

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



Efecto del pastoreo en la estructura y composición florística en un bosque de  
*Pinus cembroides* Zucc. en el sureste de Coahuila, México

Por:

**CARLOS DANIEL NIEVES PRADO**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de**

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Efecto del pastoreo en la estructura y composición florística en un bosque de  
*Pinus cembroides* Zucc. en el sureste de Coahuila, México

POR:

**CARLOS DANIEL NIEVES PRADO**

TESIS

Que 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. Eduardo Alberto Lara Reimers

Coasesor



Dr. Juan Antonio Núñez Colima

Coasesor

  
Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2022

## **DEDICATORIA**

*A MIS PADRES*

*Leticia Prado Ramírez y J. Ciro Juan Nieves Hernández.*

*Porque nunca faltó el amor y el apoyo bajo su techo y a distancia.*

*A MIS HERMANOS Y SOBRINOS*

*Por el apoyo y los buenos momentos que hemos pasado juntos.*

*Para ustedes, con todo mi amor.*

## AGRADECIMIENTOS

A la **vida**, que me ha dado tanto.

A mi “**Alma Terra Mater**” **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por permitirme formarme como profesionista y crecer como persona. Además de haber conocido en sus instalaciones a personas que valoro mucho y que recordaré por el resto de mi vida. Por brindarme sus instalaciones en las que muchas veces reí y lloré.

A mi asesor, el **Dr. Juan Antonio Encina Domínguez** por sus enseñanzas desde el momento en el que lo conocí, por su apoyo para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Eduardo Alberto Lara Reimers** por ampliar mi visión del mundo y de la vida, por su apoyo para en mi desempeño profesional y personal.

Al **Dr. Juan Antonio Núñez Colima** por su apoyo y enseñanzas, por motivarme a descubrir nuevos horizontes.

A mis **maestros y maestras** por compartirme sus conocimientos durante mi estancia en esta gloriosa universidad.

A **La Rondalla de Saltillo de la UAAAN** por las amistades que me brindó, por los viajes, por aceptarme en su fila y dejarme sentir la sensación de tocar con la mejor rondalla del mundo.

## A MI FAMILIA

A mis padres, **Leticia Prado Ramírez** y **J. Ciro Juan Nieves Hernández** por darme la vida y por sus enseñanzas para disfrutarla y afrontar los problemas que se presentan en la misma. Por su amor y apoyo desde que tengo uso de razón y por ser mi mayor inspiración para crecer en todos los sentidos. Por el esfuerzo de sus manos para elaborar pantalones, playeras, tamales y atole que son los productos por los cuales hemos salido adelante. Gracias por enseñarme a trabajar, estoy orgulloso de ser su hijo. Los amo hasta el infinito y más allá.

A mis hermanos **Julio Cesar, Luis Alberto, Juan José** y **Lupita**, por su apoyo y buenas aventuras desde siempre. Por apoyarme en todos mis proyectos musicales, académicos y de viajes. Siempre han sido mi inspiración para todo, sin ustedes mi mundo sería triste, gracias por llevarme por la vía del graffiti, skateboarding y la música.

A mis **sobrinos, sobrinas** y **cuñadas**, porque sean otro parentesco siempre los veré como mis hermanos menores. Por su apoyo y momentos divertidos.

A mi abuelita **Conchita**, por ser la mejor abuelita del mundo hacer mi infancia y mi juventud llena de amor e historias. Un beso hasta el cielo.

A mis tías **Esther, Gabriela, Socorro** y **Concepción** por su apoyo y cariño durante toda mi vida.

A mis **primos** y **primas**, en especial a **Damián Prado, Luis Prado** y **Jesús Prado** por su apoyo y buenos ratos de descontrol.

## A MIS AMIGOS

A mis amigos de los crew's **NAD, SCK, ZR y DAT CRIMINAL'S** por su apoyo, motivación y los buenos tiempos que vivimos en nuestra adolescencia.

A mis amigos del alma **Fernando Daniel Gutiérrez, Mario Eduardo Moreno, Bruno Basaldúa, Jacob Sánchez, Francisco González, Damián Prado y Carlos Montes**, por hacer mi infancia y adolescencia divertida y llena de aventuras. La infancia y la adolescencia son eternas mientras duran.

A **Joel Pájaro, Fernando Aldarán e Hiram Molina, Rafael Valencia** por su apoyo en clases, por las noches de cena y Malcolm in the Middle en el internado de la Narro, por las buenas fiestas en Saltillo.

A mis queridos amigos de **“La Casa Verde”**, por alegrar mi vida después de una vida solitaria en Saltillo.

A **Jorge Salazar y Martha Ugalde** por recibirme cuando llegué a Saltillo, por sus enseñanzas en la zootecnia al momento de llegar a esta gloriosa universidad.

A todo el personal de **CONANP y a los habitantes de las ANP Maderas del Carmen y Ocampo**, por sus enseñanzas en el manejo y conservación de Recursos Naturales, por los buenos momentos conviviendo en los ejidos y en Múzquiz, Coahuila.

A la familia **Barrón Zúñiga**, por su apoyo y amistad incondicional.

A **Doña Adelita, Héctor Rodríguez “El Abuelo” y Don Carlos**, por sus enseñanzas de la vida.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Concepto de Pastizal .....	4
2.2 Importancia ecológica y económica de los pastizales .....	4
2.3 Sobrepastoreo en pastizales de México .....	4
2.4 Exclusión del pastoreo en pastizales.....	5
2.5 Situación actual de los pastizales en la Sierra de Zapalinamé.....	6
2.6 Bosque de pino piñonero en la Sierra de Zapalinamé. ....	6
2.7 Plantas epífitas .....	7
2.8 <i>Tillandsia recurvata</i> .....	7
2.8.1 Ecología .....	7
2.9 <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	8
2.9.1 Características morfológicas.....	9
2.9.2 Ecología .....	10
2.10 Conservación del bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	11
2.11 Manejo y pastoreo en bosques de clima templado semiseco.....	12
2.12 Estructura del Bosque de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. de la sierra de Zapalinamé.....	12
2.13 Distribución espacial de árboles dentro de comunidades boscosas.....	13
2.14 Restauración ecológica .....	14
2.15 Restauración pasiva .....	14
2.16 Barreras que impiden la restauración ecológica .....	14
2.16.1 Fase de dispersión.....	15

