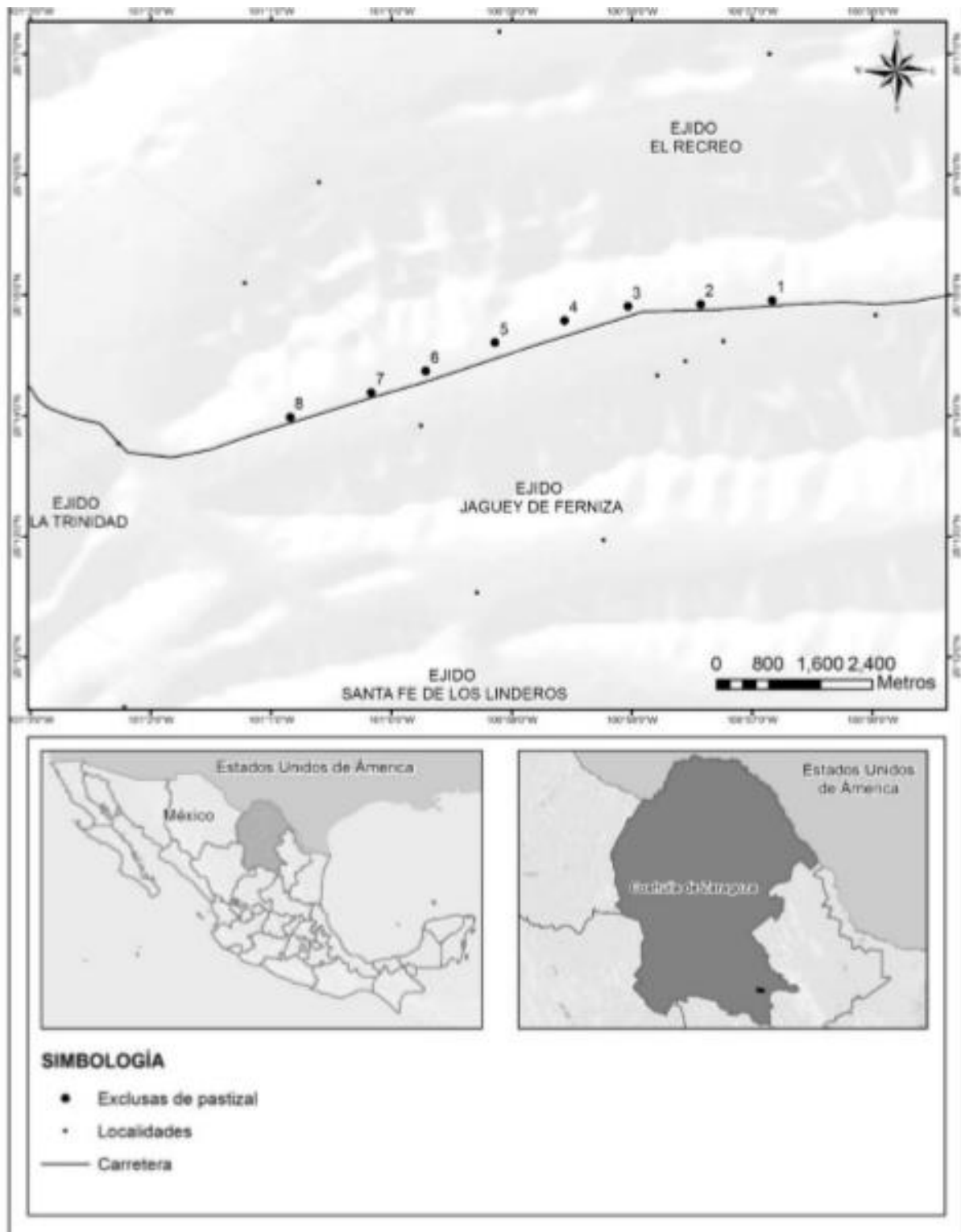


Figura 4. Localización del zacatal bajo estudio en el sureste de Coahuila.

3.1.2 Suelo

Las rocas que afloran en el área son sedimentarias marinas del Jurásico y Cretácico, las calizas son las dominantes. Los suelos son xerosol cálcico, de origen aluvial, profundos y con buen drenaje (Encina-Domínguez, 2017).

3.1.3 Vegetación

La vegetación corresponde a un zacatal natural dominado por especies del género *Bouteloua*, como *Bouteloua dactyloides*, *B. gracilis*, *B. uniflora*, *B. curtipendula* y con menor proporción *Aristida havardii*, *A. pansa* y *Muhlenbergia phleoides* (Encina-Domínguez, 2017). Se presentan especies leñosas como *Buddleja scordioides*, *Gymnosperma glutinosum*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis glandulosa*, donde su densidad se incrementa en áreas con mayor presión debido al pastoreo.

3.2 Metodología

3.2.1 Establecimiento de parcelas

Se establecieron ocho sitios de muestreo integrado por dos parcelas de 10 m x 10 m para medición de composición y cobertura de especies de plantas. Los sitios se ubican con una distancia de 1 km y cada par de parcela a 15 m. Están situados en áreas alejadas de carreteras, veredas y áreas impactadas por actividades humanas.

Todas las parcelas fueron marcadas en las esquinas con una varilla metálica de 10 cm. Además, en una de las esquinas, se anotó en una placa metálica el número de parcela, de forma que sean bien delimitadas e identificadas al momento de realizar las mediciones de las especies.

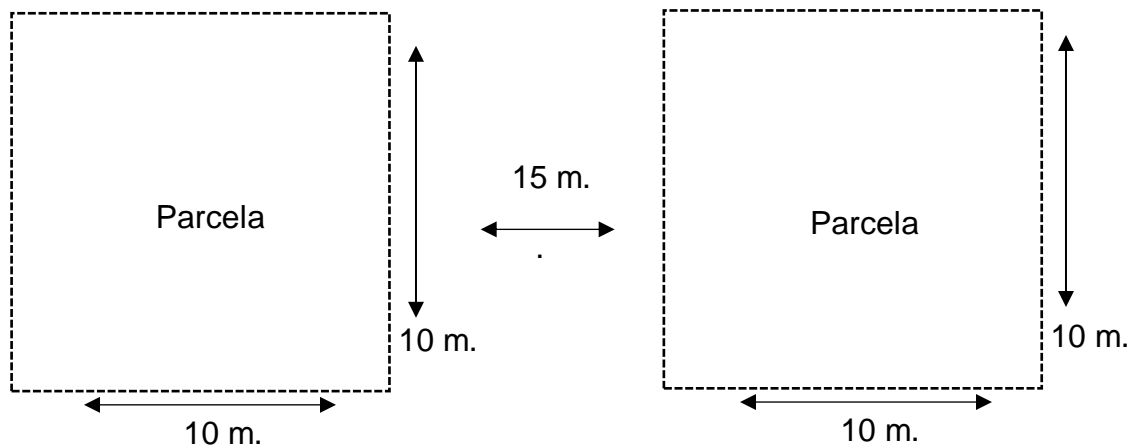


Figura 4. Conglomerado de un sitio de muestreo. Incluye dos parcelas para medición de plantas en el zacatal semidesértico y muestras de suelo.

3.2.2 Variables evaluadas

3.2.2.1 Variables ecológicas

Se tomaron las variables ecológicas; pendiente, altitud, orientación, coordenadas UTM, cobertura de rocas, cobertura de suelo, cobertura de gramíneas y de leñosas.

3.2.2.2 Propiedades físico-químicas del suelo

En cada parcela se colectaron cuatro muestras, en las esquinas exteriores de estas a una profundidad de 0-10 cm, para formar una muestra compuesta de 1.5 kg. El suelo fue secado, tamizado y llevado al laboratorio. Los análisis que se realizaron fueron: Porcentaje de materia orgánica, fósforo Olsen, nitrógeno total, calcio, sodio, potasio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico, conductividad hidráulica, potencial Hidrógeno.

3.2.2.3 Composición y ordenación de especies

Se llevó a cabo el muestreo de la vegetación en el verano del 2019, en cada parcela establecida, con el objetivo de evaluar la composición y abundancia de las especies.

Se registraron todas las especies de plantas en cuatro áreas de 3 x 3 m. ubicadas en las esquinas dentro de cada parcela y se calculó el promedio. Para cada especie se estimó un valor de cobertura de acuerdo a una escala de 1 a 9 (clases de cobertura: 1: trazas, 2: <1 % de cobertura en la parcela, 3: 1-2 %, 4: 2-5 %, 5: 5-10 %, 6: 10-25 %, 7: 25-50 %, 8: 50-75 %, 9: >75 %) (Peet, 1974). Además, se realizaron colectas de ejemplares botánicos los cuales fueron identificados y depositados en el herbario ANSM (Saltillo, Coahuila, México) (Holmgren y Holmgren, 1990).

3.2.3 Cálculos de la diversidad vegetal de la comunidad estudiada

Para cuantificar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (Marrugan, 1988) y para el cálculo de la diversidad se utilizó el índice de diversidad de Shannon (Marrugan, 1988) y para el índice de dominancia de Simpson. La estimación de la diversidad se basó en la densidad y frecuencia relativa de las especies.

- **Índice de riqueza de Margalef**

Este índice 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, 1998). Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando $S-1$, en lugar de S , da $DMg = 0$ cuando hay una sola especie (Moreno, 2001).

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

Dónde:

S= número de especies registradas

N= número total de individuos de todas las especies.

- **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:

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

Dónde:

S = número de especies presentes.

Ln= Logaritmo natural.

pi= proporción de especies (pi= ni/N; donde ni= al número de individuos de la especie i. N= número total de 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.

- **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 transforman a porcentajes (Moreno, 2001).

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

Donde:

$H'_{max} = \ln S$

S = Número total de especies registradas.

3.2.4 Ordenación de la vegetación mediante variables ecológicas del zacatal

Con la finalidad de examinar la distribución de la vegetación y cambios en la composición botánica, mediante variables ambientales, se utilizaron datos de 134 especies, de mayor cobertura en cada parcela de muestreo (Anexo 4).

3.2.5 Análisis estadísticos

Se sometieron a técnicas de ordenación multivariadas, para lo cual se utilizó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) (Ter-Braak, 1987) mediante el

programa CANOCO versión 4.5 para Windows (Ter-Braak y Smilauer, 2002) y CANODRAW versión 2.1 (Smilauer, 1992) para obtener los diagramas de ordenación. Las variables ambientales utilizadas fueron: altitud y siete variables ecológicas del suelo (pH, Materia Orgánica, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio).

Para comparar las variables edáficas del suelo entre los sitios de muestreo, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) usando como variables los datos de materia orgánica, pH, fosforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y nitrógeno y las comparaciones de medias fueron hechas mediante la prueba de Tukey con nivel de significación de 5 % de probabilidad. El análisis estadístico fue desarrollado con la ayuda del paquete JMP 15 para Windows 10.

IV. RESULTADOS

4.1 Composición florística

Como parte de la composición de especies se registraron 178 especies de plantas para el zacatal, distribuidas en 45 familias y 136 géneros (anexo 1), las familias dominantes fueron: Asteraceae (37), Fabaceae (17) y Poaceae (30), esta última con 2 categorías intraespecíficas (cuadro 1). Los géneros con mayor riqueza de especies fueron *Bouteloua* con ocho, *Dalea*, *Aristida* y *Muhlenbergia* ambos con seis, *Euphorbia* con cuatro y *Dyssodia* con tres (anexo 1).

Cuadro 1. Principales familias de plantas con más especies presentes en el zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé.

| Familia | Género | Especies |
|----------------|--------|----------|
| Asteraceae | 32 | 37 |
| Brassicaceae | 3 | 4 |
| Cactaceae | 6 | 9 |
| Convolvulaceae | 4 | 6 |
| Euphorbiaceae | 4 | 8 |
| Fabaceae | 11 | 17 |
| Lamiaceae | 3 | 4 |
| Malvaceae | 3 | 5 |
| Onagraceae | 2 | 4 |
| Poaceae | 16 | 30 |

En el zacatal estudiado se registró una riqueza de 134 especies, donde las herbáceas ocupan el 82.8 % del total de la flora y la mayoría son perennes (Cuadro 2). De esta riqueza, las especies nativas del zacatal estudiado representan el 85.8 %, por su parte solo se registran dos malezas introducidas, lo cual representa el 1.4 %. En la estación lluviosa es notoria la presencia de la cianobacteria: *Nostoc commune*.

Cuadro 2. Forma biológica y estatus migratorio de las especies de plantas presentes en las parcelas estudiadas.

| Forma biológica | | | | | | Estatus migratorio | | | |
|-----------------|---------|----------|--------------|----------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------|--------|
| Árbol | Arbusto | Cactácea | Hierba anual | Hierba bianual | Hierba perene | Cultivada | Maleza introducida | Maleza nativa | Nativa |
| 1 | 18 | 4 | 19 | 2 | 90 | 1 | 2 | 16 | 115 |

4.2 Diversidad y riqueza de especies

La diversidad calculada para el zacatal estudiado se muestra en el Cuadro 3. El índice de Shannon es de 4.47 nats. La equitatividad es del 90.52 %. El índice de dominancia de Simpson presentó una magnitud de 0.98, y posee un índice de riqueza de Margalef de 18.11.

Cuadro 3. Índices de diversidad del zacatal semidesértico de la sierra de Zapalinamé.

| Asociación | Indicadores de diversidad | | | |
|------------|------------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|
| | Índice de riqueza (Margalef) | Índice de diversidad (Shannon) | Equitatividad | Índice de dominancia (Simpson) |
| Zacatal | 18.11 | 4.47 | 90.52 | 0.98 |

4.3 Ordenación de las parcelas y especies del zacatal semidesértico con relación a variables ambientales a través del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).

Para entender la composición de la comunidad vegetal, en el cuadro 4 se observa la composición botánica de la comunidad vegetal estudiada. Se registró que la mayor variación en la cobertura de las especies se concentra en el primer y

segundo eje, es decir, la vegetación cambia en relación a dos gradientes principales, la longitud para el primer eje es 0.256 y 0.190 para el segundo. Los valores de correlación especies-ambiente para el primer eje es 0.983 y 0.959; la inercia total o varianza de los datos es 1.350, por lo que las variables ambientales seleccionadas solo explican el 78.35 de la variación en los datos de las especies, mientras que, la varianza acumulada de las especies hasta el eje 4 fue de 47.4 %; debido a que no se hicieron ajustes en las covariables el valor de la inercia es 1.350. De esta el primer eje justifica el 0.256, lo que equivale al 19 % de la varianza acumulada de las especies y al 31.3 % de las variables ambientales, mientras que el segundo eje justifica el 0.190 que es igual al 33 % de la variación acumulada de las especies y al 54.5 % de las variables ambientales evaluadas, lo que indica que las variables presentaron un buen ajuste al modelo.

Cuadro 4. Análisis de correspondencia canónica (CCA) para la ordenación del zacatal semidesértico mediante variables evaluadas.

| EJES | 1 | 2 | 3 | 4 | INERCIA TOTAL |
|---|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Valores característicos | 0.256 | 0.190 | 0.124 | 0.070 | |
| Correlaciones especie-ambiente | 0.983 | 0.959 | 0.937 | 0.945 | |
| Porcentaje de varianza acumulado en los datos de las especies | 19 | 33 | 42.2 | 47.4 | 1.350 |
| Porcentaje de varianza acumulado de la relación especies-ambiente | 31.3 | 54.5 | 69.7 | 78.3 | |
| Suma de los valores característicos | | | | | 1.350 |
| Suma de todos los valores característicos canónicos | | | | | 0.817 |

En el cuadro 5, se muestran los coeficientes de correlación de las variables ambientales en relación al primer eje de ordenación, en los coeficientes se infiere que el primer gradiente es altitud ya que presenta el valor más alto (0.992), seguido por el pH (-0.573), Ca (0.335) y Mg (-0.341). En la definición de estos gradientes, la

altitud y Ca se relaciona positivamente y el pH con el Mg. Por otra parte las variables MO (0.234), K (0.170), Na (0.120) y Zn (-0.035) presentan los valores más bajos.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los 4 ejes de ordenación.

| | | | | |
|-----------------|--------|--------|---------------|--------|
| SPEC AX1 | 1.000 | | | |
| SPEC AX2 | 0.028 | 1.000 | | |
| ENVI AX1 | 0.983 | 0.000 | 1.000 | |
| ENVI AX2 | 0.000 | 0.959 | 0.000 | 1.000 |
| Altitud | 0.975 | -0.022 | 0.992 | -0.023 |
| pH | -0.563 | 0.428 | -0.573 | 0.447 |
| MO | 0.230 | -0.669 | 0.234 | -0.698 |
| K | 0.167 | 0.027 | 0.170 | 0.028 |
| Ca | 0.329 | -0.099 | 0.335 | -0.103 |
| Mg | -0.335 | 0.090 | -0.341 | 0.094 |
| Na | 0.118 | 0.433 | 0.120 | 0.452 |
| Zn | -0.034 | -0.442 | -0.035 | -0.461 |

| | SPEC AX1 | SPEC AX2 | ENVI AX1 | ENVI AX2 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| SPEC= Especies, ENVI= Variable ambiental, AX= Ejes, pH= potencial Hidrógeno, MO= materia orgánica, K= potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Na= sodio, Zn= zinc | | | | |

Considerando las correlaciones de los ejes, el primer eje CCA fue positivo y fuertemente correlacionado con la altitud (r -0.992) y el Ca (r -0.335) y negativamente con el Mg (r - 120) y pH (0.573) y el segundo eje se correlacionó positivamente y fuertemente con el Na (0.452) y negativamente y fuertemente con el Zn (0.461) y MO (0.698).