2.16.2 Fase de establecimiento .....	17
2.17 Riqueza y diversidad de especies.....	18
2. 18 Análisis de correspondencia desprovisto de tendencia.....	19
<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 Área de Estudio.....	20
3.2 Diseño de muestreo.....	22
3.3 Análisis estadístico .....	24
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
5.1 Composición florística del bosque de <i>P. cembroides</i> en la Sierra de Zapalinamé. ..	36
5.2 Impacto del pastoreo en la estructura y composición florística. ....	36
5.3 Características químicas del suelo en los bosques estudiados. ....	38
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>41</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>53</b>



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sitios de muestreo en la zona de estudio de la sierra de Zapalinamé.....	<b>21</b>
<b>Figura 2.</b> Área basal (a) y densidad (b) de especies arbóreas en parcelas de control y parcelas de pastoreo de exclusión.....	<b>28</b>
<b>Figura 3.</b> Plántulas de especies arbóreas.....	<b>31</b>
<b>Figura 4.</b> DCA que muestra 163 especies leñosas del bosque de pino piñonero en el noreste de México.....	<b>34</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Información abiótica general de parcelas de control experimentales vs. parcelas excluidas. ....	<b>27</b>
<b>Cuadro 2.</b> Características del hábitat entre ambos sitios. ....	<b>30</b>
<b>Cuadro 3.</b> Características bióticas (900 m <sup>2</sup> ) de las parcelas (media y desviación estándar). ....	<b>32</b>
<b>Cuadro 4.</b> Variables ambientales y de contenido de nutrientes medidas en parcelas de exclusión y parcelas de control (media y desviación estándar). ....	<b>32</b>
<b>Cuadro 5.</b> Resultados del análisis espacial univariante de la función K1 (t) de Ripley para árboles de <i>Pinus cembroides</i> en las 16 parcelas hasta 8 m. ....	<b>35</b>

## RESUMEN

La Sierra de Zapalinamé es un Área Natural Protegida decretada en 1996 por el gobierno de Coahuila, se ubica en la zona de transición entre la Sierra Madre Oriental y Altiplanicie, zonas de bosques templados y matorrales desérticos se distribuyen a lo largo de esta área. Los bosques se ven afectados por disturbios como las talas, incendios y pastoreo, los cuales tienden a modificar la estructura y composición del ecosistema. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos del pastoreo sobre la estructura, riqueza y diversidad de especies en un bosque de *P. cembroides*. Se estableció un total de 16 parcelas de 900 m<sup>2</sup> cada una, con una distancia de 100 entre parcela, ocho parcelas en un sitio que ha sido pastoreado en los últimos 100 años y ocho en un sitio con exclusión de pastoreo en los últimos 25 años. Se realizó la medición de altura, pendiente y cobertura estimada del dosel del rodal utilizando un densiómetro de corona esférica convexa y mediante un estadístico t permutacional unidireccional se utilizó para comparar variables ambientales y la cubierta de dosel. Se utilizó el método univariante K 1 (t) para calcular la distribución espacial de los árboles. Mediante la estimación visual se calculó el porcentaje de infestación de *Tillandsia recurvata* en *P. cembroides*. Además, se tomaron muestras de suelo para analizar los factores químicos y físicos. Para el cálculo de área basal y densidad de árboles se realizó un análisis de correspondencia sin tendencia utilizando el paquete de software CANOCO versión 4.5. El número de especies arbóreas difirieron significativamente, donde se encontraron valores más altos en las áreas de exclusión. No se encontraron diferencias en la distribución de árboles entre áreas de pastoreo y áreas de exclusión. En cuanto a composición de especies, se encontraron cinco especies de árboles jóvenes en parcelas de exclusión, mientras que en áreas de pastoreo sólo se encontraron tres especies de árboles jóvenes. Respecto a plántulas, se presentaron tres especies en ambas áreas. Se registró mayor infestación de *T. recurvata* en *P. cembroides* en áreas de control. La diversidad y riqueza de especies, la distribución espacial del arbolado y la infestación de *Tillandsia recurvata* en *P. cembroides* se ven influenciadas por el pastoreo en el área estudiada.

**Palabras clave:** Pastoreo, áreas de exclusión, *Tillandsia recurvata*, densidad, cobertura.

## ABSTRACT

The Sierra of Zapalinamé is a Protected Natural Area decreed in 1996 by the government of Coahuila, it is located in the transition zone between the Sierra Madre Oriental and Altiplanicie, areas of temperate forests and desert scrub are distributed throughout this area. Forests are affected by disturbances such as logging, fires and grazing, which tend to modify the structure and composition of the ecosystem. The objective of this study was to determine the effects of grazing on the structure, richness and diversity of species in a *P. cembroides* forest. A total of 16 plots of 900 m<sup>2</sup> each are established, with a distance of 100 between plots, eight plots in a site that has been grazed in the last 100 years and eight in a site with exclusion of grazing in the last 25 years. The height, slope and estimated cover of the stand canopy were measured using a convex spherical crown densiometer and modified by means of a unidirectional permutational t-statistic to compare environmental variables and canopy cover. The univariate method K 1 (t) is suggested to calculate the spatial distribution of trees. Through visual estimation, the percentage of infestation of *Tillandsia recurvata* in *P. cembroides* was calculated. In addition, soil samples were taken to analyze chemical and physical factors. For the calculation of basal area and tree density, a correspondence analysis without trend was performed using the CANOCO 4.5 software package. The number of tree species differed significantly, where higher values were found in the exclusion areas. No differences were found in tree distribution between grazing areas and exclusion areas. Regarding species composition, five species of young trees were found in exclusion plots, while only three species of young trees were found in grazing areas. Regarding the seedlings, three species were presented in both areas. A greater infestation of *T. recurvata* occurred in *P. cembroides* in control areas. The diversity and richness of species, the spatial distribution of trees and the infestation of *Tillandsia recurvata* in *P. cembroides* are influenced by grazing in the study area.

**Keywords:** Grazing, exclusion areas, *Tillandsia recurvata*, density, coverage.

## I. INTRODUCCIÓN

En México, *Pinus cembroides* Zucc. se distribuye por casi todo el norte y centro del país (Rzedowski, 2006; Luna *et al.* 2008) ocupando grandes regiones en la Sierra Madre Oriental. La especie es fundamental en la economía local al tener varios usos: postes, ornamento, muebles, piñón, y se usa en reforestaciones por su resistencia a la sequía.

La Sierra de Zapalinamé se ubica en la zona de transición entre la Sierra Madre Oriental y Altiplanicie, donde converge con zonas bosques templados y matorrales desérticos (UAAAN, 1998). En zonas de clima húmedo y subhúmedo la vegetación clímax por lo general no corresponde al pastizal, pero el hombre ha tratado de inducirlo y mantenerlo con fines pecuarios. Sin embargo, los pastizales de este tipo en muchas ocasiones también sufren sobrepastoreo, y los pastizales derivados de bosques de *Pinus* y *Quercus* que prosperan sobre laderas inclinadas, no siempre protegen el suelo eficientemente (Rzedowski, 2006; Granados *et al.*, 2012). Además, algunas veces el pastizal antropógeno no forma parte de ninguna serie de sucesión de comunidades, pero se establecen y perduran por efecto de disturbios ejercidos por talas, incendios, pastoreo o algún factor natural, estos pastizales suelen prosperar una vez destruidos los bosques de *Pinus* y *Quercus*. En altitudes superiores a 2,800 m las comunidades secundarias se forman por gramíneas altas que crecen en extensos macollos y los géneros con mayor importancia pecuaria son *Calamagostis*, *Festuca*, *Muhlenbergia* y *Stipa* (Arguedas, 2005; Rzedowski, 2006).

Las áreas en las cuales la cubierta vegetal está cubierta por gramíneas son de gran importancia económica, ya que son un área propicia para el aprovechamiento pecuario, el aprovechamiento de los pastizales naturales de México en la mayor parte de los casos no es óptimo y la falta de organización y técnica adecuada provoca un sobrepastoreo y pisoteo excesivo, el cual no permite obtener el óptimo desarrollo de las especies apetecidas por el ganado, provocando que se establezcan plantas que el ganado no consume y que en algunos casos son venenosas y reducen la cobertura vegetal exponiendo el suelo a efectos de erosión (Hobbs y Huenneke, 1992; Steffens *et al.*, 2008; Rzedowski, 2006).

Por otra parte, los bosques de coníferas son frecuentes en las zonas de clima templado y frío del hemisferio boreal presentándose en sectores del territorio de México desde el nivel del mar en zonas muy calurosas hasta el límite de la vegetación arbórea, prosperando en regiones de clima semiárido, semihúmedo y varios en condiciones edáficas especiales y se desarrollan en áreas cubiertas por rocas ígneas, tanto antiguas como recientes (Armentrout y Pieper, 1988; Richardson, 1998; Rzedowski, 2006).

De acuerdo con Flores *et al.* (1971), el conjunto de los bosques de ocupa cerca del 15% del territorio del país y más del 90% de esta superficie corresponde a bosques de *Pinus* o de *Pinus* y *Quercus*. Los bosques de *Pinus cembroides* y de otros piñoneros prosperan en sitios en que llueve solamente 350 mm en promedio anual, concentrados prácticamente e 5 meses. En México la especie de *P. cembroides* es la que presenta mayor distribución, ya que se extiende por gran parte del norte y centro del país (Rojas-Mendoza 1965; Rzedowski, 1966; McVaugh, 1952; Ramos y González-Medrano, 1972).

Las semillas de *P. cembroides* tienen importancia económica, ya que son objeto de recolección y comercio, y raramente la madera de *Pinus* se usa como combustible. Sin embargo, el “ocoteo” que consiste en la obtención de rajadas de madera impregnada de resina con la que se enciende el fuego, principalmente en las cocinas. Esta actividad es la principal causa de serias deforestaciones clandestinas (Rzedowski, 2006; Luna-Cavazos *et al.*, 2008; Carrillo, 2009).

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto del pastoreo en la estructura, riqueza y diversidad de especies en el bosque de *Pinus cembroides* de la sierra de Zapalinamé, en el sureste de Coahuila.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar la estructura, diversidad y riqueza de especies de plantas del bosque de *Pinus* bajo los efectos de pastoreo y efectos de exclusión de pastoreo.

Determinar las propiedades físico-químicas que caracterizan al suelo del bosque posterior a la exclusión de pastoreo.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Concepto de Pastizal**

Las comunidades vegetales donde predominan las gramíneas se les conoce como con el nombre de pastizal (Rzedowski, 2006). De acuerdo con Stoddart *et al.* (1975), los pastizales son áreas que por limitaciones físicas (precipitación, topografía rugosa, drenaje deficiente, pobre y temperaturas bajas), no son aptas para el cultivo y que constituyen una fuente de forraje para el pastoreo extensivo de animales domésticos y fauna silvestre, del mismo modo son fuente de productos maderables, forestales, agua y vida silvestre, y producen otros valores tales como la recreación, la caza y paisajismo.

### **2.2 Importancia ecológica y económica de los pastizales**

Los pastizales sirven como áreas productivas para la fauna, microfauna, uso recreacional, y para el pastoreo de ganado, así como líneas divisorias de las aguas. (Gurrola-Reyes, 2007). Desde el punto de vista económico los pastizales son de suma importancia, pues constituyen el medio natural más apto para la explotación pecuaria con especies como bovinos, caprinos, equinos y ovinos. Aunque las preferencias nutritivas de caprinos y ovinos tienen a concentrarse en otros tipos de vegetación (Rzedowski, 2006).

Los pastizales del norte de México eran fuente de gran riqueza para las haciendas que se dedicaban a la ganadería a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX y tras el reparto agrario las mejores áreas de pastizal se establecieron áreas agrícolas para cultivo de maíz de temporal (Shreve, 1942), iniciando la actividad agrícola en el área de estudio desde finales del siglo XIX (Favret-Tondato, 2013).

### **2.3 Sobrepastoreo en pastizales de México**

El aprovechamiento de los pastizales naturales en México en muchos casos no es óptimo y a falta de un buen manejo de pastizales se causa un sobrepastoreo que no permite obtener el



máximo rendimiento y cada vez son más vulnerables debido al pastoreo no planificado, apertura de áreas agrícolas, invasión de especies exóticas, así como la sequía que está ocasionando su disminución (Rzedowski, 2006). El sobrepastoreo es común en muchas comunidades de plantas, lo que aumenta los riesgos de erosión, degradación e invasión de plantas (Encina-Domínguez *et al.*, 2014).