La importancia de todas las variables se presenta mediante flechas o vectores en el diagrama de ordenación en la Figura 6. Se presenta el diagrama de ordenación de las especies a través de los ejes 1 y 2 determinado por las variables ambientales y la formación de tres asociaciones del zacatal, las cuales se representan por los polígonos. Se deduce que la altitud, pH y MO son los factores con mayor influencia en la distribución de las especies mientras el Mg, el K, el Na, el Ca y el Zn son de menor influencia.

Para la primera asociación en relación al eje 1, los vectores que más influyen para su formación es la altitud, es decir con mayor influencia, por tanto, aumenta la humedad y disminuye la temperatura. Otro vector importante que influye es la materia orgánica. Las especies con mayor cobertura relativa en el zacatal son *Hoffmannseggia watsonii*, *Glandularia bipinnatifida*, *Ambrosia confertiflora*, *Acalypha phleoides* y *Verbesina hypomalaca*.

En la segunda asociación, la altitud es menor, consecuentemente hay menor humedad y es mayor la temperatura. La variable que más influye para la formación de este grupo es el pH. Las cactáceas con mayor cobertura son *Echinocactus horizonthalonius*, *Mammillaria heyderi*, *Turbinicarpus beguinii* y *Echinocereus pectinatus*.

La tercera asociación se ubica en el punto medio del gradiente de altitud, en la parte superior de la figura y la variable que más influye es el sodio y los suelos son calcáreos. Por tanto, las especies dominantes son de tamaño medio entre los que están *Salvia ballotiflora*, *Muhlenbergia rigida*, *Mirabilis oblongifolia*, *Bouvardia ternifolia* y *Dyssodia pinnata*.

La ordenación también reveló algunas especies cuya distribución no es afectada de manera importante por las variables evaluadas, ya que se ubican en el centro del diagrama y, son las especies *Bouteloua gracilis*, *Aristida havardii*, *Euphorbia exstipulata*, además de *Ipomoea costellata*.

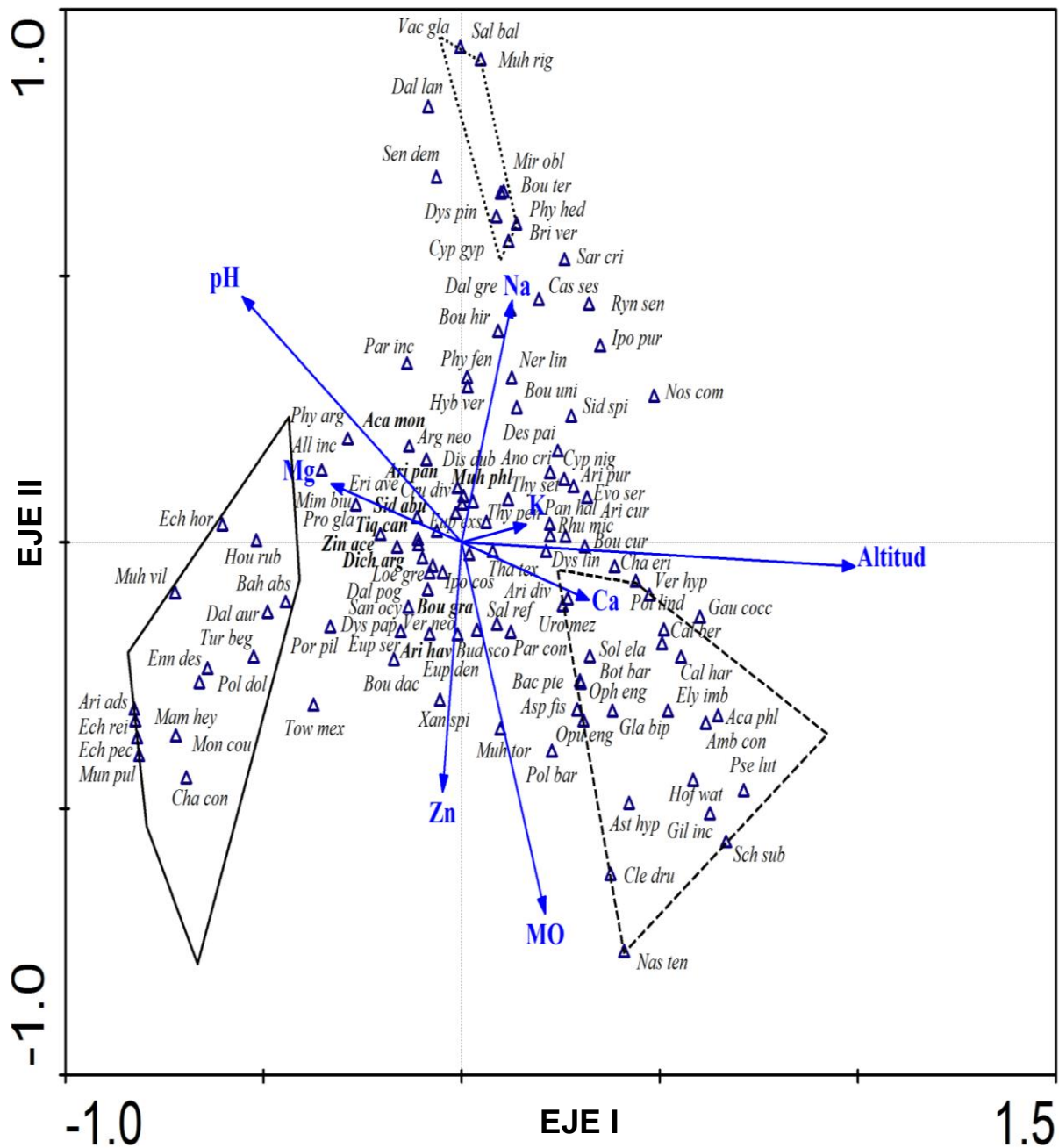


Figura 5. Diagrama de ordenación de los sitios y las especies del zacatal semidesértico con relación a las variables ambientales mediante el Análisis de Correspondencia Canónico (CCA), que muestra 134 especies y donde los 3 polígonos encerrados muestran asociaciones de especies del zacatal. Los acrónimos de las especies se describen en el anexo 3. Na: Sodio, K: Potasio, Mg: Magnesio, Zn: Zinc, MO: Materia Orgánica y Ca: Calcio.

4.4 Caracterización de los suelos

4.4.1 Propiedades físicas del suelo

a) Textura

La clasificación textural del suelo de las 16 parcelas se presenta en el cuadro 6. La mayoría de las parcelas tienen una textura franco (40 % arena, 40 % limo y 20 % arcilla) y en la parcela número 16 tiene una textura franco arcilloso (35 % arena, 30 % limo y 35 % arcilla) ya que contienen cantidades de arena, limo y arcilla en igual proporción, y se encuentra a una altitud de 2105 m.

Cuadro 6. Clase de textura de los suelos del zacatal de la Sierra de Zapalinamé

| Parcelas | Clase textural |
|-----------------|-------------------------|
| 1 | Franco |
| 2 | Franco |
| 3 | Franco |
| 4 | Franco |
| 5 | Franco |
| 6 | Franco |
| 7 | Franco |
| 8 | Franco |
| 9 | Franco |
| 10 | Franco |
| 11 | Franco |
| 12 | Franco |
| 13 | Franco |
| 14 | Franco |
| 15 | Franco |
| 16 | Franco arcilloso |

4.4.2 Fertilidad y propiedades químicas del suelo

a) Materia orgánica (MO)

En la figura 7 se presentan los resultados de materia orgánica en los suelos. Oscila entre 2 y 8 % del total de materia orgánica, es decir, entre moderadamente alto y muy alto. Se registró una media de 5.5 % y una desviación estándar de 1.27 % entre parcelas. Del análisis estadístico de las 16 parcelas solo presentó las parcelas 4 y 9 con falta de diferencias significativas (anexo 6) y donde las demás parcelas que no están en el mismo nivel si existe diferencias significativas ($p < 0.05$). En general, las parcelas son significativamente distintas (anexo 5).

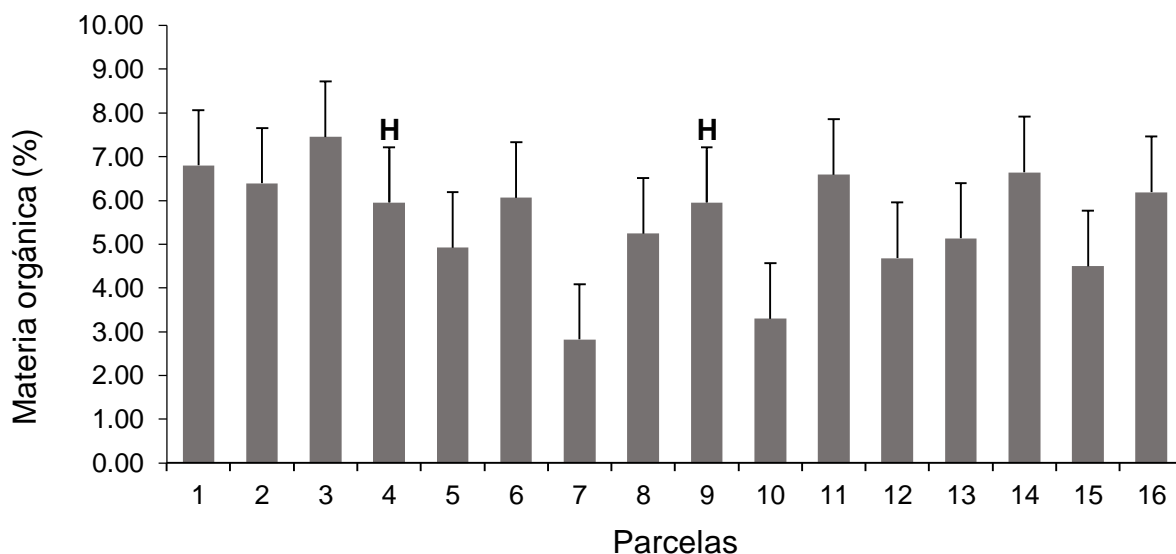


Figura 6. Valores promedio y desviación estándar de materia orgánica de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

b) Nitrógeno total (NT)

En la figura 8 se presentan los resultados del Nitrógeno total. Los datos oscilan entre una media de 6.53 ppm (moderadamente bajo) y 13.9 ppm (medio), una

media de 10.7 ppm y una desviación estándar de 2.43 ppm entre parcelas. Del análisis estadístico no hay diferencias significativas en las parcelas 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12 y 14 (anexo 6). En cuanto a la comparación con el resto de las parcelas, si hay diferencias significativas ($p < 0.05$). En general existen diferencias significativas entre las parcelas (anexo 5).

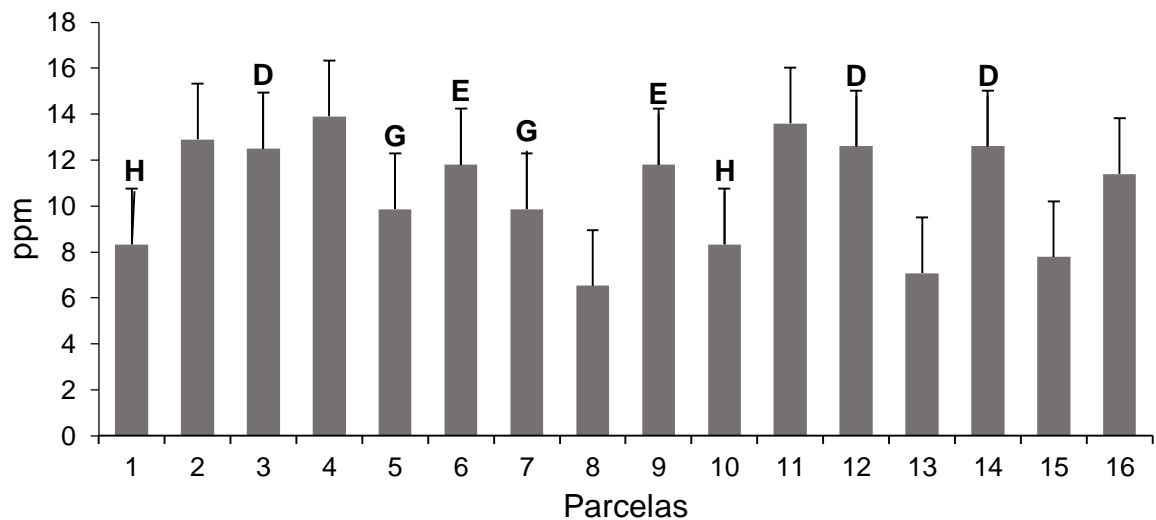


Figura 7. Valores promedio y desviación estándar de nitrógeno total de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

c) Fosforo (P)

En la figura 9 se presentan los resultados de Fosforo total. Este oscila entre 24.10 ppm (moderadamente alto) y 13.80 ppm (moderadamente bajo). Se registró una media de 19 ppm y una desviación estándar de 3.477 ppm. El análisis estadístico mostró las parcelas 1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13 y 14 con falta de diferencias significativas (anexo 6). En cuanto al resto de las parcelas hay diferencias significativas ($p < 0.05$). En general existen diferencias significativas entre las parcelas (anexo 5).

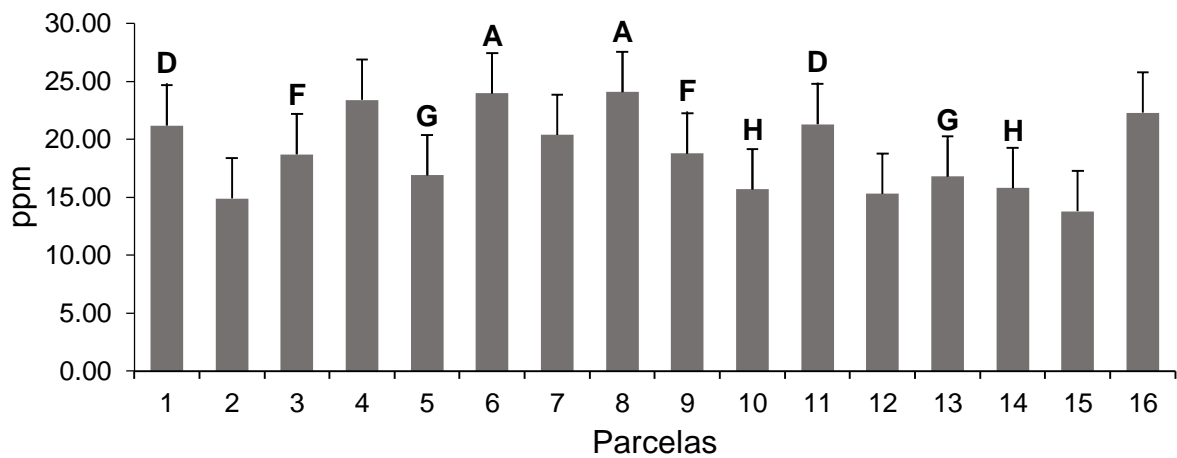


Figura 8. Valores promedio y desviación estándar de fósforo de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

d) Potasio (K)

En la figura 10 se presentan los resultados del Potasio, donde los datos oscilan entre 196 ppm (moderadamente bajo) a 569 ppm (moderadamente alto). Para las 16 parcelas la media es de 323.2 ppm de K y una desviación estándar de 111.33 ppm. En cuanto a los análisis estadísticos, no existen diferencias significativas en las parcelas 2, 7, 12, 13 y 16 (anexo 6). El resto de las parcelas si presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). En general hay diferencias significativas entre todas las parcelas (anexo 5).

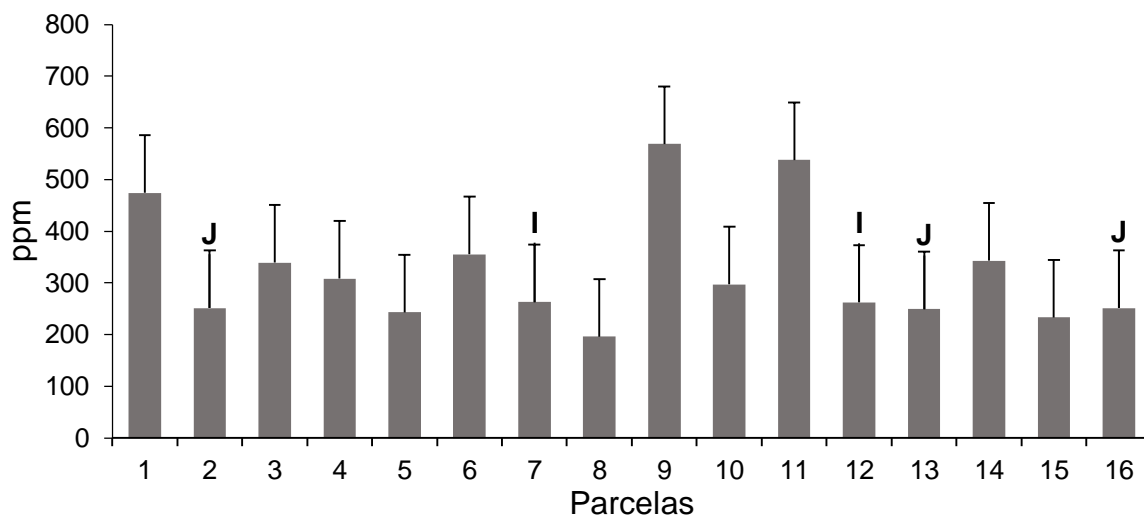


Figura 9. Valores promedio y desviación estándar de materia potasio de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

e) Calcio (Ca)

En la figura 11 se muestra los resultados de Ca, los cuales oscilan entre 3248 ppm (moderadamente alto) y 4924 ppm (alto). De acuerdo al total de Ca de las 16 parcelas se tiene una media de 4137.3 ppm y una desviación estándar de 438.57 ppm. En cuanto a los análisis estadísticos las parcelas 4 y 5 no muestran diferencias significativas (anexo 6). El resto de las parcelas si existe diferencias significativas ($p < 0.05$). En general existen diferencias significativas entre todas las parcelas (anexo 5).