De acuerdo con Rzedowski (2006), los pastizales generalmente son de altura media (20 a 70 cm), aunque, a causa del intenso pastoreo se mantienen en alturas más bajas. El sobrepastoreo y el pisoteo excesivo impiden el crecimiento y desarrollo de plantas apetecidas por el ganado, propiciando el establecimiento de plantas que los animales no comen, y que a menudo son venenosas y reducen la cobertura del suelo exponiéndolo a erosión (Rzedowski, 2006).

#### **2.4 Exclusión del pastoreo en pastizales**

La exclusión del pastoreo es parte del manejo de pastizales, a través del cual se excluye el pastoreo del ganado y tiene como objetivo restaurar la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo, permitiendo que la comunidad vegetal entre en un estado de auto recuperación (Lunt *et al.*, 2007). En pastizales con baja productividad, la exclusión del pastoreo generalmente tiene efectos positivos sobre la diversidad de especies (Cheng *et al.* 2011), 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). Sin embargo, 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). Así, en un estudio en el noroeste de China 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 *et al.*, 2015). Estos mismos resultados se registraron después de cinco años en una zona árida al norte de China (Rong *et al.*, 2014).

## 2.5 Situación actual de los pastizales en la Sierra de Zapalinamé

De acuerdo con Encina-Domínguez (2017), el pastizal se distribuye en los valles al sur y sureste del cerro de Los Elotes, además de áreas cercanas al ejido El Recreo y Jagüey de Ferniza al sur del macizo montañoso y se presenta en altitudes entre 1,850 y 2,350 m. El pastizal ha sido fragmentado por el cambio de uso de suelo que va de pastizal a áreas agrícolas. Las especies dominantes tienen alturas de 10 a 50 cm y las más comunes son *Bouteloua dactyloides*, *B. gracilis* y *B. uniflora*. Además de *Aristida havardii* con arbustos y árboles bajos aislados inermes y espinosos. La riqueza de especies herbáceas se incrementa en la estación lluviosa, donde son predominantes las familias Asteraceae y Fabaceae. Son frecuentes algunas especies como *Asphodelus fistulosus*, así como arbustos de *Buddleja scordioides* y *Prosopis glandulosa*.

## 2.6 Bosque de pino piñonero en la Sierra de Zapalinamé.

De acuerdo con Encina-Domínguez (2017) esta comunidad se distribuye en altitudes de 2,150 a 2,650 m, en valles intermontanos con suelos profundos y laderas bajas con poca pendiente, se presenta en la transición entre el Desierto Chihuahuense y los bosques de clima templado frío de la Sierra Madre Oriental.

Es el bosque de mayor abundancia en la Sierra de Zapalinamé. Los árboles de *Pinus cembroides* presentan un diámetro medio de 25 cm y una altura de 8 m y en lugares con mayor altitud se presentan árboles aislados de *P. arizonica* var. *stormiae*. En algunas áreas los árboles presentan sobre sus ramas abundantes epífitas como *Tillandsia recurvata* y con menor proporción *Tillandsia usneoides*.

En laderas medias con exposición norte y noroeste el bosque presenta un dosel abierto y se asocia con el chaparral montano, en laderas más secas con exposición sur se infiltran especies de afinidad xérica, comunes en el matorral desértico rosetófilo.

El estrato arbustivo está integrado por especies que crecen aisladas, las más frecuentes son *Arbutus xalapensis*, *Juniperus deppeana*, además de *Agave gentryi* y *Yucca carnerosana*.

En áreas cercanas al ejido Cuauhtémoc, el estrato arbustivo está dominado por *Prunus cercocarpifolia*, especie endémica para el Sureste de Coahuila, además de *Quercus pringlei*. El estrato herbáceo está dominado por *Bouteloua dactyloides*, *Piptochaetium fimbriatum*, *Psacalium peltatum*, *Stevia ovata*, *Tagetes lucida* y *Vernonia greggii*. En áreas con disturbio es común *Asphodelus fistulosus* y *Gymnosperma glutinosum*.

## 2.7 Plantas epífitas

Las plantas han desarrollado algunas estrategias entre las que se encuentran las diferentes formas de vida, debido a las diversas condiciones ambientales en que viven (Ceja-Romero, *et. al.*, 2008).

De acuerdo con Granados-Sánchez (2003), las epífitas son plantas que crecen sobre otras plantas adheridas a los troncos y ramas de árboles y arbustos principalmente. El término epífito deriva del griego *epi*, arriba, y *phyto*, planta, lo que nos indica que son plantas que crecen encima de otras, nombradas forofito. El forofito es utilizado sólo como soporte sin recibir más daño que el que pueda provocar su abundancia dentro de su ramaje; por tanto, una epífita difiere de una planta parásita en que esta última obtiene agua y nutrientes del hospedero.

## 2.8 *Tillandsia recurvata*

*Tillandsia recurvata* es una epífita de la familia Bromeliaceae, la cual incluye más de 500 especies en el Continente Americano (García-Azpeitia, 2018).

### 2.8.1 Ecología

**Hábitat:** Crece en ecosistemas de clima templado-frío con alta humedad relativa. *T. recurvata* es capaz de sobrevivir a temperaturas en un rango de -1°C a 32 °C.

**Hospederos:** *Tillandsia recurvata* puede habitar en distintos tipos de vegetación, ya sea, que esta siga latente o inerte, porque esta únicamente lo requiere para sostén, puede afectar a

distintos tipos de árboles y arbustos como pinos, encinos, fresnos, mezquites, huizaches, entre otros.

**Reproducción:** Es muy común la reproducción del tipo asexual mediante yemas, aunque también existe la reproducción sexual mediante la formación de frutos que abundan semillas de dispersión anemófila (dispersadas por el viento). Esto es posible gracias a la presencia de pubescencias seminales cuyo origen es la escisión de fibras provenientes del mismo fruto maduro (Chávez, 2009).

**Daño:** *Tillandsia recurvata* es una planta epífita, la cual posee fotosíntesis, por eso no es una planta parásita. Esta epífita solo requiere de un hospedero para el soporte que necesita, ya que, no absorbe nutrientes de estos, los nutrientes que necesita los consigue del ambiente, las cuales son colectadas por las hojas.

Los rizoides de *Tillandsia recurvata* segregan hidroperoxidocicloartanos que actúan como inhibidores o antibióticos alelopáticos que provocan muerte de yemas y abscisión del follaje causando, por tanto, muerte de las ramas del hospedero (García-Azpeitia, 2018).

## **2.9 *Pinus cembroides* Zucc.**

México se considera el país con mayor riqueza de especies del género *Pinus*, ya que cuenta con el 42 % de las especies que existen (Sánchez-González, 2008). *Pinus cembroides* es una especie ampliamente distribuida, esta especie es calificada como el pino piñonero de mayor importancia económica en el país (Luna-Cavazos *et al.*, 2008); además, está incluido en la lista de especies prioritarias con fines de conservación, reforestación y restauración (CONABIO, 2011).

### 2.9.1 Características morfológicas

De acuerdo con CONABIO (2011), *Pinus cembroides* presenta las siguientes características:

**Forma:** Árbol perennifolio, de 5 a 10 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de 30 cm (hasta 70 cm).

**Copa / Hojas:** Copa redondeada y abierta en individuos maduros y piramidal (espaciada) en individuos jóvenes, con follaje ralo, sobre todo en sitios muy secos, de color verde oscuro algo azulado, pálido a veces amarillento. Las hojas en grupos de 2 a 3, entre 2.5 y 10 cm de longitud, cubren abundantemente las ramitas y dejan una cicatriz en éstas cuando caen.

**Tronco / Ramas:** Tronco corto. Ramas ascendentes, delgadas y colocadas irregularmente en el tallo, comenzando casi siempre desde la base.

**Corteza:** Externa color café rojiza a casi negra, se rompe en gruesas láminas, con pequeñas escamas delgadas y fisuras profundas.

**Flor(es):** Las flores masculinas son amentos cilíndricos.

**Cono(s):** Conos subglobosos de 5 a 6 cm de ancho, casi sin pedúnculo, aislados o en grupos de 5, caedizos con escamas grandes gruesas y carnosas cuando están verdes y de color verde café-anaranjadas o rojizas cuando el cono madura.

**Semilla(s):** Semillas desnudas, subcilíndricas, ligeramente triangulares, sin ala, de 10 mm de largo, café o negruzcas, abultadas en las partes superiores y adelgazadas hacia la base.

**Raíz:** Sistema radical profundo.

**Sexualidad:** Monoica.

### 2.9.2 Ecología

**Hábitat:** Se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, al pie de las montañas en clima templado seco (Bsk) hasta templado subhúmedo (Cwb) con precipitaciones de 365 a 450 mm anuales y con 7 u 8 meses secos. Se desarrolla en temperaturas que oscilan entre 7 °C hasta 40 °C con promedios de 18 °C; alcanzan mínimas extremas de -7 °C y máximas de 42 °C o a veces mayores, además es una especie típica de suelos pobres, secos, pedregosos o calizos, grisáceos o negros, calcáreos con alto contenido de yeso, delgados en lomeríos y aluviones en los valles de muy buen drenaje y con pH de 4 a 8, normalmente prefiere los suelos de neutros a alcalinos (CONABIO, 2011).

**Vegetación y zona ecológica:** Forma parte de la vegetación de transición entre las formaciones xerofíticas del Altiplano Mexicano y las vertientes internas de las Sierras Madre Oriental y Occidental, esta especie se puede asociar en bosques de *Quercus*, *Pinus*, *Pinus Quercus*, así como con especies de matorral arbustivo, encinares y pinares de climas semidesérticos (Robert, 1977; Rzedowski, 2006).

Su área de distribución abarca desde el oeste de Estados Unidos de América hasta México, en México se distribuye en los Estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo (Perry, 1991; CONABIO, 2011), entre los 18° y los 32° de latitud norte.

### 2.9.3 Importancia ecológica y económica de los bosques de *Pinus cembroides*

El bosque de *Pinus cembroides* desempeña una función importante en el ecosistema y en el ciclo hidrológico al evitar la erosión, favorecer la infiltración del agua y restablecer los mantos acuíferos subterráneos. Al mismo tiempo es hábitat natural de la fauna silvestre, dado que 90% del volumen de su semilla producida, constituye el alimento básico de muchas aves y mamíferos (Constante-García *et al.*, 2009).

En cuanto a la importancia económica, *Pinus cembroides* tiene una importancia maderera mínima, pero el piñón (semilla comestible) es de alto valor económico, constituye el 90 % de la cosecha de piñones en la República Mexicana (Robert, 1977).

## **2.10 Conservación del bosque de *Pinus cembroides* Zucc.**

En la Sierra de Zapalinamé se presentan dos especies de pinos piñoneros: *Pinus cembroides* y *P. pinceana*, ambas tienen una gran importancia ecológica para la conservación del ecosistema (Ortíz-Badillo, 2012). *Pinus cembroides* es una especie con una gran amplitud ambiental y resiste exitosamente condiciones ambientales; sin embargo, a pesar de estos atributos, las actividades antropogénicas diezman sus poblaciones: Por lo tanto, es inminente implementar acciones que fomenten su conservación (Rosas et al., 2016).

En respuesta a la necesidad de conocer el estado natural de las comunidades vegetales antes de los grandes cambios antropogénicos de los siglos XIX y XX, el INEGI llevó a cabo el proyecto de la carta de Vegetación primaria de México, con la cual se pretende apoyar los estudios de distribución de plantas y animales, conservación de hábitats únicos y análisis de impacto ambiental, y utilizarla en proyectos de conservación y rescate de corredores biológicos, áreas ecológicas y zonas protegidas, y de aprovechamiento sustentable, así como participar en la protección de la biodiversidad de México (Challenger y Soberón, 2008).