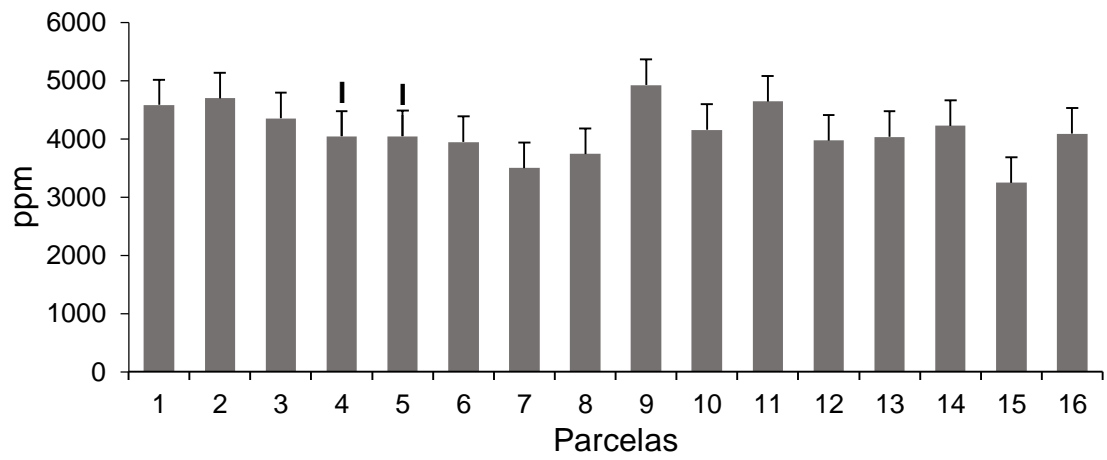


Figura 10. Valores promedio y desviación estándar de calcio de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

f) Magnesio (Mg)

En la figura 12 se muestran los resultados de Mg para el zacatal estudiado, estas oscilan entre 80.4 ppm (bajo) a 358 ppm (medio). El promedio es 181 ppm y una desviación estándar de 77.70 ppm. De los resultados del análisis estadístico no hay diferencias significativas en las parcelas 1, 3, 6, 9, 11 y 14 (anexo 6). En en las demás parcelas hay diferencias significativas ($p < 0.05$). En general, existen diferencias significativas entre todas las parcelas (anexo 5).

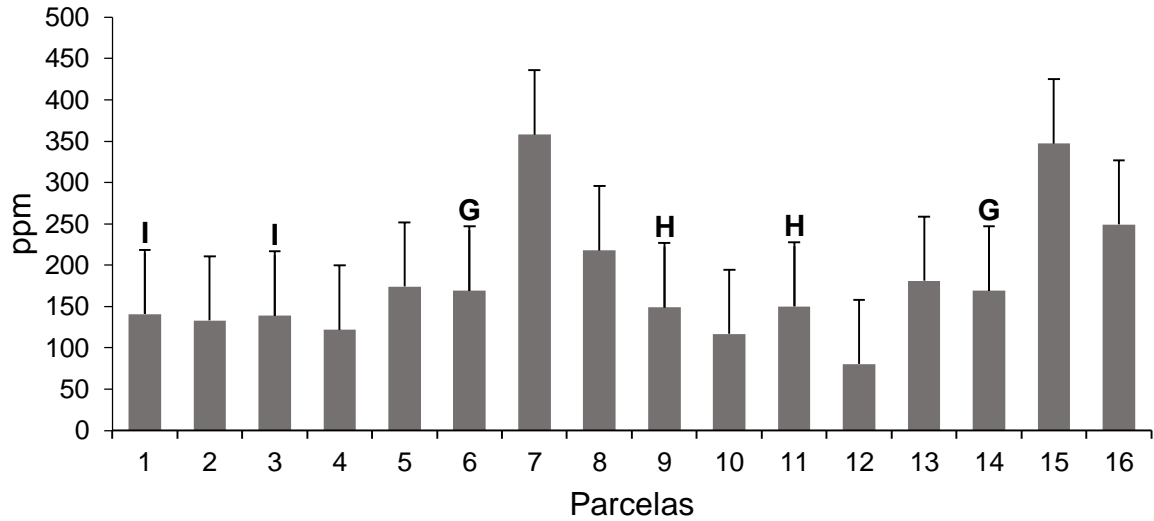


Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de magnesio de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

g) Sodio (Na)

En la figura 13 se presentan los resultados de Sodio, estos resultados oscilan entre 10.9 ppm (muy bajo) a 31.8 ppm (muy bajo). El promedio es de 16.9 ppm y una desviación estándar de 5.45 ppm. De los resultados del análisis estadístico en las parcelas 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 13, 15 y 16 no hay diferencias significativas (anexo 6). Los resultados se compararon con el resto de las parcelas y se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). En general, si existe diferencias significativas entre las parcelas estudiadas (anexo 5).

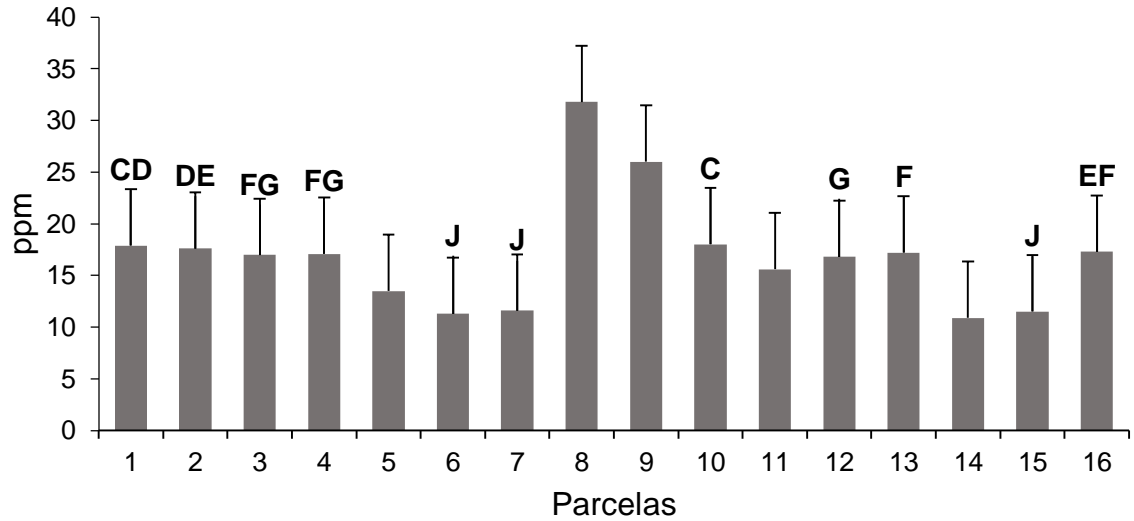


Figura 12. Valores promedio y desviación estándar de sodio de los suelos del zacatal. Medias seguidas de letras iguales significan que no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

4.4.3 Potencial Hidrógeno (pH)

En la figura 14 se muestra los resultados de pH donde el promedio es de 8.1 y una desviación estándar de 0.087 por lo que en todo el zacatal se tiene un suelo con un pH alcalino. Se tiene dos parcelas moderadamente alcalinas (1 y 3). En cuanto a los resultados estadísticos, hay diferencias significativas en la parcela 1 y 3 (anexo 6) ($p < 0.05$). En general existen diferencias significativas entre todas las parcelas estudiadas (anexo 5).

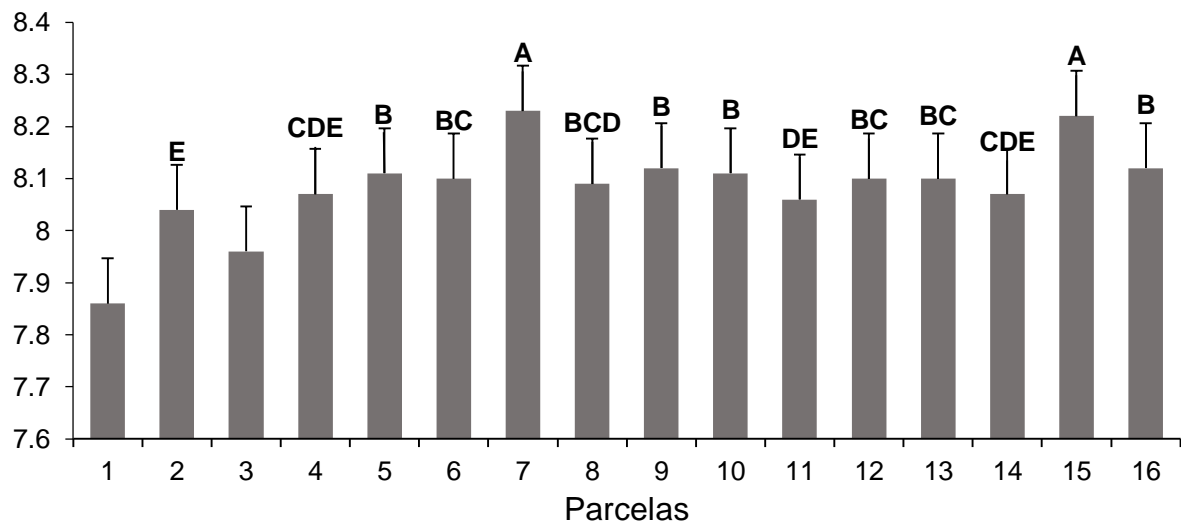


Figura 13. Valores promedio y desviación estándar de pH de los suelos del zacatal, seguidas de letras iguales significan falta de diferencias significativas en las comparaciones entre parcelas para $P < 0.05$.

V. DISCUSIÓN

5.1 Composición florística

La Sierra de Zapalinamé se localiza en la transición entre la Sierra Madre Oriental y el Desierto Chihuahuense, por lo que convergen varias asociaciones de especies del zacatal y de acuerdo con Rzedowski (1978), la vegetación de esta región está integrada por floras provinientes de los reinos Holárticos y Neotropical, razón por la cual se presenta una elevada riqueza de especies.

La flora registrada en el zacatal representa el 19.3 % de las 921 especies listadas por Encina-Domínguez (2017) para la Sierra de Zapalinamé. Por su parte el 89% de las especies son reportadas por Vásquez (1973) para el rancho Los Ángeles, 13 km al sur del área de estudio.

En el zacatal las familias con mayor número de especies son Asteraceae, Poaceae y Fabaceae, las más comunes son *Bouteloua dactyloides*, *B. gracilis* y *B. uniflora* además de *Aristida havardii* (Encina-Domínguez *et al.*, 2019).

En México la familia Asteraceae es la que tiene la más alta riqueza de especies. Según Villaseñor (2003) y Villaseñor (2016) incluye 361 géneros y 3.012 especies. Rzedowski (1991) considera que esta familia tiene una alta riqueza de especies en las regiones montañosas y en las zonas áridas y semiáridas de México, y está bien representado en el norte y centro del país. También es la más diversa en el área de estudio, donde 37 especies están presentes y representan el 1.22 % de la flora total para esta familia en México.

Las 30 especies de la familia Poaceae registradas en los zacatales representan el 2.53 % de las 1182 especies reportadas en México (Dávila *et al.* 2018) y Valdés-Reyna (2015) reporta que, para las gramíneas de Coahuila, se reconocen 8 subfamilias, con 19 tribus, 97 géneros y 319 especies, de acuerdo en el

más reciente sistema de clasificación de esta familia. Mientras la familia Fabaceae representa el 9.55 % de la flora total del área estudiada. Según Sousa y Delgado (1993), esta familia está ampliamente distribuida en México y ocupa el segundo lugar en riqueza de especies.

Los géneros *Aristida*, *Bouteloua* y *Muhlenbergia* se encuentran entre los géneros de la familia Poaceae con más riqueza de especies. Según Valdés-Reyna (2015), tienen la mayor riqueza de especies de flora de gramíneas de Coahuila. *Muhlenbergia*, es uno de los géneros más ricos de la zona e igualmente diversos similar a los zacatales del centro de Chihuahua (Estrada-Castillón *et al.*, 2010).

Durante el muestreo se registraron *Elytraria imbricata* y *Leucactinia bracteata* dos especies de hierbas que de acuerdo con Villarreal (2001) son poco conocidas para el estado de Coahuila. Así mismo, se cuantificaron cuatro especies de cactáceas, de estas *Turbinicarpus beguinii* está enlistada bajo estatus de conservación de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la categoría de sujeta a protección especial (SEMARNAT, 2010).

De acuerdo con CONABIO (2017) se registraron dos malezas introducidas de otros continentes como son: *Asphodelus fistulosus* y *Aristida adscensionis*. La primera especie es introducida de Eurasia y abundante en áreas del zacatal donde se registra mayor influencia humana debido a las curvas de nivel que ocasionaron un disturbio en el suelo del zacatal. Por su parte la *Aristida adscensionis* es introducida en Europa y frecuentemente en áreas con sobrepastoreo.

La elevada riqueza de especies herbáceas registrada en el zacatal estudiado se ajusta al modelo de disturbio intermedio citado por Hobbs y Huenneke (1992), el cual señala que, a niveles intermedios de disturbio, la riqueza alcanza su mayor valor. Por otra parte, las especies preferidas por el ganado bovino como *Bouteloua gracilis* y *B. curtipendula* que son más nutritivas pueden disminuir en este zacatal. De acuerdo con Valdés-Reyna (2015) son de excelente valor forrajero y son vulnerables

debido al cambio de uso del suelo para la agricultura, además del sobrepastoreo.

El zacatal es de las comunidades vegetales más vulnerables de disminuir su superficie y ser fragmentadas debido a la ampliación de la frontera agrícola y el sobreapacentamiento (Encina-Domínguez *et al.*, 2019), por lo cual es importante regular el cambio de uso del suelo en el área estudiada, además de promover el monitoreo y vigilancia continua, así como la restauración de las áreas impactadas, lo anterior, como estrategia para evitar su disminución y/o deterioro y de esta forma asegurar la permanencia de los servicios ecosistémicos del zacatal.

De continuar la presión del pastoreo en el zacatal estudiado, este podría además ser reemplazado en mediano y largo plazo por arbustos espinosos como *Mimosa biuncifera*, *Prosopis glandulosa* y *Cylindropuntia imbricata*, e inermes como *Gymnosperma glutinosum* y *Baccharis pteronioides*, propios de los matorrales adyacentes, estas son especies que el ganado no consume y dominan en sitios sobrepastoreados, y de acuerdo con Nai-Bregaglio *et al.* (2002) son consideradas especies crecientes.

5.2 Diversidad y riqueza de especies

De acuerdo con Encina-Domínguez *et al.* (2019), el zacatal estudiado se encuentra cerca de bosques de pino piñonero, matorral micrófilo y áreas agrícolas. La elevada riqueza de especies del zacatal concuerda con los mencionado por Wilson *et al.* (2012), ellos concideran que los zacatales y los bosques tropicales lluviosos son los dos ecosistemas terrestres con mayor diversidad y aun cuando los zacatales son ecosistemas sometidos a perturbaciones moderadas, estos pueden albergar una gran diversidad de especies en una superficie pequeña (< 100 m²); sin embargo, esta elevada diversidad podría estar relacionada con la heterogeneidad ambiental (Collins y Barber, 1986) por lo que para planes de conservación y diseño de algunas reservas ecológicas deberán ser tomados en cuenta.

El índice de diversidad de Shannon para el zacatal es alto de acuerdo con el criterio de Margalef (1972) que indica que valores superiores a 3.0 son considerados altos. Según Encina-Domínguez *et al.* (2014) para un zacatal del centro de Coahuila, la diversidad alta de especies se debe a la transición entre dos provincias fisiográficas, lo que influye de manera directa en el Índice de Margalef para estas áreas de transición, según Hansen *et al.* (1988) y Hernández *et al.* (2001) mencionan que es donde se posee la mayor riqueza de especies. El zacatal presenta índices en diversidad y equitatividad altos, además de tener mayor riqueza de especies lo cual incide en un valor alto en el índice de Margalef, sin embargo en el valor de índice de dominancia tiene un valor bajo, lo cual indica que en este zacatal aun y cuando tiene riqueza alta de especies, son pocas las especies que tienen la dominancia estructural de la vegetación.

El índice de riqueza de Margalef mostró resultados altos, debido a que este se basa en el número de especies y como regla general la riqueza aumenta con la superficie de muestreo (Romero, 1999).

La equitatividad es un indicador de la distribución proporcional de especies en una comunidad vegetal, a mayor equitatividad es menor el efecto de las especies dominantes y a menor equitatividad es mayor el efecto de las especies dominantes (Pascual, 2017). En el zacatal estudiado muestra un 90.52 % de uniformidad. Lo cual demuestra que, a mayor equidad, las especies observadas están mejor representadas dentro de la comunidad en función a su abundancia e indica que las especies están próximas a alcanzar una distribución uniforme o igual proporción en función a su abundancia y muestra una correspondencia positiva con el índice de Shannon-Wiener.

La dominancia es un indicador de las especies más abundantes, el cual está influenciado por la densidad de cada especie, por lo cual los valores cercanos a cero indican la ausencia de una o más especies dominantes y por lo tanto es más diverso, caso contrario a valores cercanos a uno, donde representa la dominancia de pocas

especies (Romero, 1999). En el zacatal estudiado, la dominancia es bajo debido a la alta equitatividad, lo que indica que no hay presencia de especies dominantes en la estructura de la vegetación (Pascual, 2017).

5.3 Análisis de correspondencia canónica

En el área de estudio, se encontró que la distribución de las especies está influenciada principalmente por la altitud, pH y Materia Orgánica según lo revelado por CCA. En el eje 1 se muestra de derecha a izquierda la distribución de las asociaciones del zacatal donde se refleja un fuerte gradiente altitudinal que va de 2,102 a 2,266 m.

Se presentó una clara separación entre la primera y la segunda asociación. La primera asociación, se caracteriza por la dominancia de las especies *Ambrosia confertifolia*, *Hoffmansegia watsonii*, *Astragalus hypoleucus*, *Schrankia subinermis*, *Verbesina hypomalaca*, *Acalypha pheoides*, entre otras, los cuales son especies de las familias Asteraceae, Fabaceae y Euphorbiaceae que dominan en el zacatal (Encina-Domínguez *et al.*, 2019) y se forma por la influencia de la altitud, la cual es mayor que en las otras asociaciones y se encuentra cerca del bosque de pino piñonero, ya que de acuerdo con Encina-Domínguez *et al.* (2019) el bosque de pino piñonero se distribuye a altitudes de 2150 a 2650 m, y en valles intermontanos con suelos profundos. En cuanto a la temperatura es más baja mientras la precipitación y la humedad son mayores, lo que favorece estas especies. En esta asociación el pH no tiene influencia ya que las altas precipitaciones provocan un aumento de la lixiviación de Ca y Mg, permite que el pH disminuya (Merry, 2009), por lo anterior, en el presente estudio se observa que el Ca y Mg no ejercen influencia significativa debido a sus valores bajos.

La segunda asociación está formada por la influencia del gradiente de un pH mayor. Esta asociación se ubica cerca del matorral xerófilo donde esta comunidad presenta una riqueza alta de cactáceas, además de especies propias del matorral

desértico micrófilo (Encina-Domínguez *et al.*, 2019) donde el estrato herbáceo está dominado por hierbas anuales y algunas especies de zacates indicadores de sobrepastoreo. Por lo que en esta segunda asociación son comunes de especies de cactáceas como: *Echinocactus horizonthalonius*, *Echinocereus pectinatus*, *E. reichenbachii*, *Mammillaria heyderi* y *Turbinicarpus beguinii*. Se presentan otras especies propias del zacatal, pero con menor abundancia como: *Aristida adscensionis*, *Muhlenbergia villiflora*, *Munroa pulchella*, *Bahia absinthifolia* y *Dalea aurea* aunque son poco frecuentes por las bajas precipitaciones y altas temperaturas ya que presentan los valores más bajos de altitud, lo contrario a la primera asociación.

En la tercera asociación se presentan especies que están mas correlacionadas con el eje 2, donde el gradiente que tiene más influencia sobre la asociación es el Na, altitud media y los suelos son calcáreos. Las especies que se encuentran en esta zona son: *Vachellia glandulifera*, *Salvia ballotiflora*, *Muhlenbergia rigida*, *Dyssodia pinnata* y son especies pertenecientes a las familias que caracterizan al zacatal.

En este análisis de correspondencia canónica, especies-variables edáficas no presentó una clara separación entre asociaciones de especies, esto es debido al factor de compensación de plantas, es decir, plantas que son hábiles para crecer y prosperar sobre un rango de condiciones (Hironaka *et al.*, 1990), además la diferencia en la anatomía foliar puede indicar un gradiente de mayor calcio (Estrada-Castillón, 1998) y magnesio (Ghanim y El - Sheikh, 2002).

Se considera que las variables estudiadas tienen una influencia directa sobre la cobertura relativa de las especies y sobre las asociaciones vegetales. Por otro lado, el bajo porcentaje de varianza indica que existen otras variables no consideradas, las cuales tienen una mayor influencia directa sobre la distribución de las coberturas relativas de las especies y las asociaciones vegetales en el gradiente altitudinal. Tales variables podrían ser el contenido de agua del suelo y humedad

relativa (Pavón y Briones, 2001). Sin embargo, tal vez más importante es la baja precipitación, debido a que el zacatal limita con la Región del Desierto de Chihuahua (Henrickson y Johnston, 1986), que se caracteriza por regímenes de lluvias bajas a moderadas.

5.2 Propiedades químicas de los suelos del zacatal

Con las pruebas de comparación de medias, en general se considera que son suelos con contenidos de arcillas mayor a 30 %, lo que indica una alta fertilidad potencial (Woerner, 1991).

La composición granulométrica del horizonte fue similar entre los sitios estudiados, en 15 parcelas los suelos tienen textura franco y uno con textura franco arcilloso. Según Schargel y Strebin (1970), los suelos han sido descritos como profundos, medianamente fértiles y con texturas finas (franco, franco arcillosas). De acuerdo con la FAO (2009), los suelos de mejor aptitud agrícola poseen textura media (francas), contienen un 10 a 20 % de arcilla, no más de 50 % de arena no más de un 50 % de limo. La textura no es alterada debido al cambio de uso de la tierra, excepto en los casos donde ocurra una fuerte erosión y se pierda la capa superior del suelo. Por lo tanto, las diferencias texturales encontradas entre los sitios pueden ser debido a que estos suelos provienen de material sedimentario de origen aluvial.

La materia orgánica (MO) tiene una media de 5.5 %, por lo que se consideran suelos altos en MO. En el análisis de varianza se refleja diferencia significativa ($p < 0.05$), aun así se consideran parcelas moderadamente altos en porcentaje de MO. Según Cairo y Fundora (2005) la materia orgánica del suelo es un indicador que está relacionado con la nutrición vegetal, por su vínculo directo con la disponibilidad de los nutrientes. La materia orgánica por su relativo contenido de grupos funcionales como el Dióxido de Carbono (CO₂), Hidróxido (OH), Ácido carboxílico (COOH), tiene gran afinidad por los iones metálicos que forman complejos órganos metálicos. Las plantas, al no absorber complejos de tamaño grande pueden sufrir deficiencias de

elementos traza en presencia de cantidades importantes de materia orgánica, esta a su vez logra absorber algunos metales, como el Cu, que no están disponibles para las plantas dando lugar a deficiencias (Basta *et al.*, 2005). Además, Roca *et al.* (2007) señalan que el contenido de materia orgánica, la arcilla y la actividad microbiana son propiedades del suelo que controlan la disponibilidad del Cu, Mn y Zn.

Los pastizales mantienen una cobertura vegetal constante, y durante los períodos de mayor productividad aportan abundante materia orgánica al suelo, particularmente desde sus raíces (Brown y Lugo, 1990; Tate *et al.*, (2000). Los altos niveles de MO presentes en el zacatal estudiado también se pueden relacionar con la fertilidad alta de los suelos y las prácticas de manejo empleadas, lo cual ha permitido un establecimiento de las gramíneas.

Dubeux *et al.* (2006) investigaron el efecto de la intensidad de manejo de un pastizal de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Flügge) en donde la intensidad de manejo tuvo efecto en las fracciones ligeras de la materia orgánica. Así, con la menor intensidad de manejo las partículas < 53 µg presentaron las mayores concentraciones de C y N. Se ha sugerido que las mayores pérdidas de C en el suelo ocurren durante los primeros años de establecimiento de los pastos, debido principalmente a la disminución en las entradas de materia orgánica al suelo y al aumento en la erosión y la tasa de degradación de los residuos de las plantas (Johnson y Wedin, 1997). No obstante, bajo condiciones de buen manejo, las gramíneas logran cubrir los suelos, al protegerlos de la erosión, reteniendo la humedad y restaurando su fertilidad a través del reciclado de nutrientes (Guzmán, 1996).

La MO representa la principal reserva de nutrientes en zacatales del ecosistema, y determina la fertilidad, la capacidad de retención de agua y la estructura del suelo (Tiessen *et al.* 1992; Lal, 2004). Esto por lo que según Ordaya (2011) reporta que en un estudio de suelos realizado en Perú, se registró la misma

textura que la Sierra de Zapalinamé, con relación a la Materia Orgánica y textura del suelo. En el análisis de varianza se determinó diferencia altamente significativa entre 04 clases texturales estudiadas encontrándose que los suelos franco arcillosos arenosos (4.7 % M.O) franco arenoso (4.8 % M.O) y franco arcilloso (5.29 % M.O) presentan los menores niveles de materia orgánica, pero estadísticamente el mayor porcentaje de materia orgánica se encuentra en los suelos francos con 7.2 % M.O, que estadísticamente supera a los anteriores.

El nitrógeno Total (NT) en el zacatal estudiado tiene una media de 10.7 ppm. De acuerdo a los resultados de análisis de varianza y la prueba Tukey para determinar la existencia de diferencias, se encontró que en general las parcelas tienen diferencias significativas, ya que solo 3 parcelas (3, 12, 14) es el máximo número de parcelas donde no se encuentran diferencias significativas (anexo 6). Aunque de acuerdo a los resultados la cantidad de nitrógeno se consideran cantidades medias a moderadamente bajos en los suelos. Según Di y Cameron (2002), la riqueza de N de los suelos de zacatales puede ser debido a que entre el 60 y 90 % del N es depositado de nuevo en el suelo a través de la orina o estiércol.

La MO se relaciona con el Nitrógeno total debido a que 98 % del N en el suelo se encuentra formando compuestos orgánicos; por ello, la MO es una reserva de N (Perdomo, 1998). Lo cual en las parcelas estudiadas si se determina lo que menciona este autor; donde las parcelas con mayor porcentaje de MO (figura 7) contienen elevadas cantidades de N (figura 8).

Por su parte, el fósforo (P) aporta al suelo un promedio de 19 ppm considerándose como cantidad media en el suelo. En una línea análoga a la comentada con el Nt, varios estudios han comprobado que del 60 al 99 % del P ingerido por los animales procedente de los zacates regresa a los suelos a través de los excrementos (Di y Cameron, 2002). También el pH del suelo influye en gran parte en la absorción de fósforo en las plantas. Por lo que este nutriente es uno de los principales y la cantidad que aporta al zacatal es adecuada para la fertilidad del suelo

ya que las cantidades van de moderadamente bajo a moderadamente alto.

Para el caso del Potasio (K), se debe considerar también la información reportada por Funes (1975), quien indica que los altos contenidos de ese elemento en suelos bajo pastoreo provienen principalmente de la orina de los animales.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 10) se consideran suelos con altos contenido de K, esto es debido a que hay una media de 323.2 ppm y donde UNALM-LASPAF considera que suelos con $K > 200$ ppm son altos en este nutriente. Esto en parte puede relacionarse con los altos porcentajes de materia orgánica (Figura 7) registrados en ese pastizal. Si bien es cierto que la textura, la vegetación y el tipo de uso del suelo influyen considerablemente sobre este elemento (Fassbender y Bornemisza, 1987), pues en la parcela 16 con una textura franco arcilloso la concentración de K es moderadamente bajo (Figura 10).

Las correlaciones entre K, Ca y Mg y el pH han resultado siempre significativas. Cada uno de estos nutrientes (Ca y Mg), las cantidades que aportan al zacatal se consideran alto y medio, por lo que aportan cantidades adecuadas para la nutrición y fertilidad del suelo. Los suelos áridos y calcáreos contienen los niveles más altos de Ca y los suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos (Manual Internacional de Fertilidad de Suelos).

Jiménez *et al.* (2008), encontraron en suelos de pastizales una mejor fertilidad, comparado con un suelo de bosque, se atribuye al aporte de nutrientes en el estiércol y orina del ganado y a la excesiva producción de raíces finas de los pastizales. Sin embargo, lo anterior no aplica para todas las variables, en cuanto a los nutrientes Mg y K, se registraron contenidos similares a lo reportado en este estudio por Martínez-Trinidad *et al.*, (2008), quienes mencionan que existe una mayor cantidad en bosques caducifolios que en pastizales. Estos dos elementos están relacionados, ya que altas concentraciones de K inducen un desbalance nutricional en suelos bajos en Mg (Molina, 2001). De igual forma Navarro (2000)

menciona que el Na reemplaza el K adsorbido al complejo coloidal dejándolo liberado para ser liberado por la planta.

El promedio de la reacción del suelo (pH) es 8.1, por lo cual es alcalino. En general, suelos con pH en un intervalo de 5.8 a 7.5, son deseables o menos problemáticos para la mayoría de los cultivos (Rodríguez y Rodríguez, 2002), que no afecta la absorción de los nutrientes analizados. En el caso de los suelos del área de estudio son alcalinos debido a su material original donde predominan los carbonatos (Woerner, 1991).

La disponibilidad de los microelementos en el suelo depende de varios factores tales como: el pH, el contenido de materia orgánica, la actividad microbiológica, la textura del suelo y las interacciones con otros macro y micronutrientes. Investigaciones realizadas demuestran la existencia de correlación entre los microelementos y algunas características químicas del suelo que inciden en el contenido y movilidad en el perfil del suelo, por ejemplo, el pH elevado de los suelos ocasiona la retención de estos elementos, y quedan en formas no disponibles para las plantas (Fancelli, 2006).

En los resultados de los micronutrientes el Zn aporta bajas cantidades al suelo (promedio de 1.6 ppm), Mn (promedio de 9.3 ppm) y Cu (promedio de 0.4 ppm) (anexo 6), donde un relativo alto o bajo contenido de arcillas es un indicador de las concentraciones de Cu y Zn y de la retención de nutrientes (Diatta *et al.*, 2014).

En este sentido Herencia *et al.* (2008), investigaron cambios de la fertilidad del suelo en sistemas agrícolas, mencionando que los más altos niveles de Cu, Mn, Fe y Zn, en parcelas orgánicas pueden ser debido a la formación de complejos con enmiendas orgánicas que promueven el mantenimiento de estos micronutrientes en forma disuelta, aumentando la disponibilidad en el suelo.

Roca *et al.* (2007) considera que la distribución del Mn en el perfil del suelo

está claramente asociada a la distribución de la materia orgánica en el perfil de suelo y a la profundidad; encontrándose los valores más altos siempre cercano a la superficie, debido a la fuerte afinidad por los complejos órgano-minerales que evitan su pérdida por lixiviación.

VI. CONCLUSIONES

La flora del zacatal de la sierra de Zapalinamé esta integrada por géneros y especies que son propias del zacatal semidesértico del Altiplano Mexicano, donde dominan gramíneas del género *Bouteloua* spp. Tanto la riqueza como el índice de diversidad de especies son mayores a altas elevaciones y menores a bajas altitudes.

Como parte de la comunidad del zacatal se registraron tres asociaciones de especies, y su distribución estuvo determinada por un gradiente de altitud que condicionó la temperatura y la precipitación.

La materia orgánica y el pH fueron las variables del suelo que mas influyeron en la composición, diversidad y riqueza de especies. De igual forma el Fósforo, Potasio, Calcio, Sodio y Magnesio influyeron en la determinación de las asociaciones de especies.

Los suelos del zacatal, presentan una textura franco y franco-arcilloso, con alto contenido de materia orgánica, de acuerdo al pH, son suelos alcalinos y los altos contenidos de N, P y K indica que los suelos presentan gran fertilidad, por lo tanto son aptos para la agricultura y vulnerables al cambio del uso del suelo.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar el monitoreo de los indicadores de composición, riqueza y diversidad de especies al incrementar su conocimiento y las relaciones ecológicas de la flora presente en el zacatal de la Reserva Sierra de Zapalinamé y con ello fomentar su conservación.

Instalar exclusiones para evaluación del efecto del pastoreo en la riqueza de especies, propiedades de los suelos en el mediano y largo plazo, así como del impacto del pastoreo para evitar la erosión, compactación del suelo, la invasión de especies, así mismo conservar las especies de *Bouteloua* y demás especies nativas del zacatal.

Realizar investigación similar en todas las áreas de zacatal de la sierra de Zapalinamé y promover la participación de los dueños de los predios para dar a conocer los resultados para de esta forma promover el manejo adecuado y la restauración de los zacatales.

Realizar programas de manejo para los ejidos que tengan en sus predios zacatales y con ello fomentar la conservación tanto de la riqueza florística como del suelo y evitar la invasión de especies de esta comunidad vegetal.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abreu, C. A.,** Ferreira M. E. y Borkert. E. C. 2001. Disponibilidades e avaliação de elementos cationicos: Zinco e Cobre. Em Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. CNPq/ FAPESP/ POTAFOS. p. 125-150.
- Al-Rowaily, S.L.,** El-Bana, M.I., Al-Bakre D.A., Assaeed, A.M., Hegazy, A.K., Ali, M.B. 2015. Effects of open grazing and livestock exclusion on floristic composition and diversity in natural ecosystem of Western Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences 22. Pp 430–437.
- Altesor, A.,** Oesterheld, M., Leoni, E., Lezama, F., Rodríguez, C. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. Plant Ecology 179. Pp 83–91.
- Álvarez, A., G.,** A. Ibáñez H., N. E. García C., G. Almendros M. 2012. Almacenes de carbono y estabilidad de la materia orgánica del suelo en un agroecosistema cafetalero en la sierra sur de Oaxaca, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems 15:611-620.
- Améndola, R.,** Castillo, E., Martínez, P.A. 2006. Country Pasture Profiles. Latin America and the Caribbean: México. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/pasture/forage.htm>. (22 de febrero 2020.).
- Anónimo.** 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F. 163 p.
- Anónimo.** 1998. Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica “Sierra de Zapalinamé”. Secretaría de Desarrollo Social, Gobierno del estado de Coahuila. Saltillo, Coah. 179 p.
- Bai, Y.,** Abouguendia, Z., Redmann, R.E. 2001. Relationship between plant species diversity and grassland condition. Journal of Range Management 54. Pp 177–183.
- Basta, N.T.,** Ryan, J.A., Chaney, R.L., 2005. Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil, Key Concepts and Metal Bioavailability. J. Environ. Qual.34: 49-

63.