De acuerdo con Franco et al. (2009), el derribo y aprovechamiento o abandono, apilado y quemado; podas y aclareos, presentes en los bosques fragmentados, favorecen a la generación de combustibles no solo de 100 horas sino de 1000 horas (firmes y podridos) en comparación al bosque semidenso y denso, así como en la carga total de combustibles. Por lo tanto, la carga de combustibles forestales categorizados por tamaño, resulta necesario para comprender el peligro que representan los combustibles y el comportamiento que tiene el fuego en los ecosistemas forestales (Villers-Ruiz et al., 2006); por ello, es conveniente realizar un manejo adecuado de los combustibles, estableciendo acciones con el fin de reducir la acumulación de material

muerto, realizando presas con ramas acomodadas, extracción dirigida de leña, recolección y acomodo del material fuera del peligro, poda de ramas bajas y chaponeo (Castañeda *et al.*, 2015).

### **2.11 Manejo y pastoreo en bosques de clima templado semiseco.**

Debido a la escasez de recursos forestales en las zonas áridas y semiáridas, los bosques de piño piñonero han sido afectados durante siglos por las actividades humanas: incendios forestales, sobre-explotación, cambio de uso de suelo, depredación natural y la recolección excesiva de piñones, entre otros (Carrillo, 2009). Por lo que es indispensable generar planes de manejo y conservación de la vegetación endémica de estas zonas (Granados *et al.*, 2015).

Las poblaciones endémicas de *P. cembroides* se desarrollan bajo condiciones precarias, resultado principalmente de las actividades humanas. Los pastizales inducidos y el avance de la flora xerófila (pastizales naturales e izotales), están disminuyendo la cobertura de los bosques dominados por este taxón; aunado a ello, el pastoreo, las plagas y los incendios inducidos están afectando drásticamente su capacidad de regeneración, pues no permiten el reclutamiento natural (Sánchez *et al.*, 2005).

### **2. 12 Estructura del Bosque de *Pinus cembroides* Zucc. de la sierra de Zapalinamé**

De acuerdo con Ortíz-Badillo (2012), en la sierra de Zapalinamé los bosques se distribuyen en sitios con clima templado, seco y templado semihúmedo, *Pinus cembroides* es la especie dominante, con una densidad de 381 ind/ha<sup>-1</sup> y diámetro medio de 14 cm, tal especie alcanza los valores de mayor importancia. En el estrato arbóreo el bosque presenta una densidad que sobrepasa los 200 árboles ha<sup>-1</sup>.

El mayor número de árboles ha<sup>-1</sup> ocurre en la categoría diamétrica de 5 cm (250 individuos ha<sup>-1</sup>), seguida en orden decreciente por la de 10 y 15 cm (230 a 140 individuos ha<sup>-1</sup>), representando estos el arbolado joven, del arbolado adulto está representado por las categorías de 20 a 30 cm (130 a 45 individuos ha<sup>-1</sup>) y otro con categorías de 35 a 75 cm. (menos de 50 individuos ha<sup>-1</sup>).



La regeneración de *Pinus cembroides* es escasa y está integrada por plántulas con una densidad de 43 ind/ha<sup>-1</sup> y altura de 2 a 5 cm distribuidos de manera irregular y se concentra cerca de los árboles semilleros. En las partes bajas el estrato herbáceo es dominante y disminuye a medida que se incrementa la altitud, al igual que en las laderas con exposición Sur, la pedregosidad es media, el suelo es poco profundo y las pendientes son cerca de un 40%.

Los bosques de pino piñonero de la Sierra de Zapalinamé con mayor apertura de dosel son sustituidos por arbustos xéricos, propios de los matorrales rosetófilo y submontano de rosáceas (Arce y Marroquín, 1985), en estos sitios el estrato arbustivo es abundante y dominan especies de los géneros *Garrya*, *Ageratina* y *Arbutus*, estas especies impiden el establecimiento de la regeneración de los bosques, así la elevada cobertura y dominancia de plantas arbustivas sobre los individuos juveniles y renuevos de *P. cembroides* sugiere que el arbolado podría ser remplazado a mediano plazo por matorrales (Ortíz-Badillo, 2012).

### **2.13 Distribución espacial de árboles dentro de comunidades boscosas.**

La estructura espacial de un rodal forestal es una firma importante de la dinámica forestal, porque el entorno local determina la competencia entre los árboles, el crecimiento, la muerte y regeneración (Brazão-Protázio, 2017). La configuración espacial de árboles individuales en un rodal forestal puede proporcionar una indicación indirecta de los procesos ecológicos subyacentes que están ocurriendo en el sitio (Malkinson *et al.*, 2003) y para obtener una comprensión de los sistemas ecológicos y la dinámica de las comunidades de plantas (Young *et al.*, 1999).

La irregularidad o el grado en el que los individuos se agregan o dispersan son crucial para saber cómo una especie usa los recursos y su biología reproductiva (Condit *et al.*, 2000). La amplia distribución de los árboles es una defensa contra los depredadores (Connell *et al.*, 1971).

## **2.14 Restauración ecológica**

La palabra restaurar se define como recuperar, recobrar, reparar, renovar o volver a poner algo en el estado o estimación que antes tenía (RAE, 2005).

Munshower (1994) define la restauración ecológica como el “retorno de un sitio degradado a la condición ecológica exacta que exhibía antes del disturbio”, haciendo especial énfasis en los atributos funcionales y estructurales del ecosistema.

De acuerdo con Urbanska *et al.* (2000), el objetivo de la restauración ecológica es concebido como la creación de un ecosistema con la misma composición de especies y características funcionales del sistema que existía previamente.

## **2.15 Restauración pasiva**

Dependiendo del grado de intervención que se realice sobre el sistema, la restauración ecológica puede ser de dos tipos, restauración pasiva y restauración activa. En la restauración pasiva la intervención consiste en retirar o eliminar los factores tensionantes o los disturbios que causan la degradación del sistema, de tal forma que éste se regenera por sí solo (SER 2004).

## **2.16 Barreras que impiden la restauración ecológica**

De acuerdo con Vargas (2008), barreras a la Restauración Ecológica se entiende que son todos aquellos factores que impiden o limitan el desarrollo de la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales o antrópicos, y las cuales pueden ser barreras de tipo ecológico y barreras socioeconómicas.

Las barreras de tipo ecológico están relacionadas con los factores bióticos y abióticos resultantes del régimen de disturbios natural y antrópico, los cuales influyen en los diferentes mecanismos de regeneración y colonización de las especies, es decir, los procesos necesarios para que ocurra la dispersión de propágulos, el establecimiento de las plántulas y la persistencia de los individuos y las poblaciones (Vargas, 2008).