- Binkley**, D. y P. Vitousek. 1989. Soil nutrient availability. In: R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, and P. W. Rundel (eds.). Plant physiological ecology. Field methods and instrumentation. Chapman and Hall. London. pp. 75-96.
- Biondini**, M.E., Patton, B.D., Nyre, P.E. 1998. Grazing intensity and ecosystem processes in a northern mixed-grass prairie, USA. *Ecological Applications* 8. Pp 469–479
- Bourman**, B.A.M., Nieuwenhuys, A. e Ibrahim, M. 1999. Pasture degradation and restoration by legumes in humid tropical Costa Rica. *Tropical Grassland*, v.33. Pp 98-110.
- Brand**, D.D. 1961. The early history of the range cattle industry in Northern Mexico. *Agric. Hist.* 35. Pp 132–139.
- Brown**, S., Lugo A. E. 1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soil in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant Soil* 124: 53-64.
- Cairo**, P., Fundora, O. 2005. Edafología. Primera parte. Editorial Felix Varela. La Habana, Cuba. 258 p.
- Castellanos**, J. Z., J. X. Uvalle B., A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas (2a edición), Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel Allende, Gto., México. 226 p.
- Chao**, A., Shen, T.-J. 2003. Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Environmental and ecological statistics*, 10(4). Pp 429-443.
- Cheng**, J., Wu, G.L., Zhao, L.P., Li, Y., Li, W., Cheng, J.M. 2011. Cumulative effects of 20year exclusion of livestock grazing on above- and belowground biomass of typical steppe communities in arid areas of the Loess Plateau, China. *Plant Soil Environment* 57. Pp 40–44.
- Cobo**, V. Y., Angarica, B. E., Martín, G. G., Villazón G. J. A., Serrano G. A. 2013. Disponibilidad de Cobre, Zinc y Manganeso en suelos de importancia agrícola. *Revista Granma Ciencia*. 17: 2. ISSN 1027-975X.

- Collins**, S. L., Barber, S. C. 1986. Effects of disturbance on diversity in mixed-grass prairie. *Vegetation*, 64, 87–94.
- CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 350 p.
- CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2020. Biodiversidad mexicana. Ecosistemas de México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>.
- CONAZA** (Comisión Nacional de Zonas Áridas). 1994. Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte). Saltillo, Coahuila, México. 113 p.
- COTECOCA**, 2004. Comité Técnico Consultivo de Coeficientes de Agostadero, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Coupland**, R.T. 1979. Natural temperate grasslands. In: Coupland, R. T. (ed.) *Grassland ecosystems of the world*. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. Pp 41–111.
- Courtois**, D.R., Perryman, B.L., Hussein, H.S. 2004. Vegetation change after 65 years of grazing and grazing exclusion. *Journal Range Management*. Pp 57: 574–582.
- Cross**, A. F., Schlesinger, W. H. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry*, 52(2): 155-172.
- Darwish**, O. H., Persaud N., Martens, D. C. 1995. Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soil. *Plant Soil* 176: 289-295.
- Dávila**, P., Mejía S. M., Soriano M. A. M., Herrera A. Y. 2018. Conocimiento taxonómico de la familia Poaceae en México. *Botanical Sciences*, 96(3): 462-514.
- Deleglise**, C., Loucogaray, G., Alard, D. 2011. Effects of grazing exclusion on the spatial variability of subalpine plant communities: A multiscale approach. *Basic Appl. Ecol.* Pp 12, 609–619.
- Depablos**, L., Godoy, S., Chicco, C.F., Ordeñez, J. 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.*,

27(1): 25-37.

- Di, H.** y Cameron, K. 2002. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil Use Manage.*: 2-7.
- Diario Oficial de la Federación (DOF).** 2009. Decreto por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la zona conocida como Janos, localizada en el Municipio de Janos, en el Estado de Chihuahua.
- Dias-Filho, M.B.** 2003. Degradação de pastagens. Processos, causas e estratégias de recuperação. Embrapa Amazônia Oriental. Ed. Guilherme Leopoldo da Costa Fernandes. Pp 152.
- Diatta, J.,** Grzebisz, W., Karolina Frąckowiak-pawlak., Agnieszka Andrzejewska., Milena Brzykcy. 2014. Site-specific evaluation of Cu, Zn, Fe and Mn availability in arable soils. *Zemdirbyste-Agriculture*. p. 235–242 DOI 10.13080/z-a.2014.101.030.
- Dubeux, Jr., J.C.B.,** Sollenberger, L.E., Comeford, N.B., Scholberg, J.M., Ruppieri, A.C., Vendramini, J.M.B. 2006. Management intensity affects fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. *Soil Biol. Biochem.* 38:2705.
- Encina-Domínguez, J.A.** 2017. Riqueza florística y comunidades vegetales de la Sierra de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila, México. Tesis doctoral Facultad de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 145 p.
- Encina-Domínguez, J.A.,** Valdés-Reyna J., Villarreal-Quintanilla J. A. 2014. Estructura de un zacatal de toboso (*Hilaria mutica*: Poaceae) asociado a sustrato ígneo en el Noreste de Coahuila, México. *Revista del Instituto de investigación Botánica de Texas* 8. Pp 583–594.
- Encina-Domínguez, J. A.,** Villarreal-Quintanilla J. A., Estrada-Castillón E., Rueda-Moreno O. 2019. Situación actual de la vegetación de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Botanical Sciences* 97 (4): 630-648.
- Enríquez, R.** y Orozco O. 2011. Conductividad hidráulica en diferentes suelos de San José de los remates Boaco. Tesis para optar al grado de ingeniero agrónomo Managua septiembre 2011.

- Escudero-Beirián, A.,** García Criado, B., Alonso Peloché, H., 1985. El ciclo del potasio en dehesas de *Quercus rotunifolia* y *Quercus pirenaica*. Mediterranea. Serie de Estudios Biológicos 8: 103-123 pp.
- Estrada-Castillón, A. E.** 1998. Ecología del matorral submontano en el estado de Nuevo León, México. Tesis Doctoral. Facultad de Zootecnia-Universidad Autónoma de Chihuahua, División de Posgrado e Investigación, Chihuahua, Chihuahua, México, Pp. 190.
- Estrada-Castillón, A. E.,** Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J.A., Jurado-Ybarra, E., Cotera-Correa, M., Cantú-Ayala, C., García-Pérez, J. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. Revista Mexicana de Biodiversidad 81. 401–416 p.
- Fancelli, A. L.** 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11 - 27. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207 pp.
- FAO.** 2009. Guía para la descripción de los suelos. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma, 2009. Cuarta Edición. Roma: 2009, p. 21-66.
- Fassbender, H. y** Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José. Costa Rica.
- Favret-Tondato, R.C.** 2013. Apropiación de los recursos naturales y producción en el territorio de la sierra de Zapalinamé. In A. Arizpe-Narro (Ed.), Sierra Zapalinamé. Guía para conocer y valorar el área protegida de la Sierra de Zapalinamé (Pp 89-101). Saltillo, Coahuila, México: Elementocero ediciones.
- Fernández, O. P. R.,** D. C. Acevedo, A. Villanueva M., M. Uribe G. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. Rev. Mex. Cienc. For. 7: 65-77.
- Ferreras, L.,** Toresani, S., Faggioli, V., Galarza, C. 2015. Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. Revista Spanish Journal of Soil Science, 5(3).
- Fleischner, T.L.** 1994. Ecological costs of livestock grazing in western north-America.

- Conservation Biology 8: 629–644 p.
- Funes, F.** 1975. Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 9:395-412.
- García, E.** 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. 5 ed. Instituto de Geografía-UNAM: Serie Libros. México. 50 p.
- Gaskin, Julia W., Brobst, R.B., Miller, W.P., Tollner, E.W.** 2003. Long-Term Biosolids Application Effects on Metal Concentrations in Soil and Bermudagrass Forage. *Journal of Environmental Quality* 32:146-152.
- Ghanim, A. A. y El-Sheikh, M. A.** 2002. Vegetation analysis of Failaka Island (Kuwait). *Journal of Arid Environments* 50:153-165.
- Gillen, R.L. y Sims, P.L.** 2004. Stocking rate, precipitation, and herbage production on sand sagebrush-grassland. *Journal of Range Management* 57. 148–152 p.
- González, M.H.** 1965. Inventario de los recursos ganaderos del norte de México. Pp 27–33. In: Estudio integral preliminar sobre la ganadería en la zona norte de la República Mexicana. Centro de Investigación del Desarrollo. COPARMEX, México, D.F.
- Guzmán, P. J. E.** 1996. Pastos y Forrajes. 3a ed. Espasande. Caracas, Venezuela. 448 pp.
- Hannah, L., Carr, J.I., Lanckerani, A.** 1995. Human disturbance and natural habitat: A biome level analysis of a global data set. *Biodiversity and Conservation* 4. 128–155 p.
- Hanselka, CW, Ragsdale BJ, Rector BS.** 1988. Grazing systems for profitable ranching. *Texas Agri Ext Ser Bulletin* 1988; L-221.
- Hansen, A. J., Di Castri, F. y Naiman, R. J.** 1988. Ecotones: why why? En: Di Castri F., Hansen A.J. y Hollands M.M. Eds. *Anew Look at Ecotones: Emerging International Projects on Landscape Boundaries*. *Biology International Special Issue* 17. International Union of Biology Science, Paris 9-46 p.
- Hayes, G.F. y Holl, K.D.** 2003. Cattle grazing impacts on annual forbs and vegetation composition of mesic grasslands in California. *Conservation Biology* 17. Pp 1694–1702.
- Hazelton, P. y Murphy, B.,** 2007. Interpreting soil test results: What do all the

numbers mean? CSIRO Publishing, Collingwoos Victoria, Australia.

- Henrickson**, J. y Johnston M.C. 1986. Vegetation and community types of the Chihuahuan Desert. In: Barlow JC, Powell AM, Timmermann BN, eds. Second Symposium on Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico 20-21 October 1983. Texas, EUA: Chihuahuan Desert Research Institute, Sul Ross State University, pp. 20-39.
- Herencia**, J. F., J. C. Ruiz, S. Melero, P. A. García-Gaalavís, C. Maqueda. 2008. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *J. Agric. Sci.* 146: 677-687.
- Hernández**, H., Gómez, C., 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
- Herrera-Arrieta**, Y., Peterson, P., Cerda-Lemus, M. 2004. Revisión de *Bouteloua* Lag. (Poaceae). Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto Politécnico Nacional, Durango, México. 187 p.
- Hickman**, K.R. y Hartnett, D.C. 2002. Effects of grazing intensity on growth, reproduction, and abundance of three palatable forbs in Kansas tallgrass prairie. *Plant Ecology* 159. Pp 23– 33.
- Hironaka**, M., Maynard A. Fosberg., Kenneth E. Neiman Jr. 1990. The relationship between Soils and Vegetation. Symposium on Management and Productivity of Western-Mountane Forest Soils, Boise, ID, April 10-12, 1990, Idaho, Moscow, U.S.A.
- Hobbs**, R.J. y Huenneke, L.F. 1992. Disturbance, diversity and invasion: Implications for conservation. *Conservation Biology* 6: 324–337 p.
- Holmgren**, P.C. y Holmgren, N.H. 1990. Index herbariorum, edition 8, part 1. The New York Botanical Garden, New York, U.S.A.
- Holzer**, W. y Kriechbaum, M. 2001. Pastures in south and central Tibet (China) II. Probable causes of pasture degradation. *Bodenkultur*, v.52: 37-44 p.
- Humphreys**, LR. 1991. Tropical pasture utilization. Melbourne, Australia: Cambridge UnivPress; 1991. (22, febrero, 2020)
- Huss**, D. 1993. El papel del ganado doméstico en el control de la desertificación.

- Huss, D.** y Aguirre, E. 1976. Fundamento de pastizales. I. T. S. M. Monterrey, N. L., México.
- Instituto** Coahuilense de Ecología (ICE). 2001. Ordenamiento ecológico de Coahuila, México. Gobierno de Coahuila. Saltillo, México.
- Iñiguiz, J.,** Sanchez-Carpintero I., Val R. M., Romeo A. 1981. Mapa de suelos de navarra. Instituto Príncipe de Viena D. L. NA 126-1958-ISSN. Pp 204.
- Jiménez, L.,** Mezquida E., Benito M., Rubio A. 2008. Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en Zamira-Chinchipe (Ecuador). Sociedad Española de Ciencias Forestales. 22: 65-70 pp.
- Jing, Z.,** Cheng, J., Su, J., Bai, Y., Jin, J. 2014. Changes in plant community composition and soil properties under 3-decade grazing exclusion in semiarid grassland. *Ecological Engineering*, 64(0), 171-178.
- Johnson, N.C.** y Wedin D. A. 1997. Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecol. Applic.* 71: 171-182.
- Jost, L.** 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2). 363-375 p.
- Kahmen, S.,** Poschlod, P., Schreiber, K.F. 2002. Conservation management of calcareous grasslands: changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. *Biological Conservation* 104. 319–328 p.
- Keddy, P.** 2005. Putting the plants back into plant ecology: six pragmatic models for understanding and conserving plant diversity. *Annals of botany*, 96(2). 177-189 p.
- Keylock, C.** 2005. Simpson diversity and the Shannon–Wiener index as special cases.
- Lal, R.** 2004. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land Degrad. Dev.* 7: 19-45 p.
- Lande, R.** 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, 76: 5-13 p.
- Lunt, I.D.,** Eldridge, D.J., Morgan, J.W., Witt, G.B. 2007. A framework to predict the effects of livestock grazing and grazing exclusion on conservation values in

- natural ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany* 55: 401–415 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 p.
- Magurran**, A. E. 1998. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Magurran**, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, Oxford, U.K. 215 p.
- Márquez-Madrid M.**, Ruiz-Garduño, R.R., Valdez-Cepeda, R.D., Blanco-Macías, F., Pérez Pérez V.G. 2009. Estado de degradación del suelo en los pastizales de la cuenca del río Juchipila. *Manejo sustentable de Pastizales. VI Simposio Internacional de Pastizales.* 16-27 p.
- Martínez-Trinidad, S.**, H. Cotler, J. D. Etchevers-Barra, V. M. Ordaz-Chaparro y F. de León-González. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana* 26: 299-307 p.
- Martorell**, C., Zepeda, V., Martínez-Blancas, A., García-Meza, D., Pedraza, F. 2017. A diversity world record in a grassland of Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences* 95: 1–7 p.
- Mellum**, H. K., Arnesen K. M., B. R. Singh. 1998. Extractability and plant uptake of heavy metals in alum shale soils. *Communi. Soil Sci. Plant Anal.*, 29(9-10):1183-1198 p.
- Merry**, R. H. 2009. Acidity and alkalinity of soils. In: Sabljic A, editor. *Environmental and Ecological Chemistry, Vol. 2; Encyclopedia of Life Support Systems*. Paris, France: UNESCO-EOLSS Publishers. 115-131 p.
- Milchunas**, D.G., Lauenroth, W.K., Chapman, P.L. 1992. Plant competition, abiotic and longterm and short-term effects of large herbivores on demography of opportunistic species in a semiarid grassland. *Oecologia* 92: 520–531 p.
- Milchunas**, D.G., Sala, O.E., Lauenroth, W.Q. 1988. A generalized model of effects of the grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132: 87–106 p.
- Miranda**, F. y Hernández E. 1963. Loos tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 28: 29-179 p.