### 2.16.1 Fase de dispersión

Las barreras en el proceso de dispersión son causadas generalmente por la fragmentación y la extensión de matrices de pastos y de especies exóticas. Estas barreras se refieren al destino de los propágulos en diferentes aspectos como la dispersión, su longevidad, la formación de un banco de semillas o retoños, y la germinación. Todo esto afecta la riqueza de especies en la comunidad, la estructura espacial de las poblaciones y la dinámica de la composición de especies a través del tiempo (Schupp *et al.*, 2002).

#### a. Ausencia de polinizadores

La pérdida de hábitats y la fragmentación rompen las interacciones entre las plantas y sus diferentes visitantes florales, al ocurrir cambios en la abundancia y la composición de la oferta floral y/o en los polinizadores o vectores de polen. Esto debilita el proceso de polinización cruzada y por consiguiente la formación de semillas es escasa (Vargas, 2008).

#### b. Ausencia de propágulos

De acuerdo con Meli (2003), las semillas provenientes de la lluvia de semillas son prácticamente la única fuente de propágulos con que cuenta la restauración del bosque en pastizales, pues los retoños vegetativos y el banco de plántulas del bosque son eliminados de los potreros luego de las prácticas pecuarias, y el banco de semillas suele estar dominado por especies características de los potreros y de zonas alteradas. Existen principalmente tres factores que afectan la disponibilidad de propágulos:

- Reducción de la cantidad de parches del bosque y el tamaño de cada fragmento: trae como consecuencia una disminución en la riqueza y diversidad de especies del bosque original.
- Extensión de los pastizales: las fuentes de semillas están muy distantes y las semillas dispersadas solamente llegan hasta los sectores más cercanos al bosque.
- Transformación del paisaje: afecta directamente los vectores por medio de los cuales se da la dispersión.

c. Ausencia de animales dispersores

La mayoría de las especies de plantas presentes en el bosque son zoócoras (Holl, 1999), por lo tanto, la ausencia de animales dispersores es uno de los principales factores que limita la regeneración del bosque en particular en áreas intervenidas, al disminuir sus desplazamientos desde el bosque hacia los pastizales (Vargas, 2008).

La mayoría de los animales dispersores de semillas evitan las brechas creadas recientemente. Las nuevas brechas ofrecen pocos recursos a los frugívoros y son sitios peligrosos para que las aves y los murciélagos pasen (Schupp *et al.* 2002).

d. Ausencia de “plantas nodrizas”

Las plantas nodrizas pueden servir como catalizadores de la sucesión al aumentar la dispersión de semillas dentro del pastizal y mejorar las condiciones microclimáticas y edáficas que impiden la implantación de especies del bosque dentro del potrero (Guevara y Laborde, 1993). El efecto facilitador de las plantas nodrizas tiene consecuencias tanto en la fase de dispersión como en la de germinación y establecimiento. Estos mismos efectos los presentan algunas especies de helechos, arbustos y árboles que colonizan de forma natural la matriz de pastos, todas estas especies de dispersión principalmente anemócoras (Vieira *et al.*, 1994).

e. Predación de semillas

Las semillas se enfrentan a la predación por animales, al ataque de bacterias o la descomposición por hongos, antes o después de ser dispersadas, lo cual reduce el número de semillas que potencialmente se pueden dispersar y convertir en nuevos individuos, siendo esto, en algunos casos una limitante para la restauración (Holl *et al.*, 1999). En zonas alteradas como las áreas de potreros, la germinación es mucho más baja que en áreas de matorrales o de bosques, y una de las principales causas es la predación de semillas. Estudios realizados en zonas bajas reportan una alta predación de semillas depositadas en pastizales por roedores e insectos, principalmente por hormigas y coleópteros (Nepstad *et al.*, 1996), y donde las especies de mayor remoción corresponden a las semillas de plantas pioneras de bosques (Holl *et al.*, 1999).

f. Ausencia de un Banco de Semillas del ecosistema original

Cuando la vegetación original de un bosque es reemplazada por cultivos o por potreros con fines pecuarios, las condiciones bióticas y abióticas se van modificando paulatinamente. El banco de semillas sufre una gran transformación en cuanto a la composición y abundancia de especies cuando se realiza un cambio de uso de suelo. Las semillas resistentes al pisoteo, el arado y el fuego permanecerán, mientras que las poco resistentes se perderán y se beneficiará la llegada de nuevas especies (Posada *et al.*, 1999).

### 2.16.2 Fase de establecimiento

La fase de establecimiento comprende la germinación de las semillas y el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas (Walker, 2003). Dependiendo del éxito en el establecimiento se reclutarán o no nuevos individuos en la población.

La fase de establecimiento presenta diferentes factores que inciden positiva o negativamente en la restauración ecológica (Vargas, 2008).

a. Factores abióticos

– Disponibilidad de micrositios

Los micrositios son sitios seguros para la germinación, sobrevivencia y desarrollo de las plántulas. Se forman gracias a fuerzas abióticas (Walker, 2003) y bióticas.

Un micrositio será exitoso para especies nativas del bosque, si reúne las condiciones de temperatura, humedad, y nutrientes, que permitan el desarrollo inicial y sin mayores dificultades de las raicillas de la plántula (Vargas, 2008).

– Suelo

La deforestación, la quema y el pisoteo continuo del ganado ocasionan la pérdida en la estructura del suelo (Aide *et al.*, 1995). Las deficiencias en la estructura del suelo pueden limitar el establecimiento de árboles, en efecto, la compactación del suelo afecta el desarrollo de la planta a través del incremento de la fuerza del suelo, y la disminución en la disponibilidad de oxígeno y agua (Basset *et al.*, 2005).

## b. Factores bióticos

### – Micorrizas

La ausencia o disminución de micorrizas en el suelo puede ser un factor causal de la lenta regeneración en áreas degradadas. Las micorrizas permiten a las raíces de las plantas una toma más eficiente de nutrientes, mejoran la estructura del suelo, y aumentan la superficie de absorción de agua de la raíz (Carrillo-García *et al.*, 1999).

### – Hojarasca

La hojarasca sobre el suelo es un factor limitante en el establecimiento de plántulas, en la medida que limita la entrada de luz a nivel del suelo, esto disminuye el área fotosintética de las plántulas. Además, las sustancias liberadas tras el proceso de descomposición de la hojarasca pueden cambiar las condiciones químicas del suelo y la redistribución de los nutrientes (Vargas, 2008).