- Molina**, E. 2001. Manejo de suelos y fertilización de café. *In*: G. Meléndez y E. Molina (eds.). Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica (Memoria). CIA/UCR. San José de Costa Rica. 76-86 p.
- 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.
- Muñiz**, O. 2008. Los microelementos en la agricultura. AGRINFOR. La Habana. 132 p
- Murillo**, FJC. 1999. Respuesta de una pradera de estrella (*Cynodon nlemfuensis*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y guinea (*Panicum maximum*) a un sistema de pastoreo intensivo tecnificado móvil con bovinos de engorda, tesis maestría. Colima, México. Universidad de Colima; 1999. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6685192&pid=S2007-1124201300030000700019&lng=es. (01, marzo, 2020).
- Nai-Bregaglio**, M., Pucheta, E., Cabido, M. 2002. El efecto del pastoreo sobre la florística y estructural en pastizales de montaña del centro de Argentina Chilena de Historia Natural 75: 613-623 p.
- Navarro**, G.S. 2000. Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Mundi-Presa. México, D. F.
- Ogata**, N., Gómez-Pompa A., Aguilar- Meléndez A., Castro-Cortez R., Plummer O. E. 2007. Sistema de identificación taxonómica. Universidad Veracruzana. https://www.uv.mx/ethnobotany/ArbCom_pastizal.html
- Ordaya**, C. 2011. Variación poblacional de pastizal de la sub cuenca alta de Shullcas, con relación al suelo y piso altitudinal. Tesis de grado Ingeniero Zootecnista. UNCP.
- Osem**, Y., Perevolotsky, A. Kigel, J. 2002. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology* 90: 936–946 p.
- Pascual**, H. 2017. Estructura de las Comunidades Vegetales en una Porción al Sur del Desierto Chihuahuense. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma

- Agraria Antonio Narro. 72 p.
- Pavón**, N. P., y Briones O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments*, 49(2): 265-277 p.
- Peet**, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5:285-307 p.
- Peet**, R.K., Wentworth, T.R., White, P.S. 1998. A flexible, multipurpose method for recording vegetation composition and structure. *Castanea* 63: 262–274 p.
- Perdomo**, C., Barnazán, M., Durán, J. 1998. Nitrógeno. Desarrollo de material didáctico. Montevideo. En la web: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>. (Agosto del 2020).
- Philippot**, L. y J. C. Germon. 2005. Contribution of bacteria to initial input and cycling of nitrogen in soils. In: F. Buscot and A. Varma (eds.). *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions. Soil Biology*. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany. 159-176 p.
- Pinkava**, D.J. 1984. Vegetation and flora of the Bolsón of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico: IV. Summary, endemism and corrected catalogue. *Journal Arizona-Nevada Academy of Sciences* 19: 23–47 p.
- Pla**, L. 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 31(8): 583-590 p.
- Pulido**, M., 2014. Indicadores de Calidad del Suelo en áreas de Pastoreo. Universidad de Extremadura. Tesis doctoral.
- Quintana**, R. D., 2014. “Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná” 1a ed. - Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales. 24x17 cm. 1. Ganadería. 2. Humedales. I. 128 p.
- Ramírez**, R.G., Enríquez A., Lozano F. 2001. Valor nutricional y degradabilidad ruminal del zacate buffel y nueve zacates nativos del NE de México. *CIENCIA UANL / VOL. IV, No. 3*: 8 p.
- Ramírez**, A, 2006. *Ecología: Métodos de Muestreo y Análisis de Poblaciones y Comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 271 p.

- Ratto**, S. E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp 79-112. En: M Vázquez (ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207 p.
- Richardson**, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panneta, F.D., West, C.J. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93–107 p.
- Roca**, N., Pazos, M. S., Bech, J. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del Suelo*, 25(1). (Buenos Aires). Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185020672007000100005&script=sci_arttext (agosto del 2020).
- Rodríguez H.**, F. y J. Rodríguez A. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Editorial Trillas. México, D. F., México. 196 p.
- Romero**, G. 1999. Caracterización ecológica y definición de esquemas de muestreo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del Noreste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, 72 p.
- Rong**, Y., Yuan, F., Ma, L. 2014. Effectiveness of exclosures for restoring soils and vegetation degraded by overgrazing in the Junggar Basin, China. *Grassland Sciences* 60: 118–124 p.
- Rusch**, G.M., y Oesterheld, M. 1997. Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grassland. *Oikos* 78: 519– 526 p.
- Rzedowski**, J. 1975. An ecological and phytogeographical analysis of the grasslands of Mexico. *Taxon* 24: 67–80 p.
- Rzedowski**, J. 2006. Vegetación de México. 1era. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sánchez-Castillo**, L.T. y Cantú S. I. 2014. Root strength characteristics of understory vegetation species for erosion mitigation on forest slopes of Mexico. *Int. J. Ecol. Dev.* 28: 1-8 p.
- Savory**, A. 2000. Taking a Holistic Approach. Preventing Wildfires through Proper

Management of the National Forests Oversight Hearing conducted by the House Subcommittee on Forests and Forest Health August 14, 2000, Albuquerque, New México.

- Schargel**, R. y **Strebin** S. 1970. Estudio Agrológico Preliminar. Sector Obispos. Estado Barinas. División de Edafología. Dirección de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 57 p.
- SEMARNAT** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002. México DF: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT**. 2009. Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México D. F. Capítulo 3. Suelos.
- Shreve**, F. 1942. Grassland and related vegetation in northern Mexico. *Madroño* 6. Pp 190–198.
- Sierra**, C., **Ortega**, E., **Roca**, A., **Saura**, I., **Asensio**, C. 1992. Proyecto Lucdeme mapa de suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Universidad de Granada. Padul-1026.
- Smilauer**, P. 1992. Cano Draw User's guide version 3.0. Microcomputer power. Ithaca, N. Y., E.U.A
- Steffens**, M., **Kölbl**, A., **Totsche**, K.U., **Kögel-Knabner**, I. 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China). *Geoderma* 143: 63–72 p.
- Stuht**, J. W. 1991. Foraging behaviour. En: R. K. Heitschmidt and **Stuth**, J. W. *Grazing Management. An ecological perspective*. Timber Press, Portland, Oregon. 65-83 p.
- Soreng**, R.J., **Peterson**, P.M., **Romaschenko**, K. 2015. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). *Journal of Systematics and Evolution* 53(2):117-137 p.
- Sousa**, S. M., y **Delgado**, S. A. 1993. Mexican Leguminosae: phytogeography, endemism, and origins. In T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (Eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution* (pp. 459-511). New York,

EUA: Oxford University Press.

- Szogi**, A. A., Bauer, P. J. y Vanotti, M. B. 2012. Vertical distribution of phosphorus in a sandy soil fertilized with recovered manure phosphates. *J. Soils Sediments* 12: 334-340 p.
- Tate**, K. R., Scott N.A., Ross D.J., Parshotam A., Claydon J. J. 2000. Plant effects on soil carbon storage and turnover in a montane beech (*Nothofagus*) forest and adjacent tussock grassland in New Zealand. *Aust. J. Soil Res.* 38: 685-698 p.
- Teague**, R., y Barnes, M. 2017. Grazing management that regenerates ecosystem function and grazingland livelihoods. *African Journal of Range Forage Sciences* 34: 77–86 p.
- Ter-Braak**, C. J. 1987. The analysis of vegetation environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetation* 69:69-77 p.
- Tiessen**, H., Salcedo I., Sampaio E. 1992. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Env.* 38: 139- 151 p.
- Valdés-Reyna**, J. 2015. Gramíneas de Coahuila. CONABIO, México. 559 p.
- Vásquez**, R. 1973. Plan inicial de manejo de agostaderos en el rancho demostrativo "Los Ángeles". Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro". Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila.
- Villarreal**, J.A. 2001. Listados florísticos de México. XXIII. Flora de Coahuila. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 136: 138 p.
- Villarreal**, J.A., Valdés-R, J. 1992-93. Vegetación de Coahuila, México. *Revista de Manejo Pastizales* 6: 9–18 p.
- Villaseñor**, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28: 160-167 p.
- Villaseñor**, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 559–902 p.
- Vitousek**, P. M., Aber, J., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler D. W., Schlesinger, W. H. y Tilman G. D. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Ecol. Applic.* 7: 737-750 p.

- Wang, W.**, Wang, C., Sardans, J., Min, Q., Zeng, C., Tong, C., Peñuelas, J. 2015. Agricultural land use decouples soil nutrient cycles in a subtropical riparian wetland in China. *Catena* 133: 171-178 p.
- Wilson, J. B.**, Peet, R. K., Dengler, J., Pärtel, M. 2012. Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science*, 23: 792–802 p.
- William, D.** y Seese W. 1996. Química. Pearson educación 7ma ed. México. 768 p.
- Woerner, M.** 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la UANL, Linares, N. L. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.1-9 p.
- Wu, G. L.**, Du, G. Z., Liu, Z. H., Thirgood, S. 2009. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Plant and Soil*, 319(1-2): 115-126 p.
- Zhang, Y.** y Zhao, W. 2015. Vegetation and soil property response of short-time fencing in temperate desert of the Hexi Corridor, northwestern China. *Catena* 133: 43–51 p.
- Zou, J.**, Luo, C., Xu, X., Zhao, N., Zhao, L., Zhao, X. 2016. Relationship of plant diversity with litter and soil available nitrogen in an alpine meadow under a 9-year grazing exclusion. *Ecological Research* 31: 841–851 p.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Listado florístico de las especies presentes en el Zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé.

Los taxa incluyen número de colecta y se encuentran en la colección del herbario ANSM de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se presenta el nombre de la familia seguido por el nombre de la especie, el autor, el colector y por último el número de colecta. La abreviación del colector es: E: Juan Antonio Encina Domínguez.

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS |
|-----------------------|---|--------------------------|
| Acanthaceae | <i>Dyschoriste linearis</i> (Torr. & A. Gray) Kuntze. | E 5940, 6431 |
| | <i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Pers. | E 5958, 6669 |
| Amaranthaceae | <i>Alternanthera repens</i> (L.) Kuntze. | E 6434 |
| | <i>Dysphania graveolens</i> (Willd.) Mosyakin & Clemants. | E 6538 |
| Anacardiaceae | <i>Rhus microphylla</i> Engelm. | E 6033, 6199 |
| Asclepiadaceae | <i>Asclepias brachystephana</i> Engelm. ex Torr | E 6373 |
| | <i>Sarcostemma crispum</i> Benth. | E 6028 |
| Asparagaceae | <i>Agave aspérrima</i> Jacobi. | E 6342 |
| | <i>Yucca filifera</i> Chaub. | E 6344 |
| Asteraceae | <i>Ageratina wrightii</i> (A. Gray) R.M. King & H. Rob. | E 6151 |
| | <i>Ageratum corymbosum</i> Zucc. ex Pers. | E 6025, 6694 |
| | <i>Ambrosia confertiflora</i> DC. | E 5973, 6451, 6645, 6657 |
| | <i>Baccharis pteronioides</i> DC. | E 6197 |
| | <i>Bahia absinthifolia</i> Benth. | E 5991, 6437, 6484, 6702 |
| | <i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell. | E 6753 |
| | <i>Bidens pilosa</i> L. | E 6474, 6693 |
| | <i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray. | E 6539 |
| | <i>Chaetopappa ericoides</i> (Torr.) G.L. Nesom. | E 5947 |
| | <i>Cirsium undulatum</i> (Nutt.) Spreng. | E 6041 |
| | <i>Conoclinium greggii</i> (A. Gray) Small. | E 6339, 6376, 6468 |
| | <i>Dyssodia acerosa</i> DC. | E 6712 |

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS |
|----------------------|---|--|
| | <i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitchc. | E 6020, 6159, 6479 |
| | <i>Dyssodia pinnata</i> (Cav.) B.L. Rob. | |
| | <i>Erigeron pubescens</i> Kunth. | E 6334 |
| | <i>Gaillardia pinnatifida</i> Torr. | E 5033 |
| | <i>Gymnosperma glutinosa</i> Less. | E 6047, 6532 |
| | <i>Heterotheca subaxillaris</i> (Lam.) Britton & Rusby. | E 5935, 6672 |
| | <i>Laennecia coulteri</i> (A. Gray) G.L. Nesom. | E 6646 |
| | <i>Leucactinia bracteata</i> (S. Watson) Rydb. | E 6155, 6453 |
| | <i>Parthenium confertum</i> A. Gray. | E 5956, 6018, 6410 |
| | <i>Parthenium incanum</i> Kunth,. | E 6366, 6709 |
| | <i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb. | E 5999, 6643 |
| | <i>Sanvitalia ocymoides</i> DC. | E 5031, 6019, 6158, 6476, 6653 |
| | <i>Solidago velutina</i> DC. | E 6000 |
| | <i>Symphotrichum subulatum</i> (Michx.) G.L. Nesom. | E 5986 |
| | <i>Thelesperma megapotamicum</i> (Spreng.) Kuntze. | E 6399 |
| | <i>Thelesperma simplicifolium</i> (A. Gray) A. Gray. | E 5987, 6372 |
| | <i>Thymophylla pentachaeta</i> (DC.) Small var. <i>pentachaeta</i> . | E 5965, 6015, 6356, 6675 |
| | <i>Thymophylla setifolia</i> Lag. | E 5964, 6393, 6683 |
| | <i>Tithonia tubiformis</i> (Jacq.) Cass. | E 6160 |
| | <i>Townsendia mexicana</i> A. Gray. | E 5029, 6436, 6671 |
| | <i>Verbesina hypomalaca</i> B.L. Rob. & Greenm var. <i>saltillensis</i> B.L. Turner. | E 5967 |
| | <i>Viguiera greggii</i> (A. Gray) S.F. Blake. | E 6150 |
| | <i>Zaluzania triloba</i> (Ort.) Pers. | E 6029, 6648, 6716 |
| | <i>Xanthisma spinulosum</i> (Pursh) D.R. Morgan & R.L. Hartm. | E 5966, 5975, 6335, 6685 E 5028, 5937, 6430, 6485, 6711 |
| | <i>Zinnia acerosa</i> (DC.) A. Gray. | |
| Berberidaceae | <i>Berberis trifoliolata</i> Moric. | E 5692, 6202, 6340 |
| Bromeliaceae | <i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L. | E 6754 |
| Boraginaceae | <i>Tiquilia canescens</i> (A. DC.) A.T. Richardson. | E 6055, 6439, 6705 |
| Brassicaceae | <i>Nerisyrenia linearifolia</i> (S. Watson) Greene. | E 5700, 6750 |
| | <i>Physaria argyraea</i> (A. Gray) O'Kane & Al-Shehbaz subsp. <i>diffusa</i> (Rollins) O'Kane & Al-Shehbaz. | E 6043, 6357, 6697 |
| | <i>Physaria fendleri</i> (A. Gray) O'Kane & Al-Shehbaz. | E 6200, 6364, 6751 |
| | <i>Synthlipsis greggii</i> A. Gray. | E 5693, 6365, 6678 |

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS | |
|-----------------------|--|------------------------------------|--------------|
| Cactaceae | <i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth. | E 6341 | |
| | <i>Cylindropuntia tunicata</i> (Lehm.) F.M. Knuth. | E 6337 | |
| | <i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lem. | E 6440 | |
| | <i>Echinocereus pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm | | |
| | <i>Echinocereus reichenbachii</i> (Terscheck ex Walp.) Haage | | |
| | <i>Mammillaria heyderi</i> Muehlenpf. | E 6755 | |
| | <i>Opuntia stenopetala</i> Engelm | | |
| | <i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck ex Engelm | | |
| | <i>Turbincarpus beguinii</i> (N.P. Taylor) Mosco & Zanovello | | |
| | Caryophyllaceae | <i>Drymaria anómala</i> S. Watson. | E 5997, 6402 |
| | Commelinaceae | <i>Cyperus niger</i> Ruiz & Pav. | E 5960, 6454 |
| Convolvulaceae | <i>Convolvulus arvensis</i> L. | E 6203 | |
| | <i>Convolvulus equitans</i> Benth. | E 6064 | |
| | <i>Dichondra argénteá</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. | E 5951 | |
| | <i>Evolvulus sericeus</i> Sw. | E 5977 | |
| | <i>Ipomoea costellata</i> Torr. | E 5952, 6363 | |
| | <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth. | E 6032, 6650 | |
| Cupressaceae | <i>Juniperus coahuilensis</i> (Martínez) Gaussen. | E 6198 | |
| Cyperaceae | <i>Carex schiedeana</i> Kunze. | E 6354 | |
| | <i>Cyperus niger</i> Ruiz & Pav. | E 6381, 6658 | |
| Ephedraceae | <i>Ephedra aspera</i> Engelm. ex S. Watson. | E 6336 | |
| Euphorbiaceae | <i>Acalypha phleoides</i> Cav. | E 5939, 6397 | |
| | <i>Acalypha monostachya</i> Cav. | E 5030, 5990, 6050 | |
| | <i>Argythamnia neomexicana</i> Müll. Arg. | E 5979, 6684 | |
| | <i>Croton dioicus</i> Cav. | E 6490, 6710 | |
| | <i>Euphorbia cinerascens</i> Engelm. | E 6156 | |
| | <i>Euphorbia dentata</i> Michx. | E 5974, 6404, 6477 | |
| | <i>Euphorbia exstipulata</i> Engelm | E 6017, 6053, 6153, 6676 | |
| | <i>Euphorbia serrula</i> Engelm. | E 5034, 5978, 6380, 6473 | |
| Fabaceae | <i>Astragalus hypoleucus</i> S. Schauer. | E 5691 | |
| | <i>Dalea aurea</i> Nutt. | E 5996, 6367 | |
| | <i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. | E 5981, 6535 | |
| | <i>Dalea frutescens</i> A. Gray. | E 6391, 6679 | |
| | <i>Dalea greggii</i> A. Gray. | E 6378, 6536 | |
| | <i>Dalea laniceps</i> Barneby. | E 6027, 6664 | |

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS |
|------------------------|---|--------------------------|
| | <i>Dalea pogonathera</i> A. Gray. | E 5962, 6362 |
| | <i>Desmanthus painteri</i> (Britton & Rose) Standl. | E 5968 |
| | <i>Hoffmannseggia watsonii</i> (Fisher) Rose. | E 5959, 6353, 6661 |
| | <i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega var. <i>biuncifera</i> (Benth.) Barneby. | E 6037 |
| | <i>Mimosa zygomphylla</i> A. Gray. | E 6036, 6424 |
| | <i>Pomaria canescens</i> (Fisher) B.B. Simpson. | E 5027, 6048 |
| | <i>Prosopis glandulosa</i> Torr. | E 6010, 6042, 6534 |
| | <i>Rhynchosia senna</i> Gillies ex Hook. | E 5934 |
| | <i>Schrankia subinermis</i> S. Watson. | E 6157, 6388 |
| | <i>Senna demissa</i> (Rose) H.S. Irwin & Barneby. | E 5933, 6415 |
| | <i>Vachellia glandulifera</i> (S. Watson) Seigler & Ebinger. | E 6035, 6152 |
| Lamiaceae | <i>Hedeoma drummondii</i> Benth. | E 6406 |
| | <i>Monarda citriodora</i> Cerv. ex Lag. | E 6374, 6467 |
| | <i>Salvia ballotiflora</i> Benth. | E 6034, 6708 |
| | <i>Salvia reflexa</i> Hornem. | E 5998, 6026, 6651, 6689 |
| Liliaceae | <i>Echeandia flavescens</i> (Schult. et Schult.) Cruden. | E 6333, 6370 |
| Malvaceae | <i>Anoda cristata</i> (L.) Schltld. | E 6049 |
| | <i>Sida abutilifolia</i> Mill. | E 5949, 6389, 6691 |
| | <i>Sida spinosa</i> L. | E 5950, 6417, 6692 |
| | <i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G. Don. | E 6421 |
| | <i>Sphaeralcea hastulata</i> A. Gray. | E 5961 |
| Nyctaginaceae | <i>Allionia incarnata</i> L. | E 5032, 6379, 6472 |
| | <i>Cyphomeris gypsophiloides</i> (M. Martens & Galeotti) Standl. | E 6013 |
| | <i>Mirabilis oblongifolia</i> (A. Gray) Heimerl. | E 6024 |
| Oleaceae | <i>Menodora coulteri</i> A. Gray. | E 6052, 6401 |
| Onagraceae | <i>Calylophus berlandieri</i> Spach. | E 5969 |
| | <i>Calylophus hartwegii</i> (Benth.) P.H. Raven. | E 5938, 6350, 6659 |
| | <i>Gaura calcicola</i> P.H. Raven & D.P. Greg. | E 5694 |
| | <i>Gaura coccinea</i> Pursh. | E 5954, 6355 |
| Ophioglossaceae | <i>Ophioglossum engelmannii</i> Prantl. | E 6359, 6450, 6647 |
| Orobanchaceae | <i>Castilleja sessiliflora</i> Pursh. | E 5698, 6425, 6460 |
| Phyllanthaceae | <i>Phyllanthus polygonoides</i> Nutt. ex Spreng. | E 6001 |
| Pinaceae | <i>Pinus cembroides</i> Zucc. | E 6531 |

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS |
|----------------|--|--|
| Plantaginaceae | <i>Mecardonia vandellioides</i> (Kunth) Pennell. | E 5980, 6387, 6452 |
| | <i>Penstemon lanceolatus</i> Benth. | E 6423 |
| Poaceae | <i>Achnatherum eminens</i> (Cav.) Barkworth. | E 5994, 6462 |
| | <i>Aristida adscensionis</i> L. | E 6058, 6471, 6489 |
| | <i>Aristida curvifolia</i> E. Fourn. | E 5982 |
| | <i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. | E 6448, 6644, 6660 |
| | <i>Aristida havardii</i> Vasey. | E 5026, E 5944, 6057, 6361, 6438, 6447 |
| | <i>Aristida pansa</i> Woot. & Standl. f. var. <i>pansa</i> . | E 5984, 5995, 6039, 6429 |
| | <i>Aristida purpurea</i> Nutt. var. <i>wrightii</i> (Nash) Allred. | E 5963, 6394 |
| | <i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter var. <i>barbinodis</i> . | E 5992 |
| | <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. var. <i>caespitosa</i> Gould & Kapadia. | E 5983, 5993, 6395, 6416, 6455, 6469, 6480, 6680, 6717 |
| | <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. var. <i>curtipendula</i> . | E 6063 |
| | <i>Bouteloua dactyloides</i> (Nutt.) Columbus. | E 5025, 5942, 6054, 6369, 6384, 6403, 6420 |
| | <i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths. | E 5943, 6011, 6386, 6449, 6470, 6482, 6662 |
| | <i>Bouteloua hirsuta</i> Lag. | E 6044, 6368, 6385, 6457 |
| | <i>Bouteloua uniflora</i> Vasey var. <i>uniflora</i> . | E 5941, 6038, 6413, 6428, 6686 |
| | <i>Bouteloua uniflora</i> Vasey var. <i>coahuilensis</i> Gould & Kapadia. | E 6040, 6383, 6427, 6481 |
| | <i>Disakisperma dubium</i> (Kunth) P.M. Peterson & N. Snow. | E 5971, 5988, 6400, 6456 |
| | <i>Elymus elymoides</i> (Raf.) Swezey. | E 6396, 6682 |
| | <i>Enneapogon desvauxii</i> P. Beauv. | E 6031, 6483, 6487, 6649, 6706 |
| | <i>Erioneuron avenaceum</i> (Kunth) Tateoka var. <i>avenaceum</i> . | E 5945, 6398, 6458, 6486, 6663, 6704 |
| | <i>Hilaria swallenii</i> Cory. | E 6030, 6478 |
| | <i>Hopia obtusa</i> (Kunth) Zuloaga & Morrone. | E 6375, 6681 |
| | <i>Muhlenbergia emersleyi</i> Vasey. | E 6062 |
| | <i>Muhlenbergia phleoides</i> (Kunth) Columbus. | E 6012, 6412, 6463 |
| | <i>Muhlenbergia rigida</i> (Kunth) Kunth. | E 6654, 6695 |
| | <i>Muhlenbergia tenuifolia</i> (Kunth) Kunth. | E 6464, 6674 |
| | <i>Muhlenbergia torreyi</i> (Kunth) Hitchc. ex Bush. | E 6673 |
| | <i>Muhlenbergia villiflora</i> Hitchc. | E 6154, 6696 |
| | <i>Munroa pulchella</i> (Kunth) L. D. Amarilla. | E 6488 |

| FAMILIA | NOMBRE CIENTÍFICO | EJEMPLARES COLECTADOS |
|-------------------------|--|--------------------------------|
| | <i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barkworth. | E 6407 |
| | <i>Panicum hallii</i> Vasey. | E 5985, 6411, 6687 |
| | <i>Sporobolus airoides</i> (Torr.) Torr. | E 6714 |
| | <i>Urochloa meziana</i> (Hitchc.) Morrone & Zuloaga. | E 6466 |
| Polemoniaceae | <i>Gilia incisa</i> Benth. | E 5957, 6351, 6670 |
| | <i>Loeselia greggii</i> S. Watson. | E 5989, 6433, 6677 |
| Portulacaceae | <i>Portulaca pilosa</i> L. | E 6045, 6419, 6652 |
| | <i>Talinum aurantiacum</i> Engelm. | E 6418 |
| Polygalaceae | <i>Polygala barbeyana</i> Chodat. | E 5976, 6390, 6667 |
| | <i>Polygala dolichocarpa</i> S.F. Blake. | E 5696 |
| | <i>Rhinotropis lindheimeri</i> (A. Gray) J.R. Abbott. | E 5695, 6405 |
| Polygonaceae | <i>Eriogonum atrorubens</i> Engelm var. <i>auritulum</i> W.J. Hess & Reveal. | E 6360, 6668 |
| Ranunculaceae | <i>Clematis drummondii</i> Torr. & A. Gray. | E 5946, 6533 |
| Rhamnaceae | <i>Condalia warnockii</i> M. C. Johnston. | E 6343 |
| Rubiaceae | <i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schlecht. | E 5932, 6422 |
| | <i>Crusea diversifolia</i> (Kunth) W.R. Anderson. | E 6014, 6461 |
| | <i>Hedyotis rubra</i> (Cav.) A. Gray. | E 5697, 6056, 6465, 6703, 6752 |
| | <i>Hedyotis palmeri</i> (A. Gray) W.H. Lewis. | E 5936, 6358, 6666 |
| Rutaceae | <i>Thamnosma texana</i> (A. Gray) Torr. | E 5699, 5948, 6432, 6459 |
| Scrophulariaceae | <i>Buddleja scordioides</i> Kunth. | E 5931, 6446, 6713 |
| Solanaceae | <i>Chamaesaracha coniodes</i> (Moric. ex Dunal) Britton. | E 6435 |
| | <i>Nicotiana trigonophylla</i> Dunal. | E 5972, 6338 |
| | <i>Physalis hederifolia</i> A. Gray. | E 6046, 6371 |
| | <i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav. | E 6023, 6408, 6537 |
| | <i>Solanum rostratum</i> Dunal. | E 6715 |
| Verbenaceae | <i>Glandularia bipinnatifida</i> (Nutt.) Nutt. | E 6201, 6426, 6690 |
| | <i>Verbena neomexicana</i> (A. Gray) Small. | E 5953, 6352, 6665 |
| Violaceae | <i>Hybanthus verticillatus</i> (Ortega) Baill. | E 6016 |
| Xanthorrhoeaceae | <i>Asphodelus fistulosus</i> L. | E 5955, 6382 |
| Zygophyllaceae | <i>Larrea tridentata</i> (DC.) Coville. | E 6051, 6345, 6707 |

Anexo 2. Variables ecológicas de las parcelas para el análisis de CCA

| Parcela | Altitud | pH | MO | P olsen | K | Ca | Mg | Na |
|---------|---------|------|------|---------|-----|------|------|------|
| 1 | 2263 | 7.86 | 6.80 | 21.2 | 474 | 4580 | 141 | 17.9 |
| 2 | 2266 | 8.04 | 6.39 | 14.9 | 251 | 4699 | 133 | 17.6 |
| 3 | 2231 | 7.96 | 7.45 | 18.7 | 339 | 4354 | 139 | 17.0 |
| 4 | 2235 | 8.07 | 5.95 | 23.4 | 308 | 4042 | 122 | 17.1 |
| 5 | 2213 | 8.11 | 4.92 | 16.9 | 243 | 4043 | 174 | 13.5 |
| 6 | 2220 | 8.10 | 6.06 | 24.0 | 355 | 3944 | 169 | 11.3 |
| 7 | 2194 | 8.23 | 2.82 | 20.4 | 263 | 3503 | 358 | 11.6 |
| 8 | 2198 | 8.09 | 5.24 | 24.1 | 196 | 3742 | 218 | 31.8 |
| 9 | 2171 | 8.12 | 5.95 | 18.8 | 569 | 4924 | 149 | 26.0 |
| 10 | 2180 | 8.11 | 3.30 | 15.7 | 297 | 4153 | 117 | 18.0 |
| 11 | 2131 | 8.06 | 6.59 | 21.3 | 538 | 4643 | 150 | 15.6 |
| 12 | 2138 | 8.10 | 4.68 | 15.3 | 262 | 3974 | 80.4 | 16.8 |
| 13 | 2109 | 8.10 | 5.13 | 16.8 | 249 | 4034 | 181 | 17.2 |
| 14 | 2115 | 8.07 | 6.64 | 15.8 | 343 | 4224 | 169 | 10.9 |
| 15 | 2102 | 8.22 | 4.50 | 13.8 | 233 | 3248 | 347 | 11.5 |
| 16 | 2105 | 8.12 | 6.19 | 22.3 | 251 | 4090 | 249 | 17.3 |

Anexo 3. Especies ubicadas en el diagrama de Análisis de Correspondencia Canónica

| Acrónimo utilizado | Nombre de la especie |
|--------------------|----------------------------------|
| Aca mon | <i>Acalypha monostachya</i> |
| Aca phl | <i>Acalypha phleoides</i> |
| All inc | <i>Allionia incarnata</i> |
| Amb con | <i>Ambrosia confertiflora</i> |
| Ano cri | <i>Anoda cristata</i> |
| Arg neo | <i>Argythamnia neomexicana</i> |
| Ari ads | <i>Aristida adscensionis</i> |
| Ari cur | <i>Aristida curvifolia</i> |
| Ari div | <i>Aristida divaricata</i> |
| Ari hav | <i>Aristida havardii</i> |
| Ari pan | <i>Aristida pansa</i> |
| Ari pur | <i>Aristida purpurea</i> |
| Asp fis | <i>Asphodelus fistulosus</i> |
| Ast hyp | <i>Astragalus hypoleucus</i> |
| Bac pte | <i>Baccharis pteronioides</i> |
| Bah abs | <i>Bahia absinthifolia</i> |
| Bot bar | <i>Bothriochloa barbinodis</i> |
| Bou cur | <i>Bouteloua cutipendula</i> |
| Bou dac | <i>Bouteloua dactyloides</i> |
| Bou gra | <i>Bouteloua gracilis</i> |
| Bou hir | <i>Bouteloua hirsuta</i> |
| Bou ter | <i>Bouvardia ternifolia</i> |
| Bou uni | <i>Bouteloua uniflora</i> |
| Bri ver | <i>Brickellia veronicifolia</i> |
| Bud sco | <i>Buddleja scordioides</i> |
| Cal ber | <i>Calylophus berlandieri</i> |
| Cal har | <i>Calylophus hartwegii</i> |
| Cas ses | <i>Castilleja sessiliflora</i> |
| Cha con | <i>Chamaesaracha coniodes</i> |
| Cha eri | <i>Chaetopappa ericoides</i> |
| Cle dru | <i>Clematis drummondii</i> |
| Cru div | <i>Crusea diversifolia</i> |
| Cyp gyp | <i>Cyphomeris gypsophiloides</i> |
| Cyp nig | <i>Cyperus niger</i> |
| Dal aur | <i>Dalea aurea</i> |
| Dal gre | <i>Dalea greggii</i> |

| Acrónimo utilizado | Nombre de la especie |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Dal lan | <i>Dalea laniceps</i> |
| Dal pog | <i>Dalea pogonathera</i> |
| Des pai | <i>Desmanthus painteri</i> |
| Dich arg | <i>Dichondra argentea</i> |
| Dis dub | <i>Disakisperma dubium</i> |
| Dys lin | <i>Dyschoriste linearis</i> |
| Dys pap | <i>Dyssodia papposa</i> |
| Dys pin | <i>Dyssodia pinnata</i> |
| Ech hor | <i>Echinocactus horizonthalonius</i> |
| Ech pec | <i>Echinocereus pectinatus</i> |
| Ech rei | <i>Echinocereus reichenbachii</i> |
| Ely imb | <i>Elytraria imbricata</i> |
| Enn des | <i>Enneapogon desvauxii</i> |
| Eri ave | <i>Erioneuron avenaceum</i> |
| Eup den | <i>Euphorbia dentata</i> |
| Eup exs | <i>Euphorbia exstipulata</i> |
| Eup ser | <i>Euphorbia serrula</i> |
| Evo ser | <i>Evolvulus sericeus</i> |
| Gau cocc | <i>Gaura coccinea</i> |
| Gil inc | <i>Gilia incisa</i> |
| Gla bip | <i>Glandularia bipinnatifida</i> |
| Hof wat | <i>Hoffmannseggia watsonii</i> |
| Hyb ver | <i>Hybanthus verticillatus</i> |
| Ipo cos | <i>Ipomoea costellata</i> |
| Ipo pur | <i>Ipomoea purpurea</i> |
| Loe gre | <i>Loeselia greggii</i> |
| Mam hey | <i>Mammillaria heyderi</i> |
| Mim biu | <i>Mimosa biuncifera</i> |
| Mir obl | <i>Mirabilis oblongifolia</i> |
| Muh phl | <i>Muhlenbergia phleoides</i> |
| Muh rig | <i>Muhlenbergia rigida</i> |
| Muh tor | <i>Muhlenbergia torreyi</i> |
| Muh vil | <i>Muhlenbergia villiflora</i> |
| Mun pul | <i>Munroa pulchella</i> |
| Nas ten | <i>Nassella tenuissima</i> |
| Ner lin | <i>Nerisyrenia linearifolia</i> |
| Oph eng | <i>Ophioglossum engelmannii</i> |
| Opu eng | <i>Opuntia engelmannii</i> |
| Pan hal | <i>Panicum hallii</i> |
| Par con | <i>Parthenium confertum</i> |

| Acrónimo utilizado | Nombre de la especie |
|---------------------------|--------------------------------|
| Par inc | <i>Parthenium incanum</i> |
| Phy arg | <i>Physaria argyraea</i> |
| Phy fen | <i>Physaria fendleri</i> |
| Phy hed | <i>Physalis hederifolia</i> |
| Pol bar | <i>Polygala barbeyana</i> |
| Pol dol | <i>Polygala dolichocarpa</i> |
| Por pil | <i>Portulaca pilosa</i> |
| Pro gla | <i>Prosopis glandulosa</i> |
| Rhu mic | <i>Rhus microphylla</i> |
| Rhyn sen | <i>Rhynchosia senna</i> |
| Sal bal | <i>Salvia ballotiflora</i> |
| Sal ref | <i>Salvia reflexa</i> |
| San ocy | <i>Sanvitalia ocymoides</i> |
| Sar cri | <i>Sarcostemma crispum</i> |
| Sch sub | <i>Schrankia subinermis</i> |
| Sen dem | <i>Senna demissa</i> |
| Sid abu | <i>Sida abutifolia</i> |
| Sid spi | <i>Sida spinosa</i> |
| Sol ela | <i>Solanum elaeagnifolium</i> |
| Tha tex | <i>Thamnosma texana</i> |
| Thy pen | <i>Thymophylla pentachaeta</i> |
| Thy set | <i>Thymophylla setifolia</i> |
| Tiq can | <i>Tiquilia canescens</i> |
| Tow mex | <i>Townsendia mexicana</i> |
| Tur beg | <i>Turbincarpus beguinii</i> |
| Uro mez | <i>Urochloa meziana</i> |
| Vac gla | <i>Vachellia glandulifera</i> |
| Ver hyp | <i>Verbesina hypomalaca</i> |
| Ver neo | <i>Verbena neomexicana</i> |
| Xan spi | <i>Xanthisma spinulosum</i> |
| Zin ace | <i>Zinnia acerosa</i> |

Anexo 4. Cobertura de especies muestreadas en la sierra zapalinamé

| Especies | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Bouteloua gracilis</i> | 5 | 4 | 0 | 3 | 5 | 6 | 6 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| <i>Erioneuron avenaceum</i> | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| <i>Muhlenbergia phleoides</i> | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <i>Sida abutifolia</i> | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| <i>Aristida pansa</i> | 0 | 0 | 7 | 6 | 4 | 5 | 4 | 4 | 7 | 6 | 2 | 0 | 4 | 0 | 3 | 4 |
| <i>Dichondra argentea</i> | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 2 | 5 | 4 |
| <i>Tiquilia canescens</i> | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| <i>Zinnia acerosa</i> | 0 | 2 | 4 | 4 | 3 | 0 | 4 | 4 | 3 | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| <i>Aristida havardii</i> | 4 | 0 | 2 | 2 | 4 | 5 | 0 | 4 | 2 | 0 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| <i>Acalypha monostachya</i> | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 0 | 3 | 4 |
| <i>Aristida divaricata</i> | 8 | 4 | 3 | 3 | 5 | 6 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Bouteloua curtipendula</i> | 3 | 0 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Bouteloua uniflora</i> | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 6 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| <i>Buddleja scordioides</i> | 2 | 4 | 5 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 3 | 3 | 0 |
| <i>Dyschoriste linearis</i> | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Bouteloua dactyloides</i> | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | 6 | 6 |
| <i>Baccharis pteronioides</i> | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| <i>Sanvitalia ocymoides</i> | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| <i>Disakisperma dubium</i> | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| <i>Dyssodia papposa</i> | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Loeselia greggii</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| <i>Argythamnia neomexicana</i> | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Thymophylla setifolia</i> | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Euphorbia serrula</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Thymophylla pentachaeta</i> | 1 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Verbena neomexicana</i> | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| <i>Prosopis glandulosa</i> | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 | 4 |
| <i>Crusea diversifolia</i> | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Euphorbia exstipulata</i> | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| <i>Bahia absinthifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Hou rub | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| <i>Dalea greggii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 5 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dalea pogonathera</i> | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| <i>Allionia incarnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Enneapogon desvauxii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| <i>Parthenium incanum</i> | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 |

| Especies | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Sida spinosa</i> | 2 | 0 | 2 | 3 | 2 | 0 | 3 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Bouvardia ternifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Physaria argyraea</i> | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Chaetopappa ericoides</i> | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Thamnosma texana</i> | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Evolvulus sericeus</i> | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Physaria fendleri</i> | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Salvia reflexa</i> | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Aristida curvifolia</i> | 0 | 0 | 3 | 2 | 5 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cyperus niger</i> | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Senna demissa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Townsendia mexicana</i> | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| <i>Euphorbia dentata</i> | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Mimosa biuncifera</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| <i>Panicum hallii</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ambrosia confertiflora</i> | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia torreyi</i> | 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| <i>Portulaca pilosa</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| <i>Aristida purpurea</i> | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ipomoea costellata</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Bouteloua hirsuta</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Elytraria imbricata</i> | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Polygala barbeyana</i> | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Asphodelus fistulosus</i> | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Bothriochloa barbinodis</i> | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calylophus berlandieri</i> | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Hybanthus verticillatus</i> | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Calylophus hartwegii</i> | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Desmanthus painteri</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Hoffmannseggia watsonii</i> | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Monarda citriodora</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| <i>Mirabilis oblongifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhinotropis lindheimeri</i> | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Solanum elaeagnifolium</i> | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Urochloa meziana</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Vachellia glandulifera</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Xanthisma spinulosum</i> | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Acalypha phleoides</i> | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dalea aurea</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |

| Species | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Dyssodia pinnata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Echinocactus horizonthalonius</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Gaura coccinea</i> | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Parthenium confertum</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Pseudognaphalium roseum</i> | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Aristida adscensionis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| <i>Castilleja sessiliflora</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Clematis drummondii</i> | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cyphomeris gypsophiloides</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Dalea laniceps</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Echinocereus pectinatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| <i>Ophioglossum engelmannii</i> | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Polygala dolichocarpa</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Astragalus hypoleucus</i> | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Echinocereus reichenbachii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Gilia incisa</i> | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Glandularia bipinnatifida</i> | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Mammillaria heyderi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| <i>Munroa pulchella</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| <i>Opuntia engelmannii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhus microphylla</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rhynchosia senna</i> | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sarcostemma crispum</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Turbinicarpus beguinii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Anoda cristata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Brickellia veronicifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Chamaesaracha coniodes</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia rigida</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia villiflora</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nerisyrenia linearifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Croton dioicus</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Salvia ballotiflora</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Schrankia subinermis</i> | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Nassella tenuissima</i> | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Physalis hederifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Verbesina hypomalaca</i> | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Achnatherum eminens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Baccharis pteronioides</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Especies | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Carex schiedeana</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cylindropuntia imbricata</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Echeandia flavescens</i> | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Erigeron pubescens</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Laennecia coulteri</i> | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia villiflora</i> | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Penstemon lanceolatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pomaria canescens</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Thelesperma simplicifolium</i> | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Bouvardia ternifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Hybanthus verticillatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Drymaria anomala</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Hopia obtusa</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Muhlenbergia emersleyi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Verbena neomexicana</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Phyllanthus polygonoides</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sphaeralcea angustifolia</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Synthlipsis greggii</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Talinum aurantiacum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Thelesperma megapotamicum</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Anexo 5. Análisis de varianza de las variables ecológicas del suelo.

| Ph | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|----------|----------|
| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
| Intercept | 1 | 3137.627 | 3137.627 | 31376268 | 0 |
| Sitios | 15 | 0.339 | 0.023 | 226 | 0 |
| Error | 32 | 0.003 | 0 | | |
| C.Total | 47 | 0.342 | | | |

| MO | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|----------|----------|
| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
| Intercept | 1 | 1472.2 | 1472.2 | 14721998 | 0 |
| Sitios | 15 | 72.538 | 4.836 | 48359 | 0 |
| Error | 32 | 0.003 | 0 | | |
| C.Total | 47 | 72.542 | | | |

| P | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|---------|----------|
| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
| Intercept | 1 | 17259.67 | 17259.67 | 1725967 | 0 |
| Sitios | 15 | 544.13 | 36.28 | 3628 | 0 |
| Error | 32 | 0.32 | 0.01 | | |
| C.Total | 47 | 544.45 | | | |

| K | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|---------|----------|
| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
| Intercept | 1 | 5013608 | 5013608 | 5013608 | 0 |
| Sitios | 15 | 557749 | 37183 | 37183 | 0 |
| Error | 32 | 32 | 1 | | |
| C.Total | 47 | 557781 | | | |

| Ca | | | | | |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|-----------|----------|
| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
| Intercept | 1 | 821633027 | 821633027 | 821633027 | 0 |
| Sitios | 15 | 8655628 | 577042 | 577042 | 0 |

| | | | |
|----------------|----|---------|---|
| Error | 32 | 32 | 1 |
| C.Total | 47 | 8655660 | |

Na

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
|------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | 1 | 13780.35 | 13780.35 | 1378035 | 0 |
| Sitios | 15 | 1336.98 | 89.13 | 8913 | 0 |
| Error | 32 | 0.32 | 0.01 | | |
| C.Total | 47 | 1337.3 | | | |

Mg

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
|------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | 1 | 1572926 | 1572926 | 1677415 | 0 |
| Sitios | 15 | 271716 | 18114 | 19318 | 0 |
| Error | 32 | 30 | 1 | | |
| C.Total | 47 | 271746 | | | |

N

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Media de los cuadrados | Razón F | Prob > F |
|------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | 1 | 5474.354 | 5474.354 | 965707.5 | 0 |
| Sitios | 15 | 265.554 | 17.704 | 3123 | 0 |
| Error | 32 | 0.181 | 0.006 | | |
| C.Total | 47 | 265.735 | | | |

Anexo 6. Prueba de HSD de Tukey de las diferencias de medias de mínimos cuadrados de las variables del suelo del zacatal.

| pH | | |
|---------|-------|----------------------------|
| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
| 7 | A | 8.23 |
| 15 | A | 8.22 |
| 9 | B | 8.12 |
| 16 | B | 8.12 |
| 5 | B | 8.11 |
| 10 | B | 8.11 |
| 6 | B C | 8.10 |
| 12 | B C | 8.10 |
| 13 | B C | 8.10 |
| 8 | B C D | 8.09 |
| 4 | C D E | 8.07 |
| 14 | C D E | 8.07 |
| 11 | D E | 8.06 |
| 2 | E | 8.04 |
| 3 | F | 7.96 |
| 1 | G | 7.86 |

| MO | | |
|---------|---|----------------------------|
| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
| 3 | A | 7.45 |
| 1 | B | 6.80 |
| 14 | C | 6.64 |
| 11 | D | 6.59 |
| 2 | E | 6.39 |
| 16 | F | 6.19 |
| 6 | G | 6.06 |
| 4 | H | 5.95 |
| 9 | H | 5.95 |
| 8 | I | 5.24 |
| 13 | J | 5.13 |
| 5 | K | 4.92 |

| | | | |
|----|--|---|------|
| 12 | | L | 4.68 |
| 15 | | M | 4.50 |
| 10 | | N | 3.30 |
| 7 | | O | 2.82 |

P

| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
|---------|---|----------------------------|
| 8 | A | 24.1 |
| 6 | A | 24.0 |
| 4 | B | 23.4 |
| 16 | C | 22.3 |
| 11 | D | 21.3 |
| 1 | D | 21.2 |
| 7 | E | 20.4 |
| 9 | F | 18.8 |
| 3 | F | 18.7 |
| 5 | G | 16.9 |
| 13 | G | 16.8 |
| 14 | H | 15.8 |
| 10 | H | 15.7 |
| 12 | I | 15.3 |
| 2 | J | 14.9 |
| 15 | K | 13.8 |

K

| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
|---------|---|----------------------------|
| 9 | A | 569 |
| 11 | B | 538 |
| 1 | C | 474 |
| 6 | D | 355 |
| 14 | E | 343 |
| 3 | F | 339 |
| 4 | G | 308 |
| 10 | H | 297 |
| 7 | I | 263 |
| 12 | I | 262 |
| 16 | J | 251 |

| | | |
|----|---|-----|
| 2 | J | 251 |
| 13 | J | 249 |
| 5 | K | 243 |
| 15 | L | 233 |
| 8 | M | 196 |

| Ca | | |
|---------|---|----------------------------|
| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
| 9 | A | 4924 |
| 2 | B | 4699 |
| 11 | C | 4643 |
| 1 | D | 4580 |
| 3 | E | 4354 |
| 14 | F | 4224 |
| 10 | G | 4153 |
| 16 | H | 4090 |
| 5 | I | 4043 |
| 4 | I | 4042 |
| 13 | J | 4034 |
| 12 | K | 3974 |
| 6 | L | 3944 |
| 8 | M | 3742 |
| 7 | N | 3503 |
| 15 | O | 3248 |

| Mg | | |
|---------|---|----------------------------|
| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
| 7 | A | 358 |
| 15 | B | 347 |
| 16 | C | 249 |
| 8 | D | 218 |
| 13 | E | 181 |
| 5 | F | 174 |
| 6 | G | 169 |
| 14 | G | 169 |

| | | | |
|----|--|---|----------|
| 11 | | H | 150 |
| 9 | | H | 149 |
| 1 | | I | 141 |
| 3 | | I | 139 |
| 2 | | J | 133 |
| 4 | | K | 122 |
| 10 | | L | 117 |
| 12 | | M | 80.36667 |

Na

| Parcela | | Media de mínimos cuadrados |
|---------|-----|----------------------------|
| 8 | A | 31.8 |
| 9 | B | 26.0 |
| 10 | C | 18.0 |
| 1 | C D | 17.9 |
| 2 | D E | 17.6 |
| 16 | E F | 17.3 |
| 13 | F | 17.2 |
| 4 | F G | 17.1 |
| 3 | F G | 17.0 |
| 12 | G | 16.8 |
| 11 | H | 15.6 |
| 5 | I | 13.5 |
| 7 | J | 11.6 |
| 15 | J | 11.5 |
| 6 | J | 11.3 |
| 14 | K | 10.9 |

N-NO₃

| Nivel | | Media de mínimos cuadrados |
|-------|---|----------------------------|
| 4 | A | 13.9 |
| 11 | B | 13.6 |
| 2 | C | 12.9 |
| 12 | D | 12.6 |
| 14 | D | 12.6 |
| 3 | D | 12.5 |
| 6 | E | 11.8 |
| 9 | E | 11.8 |

| | | |
|----|---|------|
| 16 | F | 11.4 |
| 5 | G | 9.86 |
| 7 | G | 9.86 |
| 1 | H | 8.33 |
| 10 | H | 8.33 |
| 15 | I | 7.78 |
| 13 | J | 7.08 |
| 8 | K | 6.53 |

Anexo 7. Micronutrientes del Zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé.

| Parcelas | Zn (ppm) zinc | Mn (ppm) manganeso | Cu (ppm) cobre | B (ppm) boro | S (ppm) azufre |
|--------------|---------------|--------------------|----------------|--------------|----------------|
| 1 | 1.24 | 8.76 | 0.47 | 1.38 | 1.54 |
| 2 | 2.44 | 9.27 | 0.42 | 1.41 | 1.54 |
| 3 | 1.37 | 10.7 | 0.34 | 1.72 | 1.54 |
| 4 | 1.69 | 14.6 | 0.42 | 1.37 | 1.54 |
| 5 | 1.59 | 7.80 | 0.31 | 1.45 | 1.54 |
| 6 | 1.98 | 8.67 | 0.33 | 1.44 | 3.09 |
| 7 | 0.60 | 8.52 | 0.34 | 1.10 | 1.54 |
| 8 | 1.54 | 9.12 | 0.23 | 1.16 | 4.63 |
| 9 | 1.80 | 10.4 | 0.51 | 1.61 | 1.54 |
| 10 | 0.36 | 6.63 | 0.41 | 1.32 | 1.54 |
| 11 | 2.43 | 10.0 | 0.45 | 1.73 | 3.09 |
| 12 | 1.13 | 8.05 | 0.43 | 1.75 | 3.09 |
| 13 | 1.07 | 7.98 | 0.33 | 1.29 | 1.54 |
| 14 | 2.58 | 10.5 | 0.36 | 1.65 | 3.09 |
| 15 | 0.29 | 5.56 | 0.27 | 0.91 | 1.54 |
| 16 | 2.96 | 11.8 | 0.29 | 1.52 | 3.09 |
| Prom. | 1.6 | 9.3 | 0.4 | 1.4 | 2.2 |

Anexo 8. Cationes Intercambiables Gráfico Basado en porcentaje de Saturación del zacatal semidesértico de la Sierra de Zapalinamé.

| | Ca (%Sat) | Ca (meq/ 100g) | Mg (% Sat) | Mg (meq/ 100g) | K (% Sat) | K (meq/ 100g) | Na (% Sat) | Na (meq/ 100g) | CIC (meq/ 100g) |
|--------------|--------------|----------------------|------------------|----------------------|--------------|---------------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 90.2 | 22.9 | 4.57 | 1.16 | 4.76 | 1.21 | 0.31 | 0.08 | 25.4 |
| 2 | 92.9 | 23.5 | 4.31 | 1.09 | 2.53 | 0.64 | 0.32 | 0.08 | 25.3 |
| 3 | 91.2 | 21.7 | 4.79 | 1.14 | 3.66 | 0.87 | 0.29 | 0.07 | 23.8 |
| 4 | 91.4 | 20.2 | 4.52 | 1.00 | 3.57 | 0.79 | 0.32 | 0.07 | 22.1 |
| 5 | 90.6 | 20.2 | 6.41 | 1.43 | 2.78 | 0.62 | 0.27 | 0.06 | 22.3 |
| 6 | 89.1 | 19.7 | 6.29 | 1.39 | 4.12 | 0.91 | 0.23 | 0.05 | 22.1 |
| 7 | 82.5 | 17.5 | 13.9 | 2.95 | 3.16 | 0.67 | 0.24 | 0.05 | 21.2 |
| 8 | 88.6 | 18.7 | 8.48 | 1.79 | 2.37 | 0.5 | 0.66 | 0.14 | 21.1 |
| 9 | 89.8 | 24.6 | 4.49 | 1.23 | 5.29 | 1.45 | 0.40 | 0.11 | 27.4 |
| 10 | 92.0 | 20.7 | 4.27 | 0.96 | 3.38 | 0.76 | 0.36 | 0.08 | 22.5 |
| 11 | 89.6 | 23.2 | 4.79 | 1.24 | 5.33 | 1.38 | 0.27 | 0.07 | 25.9 |
| 12 | 93.4 | 19.8 | 3.11 | 0.66 | 3.16 | 0.67 | 0.33 | 0.07 | 21.2 |
| 13 | 90.1 | 20.1 | 6.68 | 1.49 | 2.87 | 0.64 | 0.31 | 0.07 | 22.3 |
| 14 | 90.2 | 21.1 | 5.94 | 1.39 | 3.76 | 0.88 | 0.21 | 0.05 | 23.4 |
| 15 | 82.2 | 16.2 | 14.5 | 2.86 | 3.05 | 0.60 | 0.25 | 0.05 | 19.7 |
| 16 | 87.9 | 20.4 | 8.84 | 2.05 | 2.76 | 0.64 | 0.34 | 0.08 | 23.2 |
| Prom. | 89.5 | 20.7 | 6.6 | 1.5 | 3.5 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 23.1 |
| D. E. | 3.14 | 2.19 | 3.33 | 0.64 | 0.92 | 0.28 | 0.10 | 0.02 | 2.04 |