### – Herbivoría

La herbivoría cumple una presión grande en el desarrollo de las plántulas, debido a que en ésta fase los órganos generados, como el tallo, cotiledones o primordios foliares son blandos y están libres de mecanismos de defensa tanto químicos como físicos.

### – Competencia

La competencia es una interacción biológica que afecta el establecimiento de las plántulas. Ésta se define como la interacción que ocurre entre dos o más individuos, por un recurso que les es necesario para sobrevivir, crecer o reproducirse (Begon *et al.*, 1996).

## **2.17 Riqueza y diversidad de especies**

La riqueza se define como la cantidad de especies vegetales dentro de una comunidad, mientras que la riqueza específica se define como la forma de medir la diversidad basada en la cantidad de especies dentro de un espacio dado (Chao *et al.*, 2009).

Para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma (Whittaker, 1972) puede ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Halffter, 1998). La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972).

Para monitorear el efecto de los cambios en el ambiente es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y poder diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local (Moreno, 2000).

## **2. 18 Análisis de correspondencia desprovisto de tendencia**

Se ha demostrado que el análisis de correspondencia desprovisto de tendencia (DCA, por sus siglas en inglés) es una excelente técnica para resumir cambios ecológicos a través del tiempo (Correa-Metrio *et al.*, 2014)

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

### III. MATERIALES Y METODOS

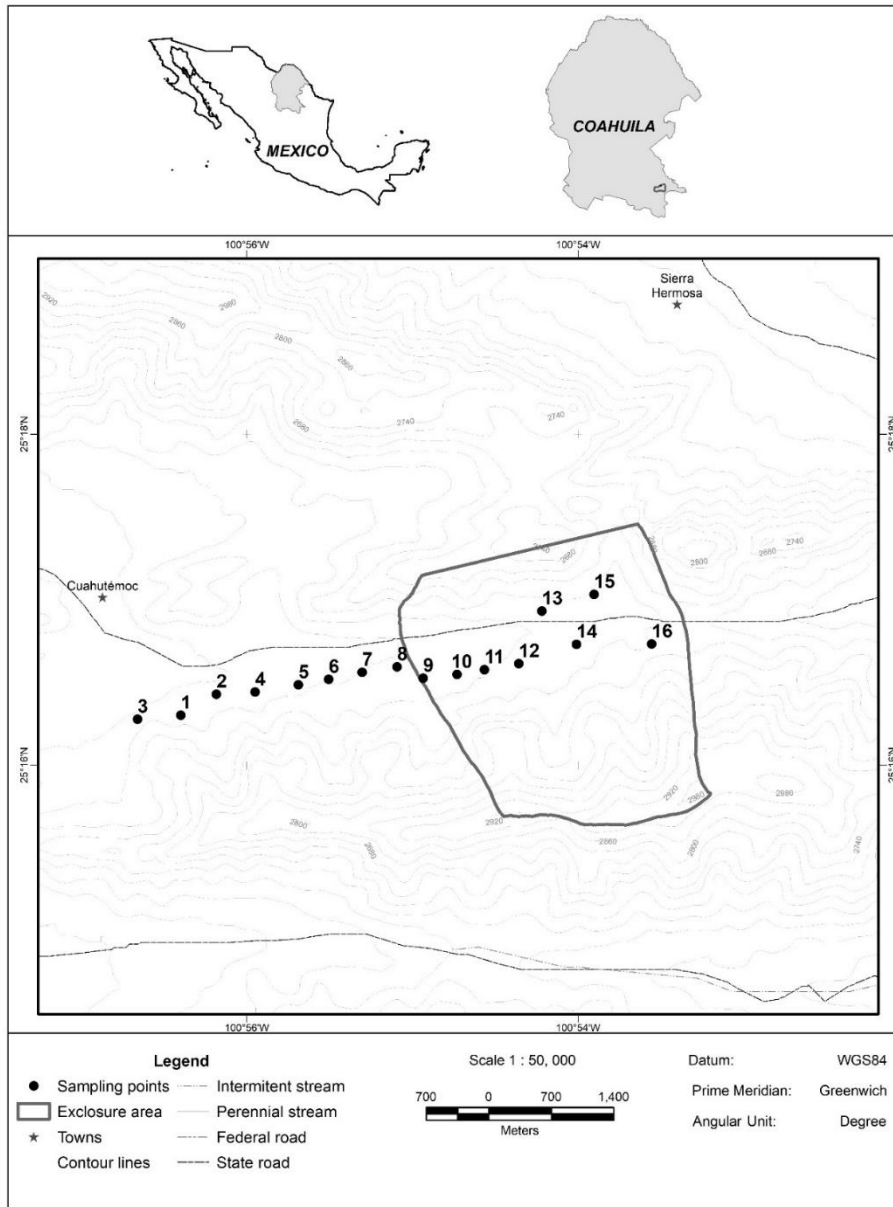
#### 3.1 Área de Estudio

La Sierra de Zapalinamé se ubica en el sureste del estado de Coahuila, tiene una extensión de 45,000 ha<sup>-1</sup>, en los municipios de Saltillo y Arteaga. Se localiza al sur de la ciudad de Saltillo, entre 25 ° 15'00 " N y 25 ° 25'58 " N y entre 100 ° 47'14 " W y 101 ° 05'03 " W (Figura 1) y pertenece a la subprovincia fisiográfica de la Gran Sierra Plegada. Su altitud varía de 1,590 m en las estribaciones a 3,140 m en el Cerro El Penitente, con valles entre montañas con un promedio de 2200 m (UAAAN, 1998).

De acuerdo con Encina-Domínguez (2017) las rocas de la zona son sedimentarias, pertenecientes a los períodos Jurásico y Cretácico; la piedra caliza cubre el 43 % del área, mientras que el 17 % son areniscas y conglomerados; en cambio, los suelos aluviales ocupan el 30 % del área, con profundidad variable, se encuentran principalmente en las llanuras con abanicos aluviales en la base de las montañas y los suelos de los valles son profundos habiendo áreas más pequeñas de xerosoles calcáricos de calcio y feozem.

El clima dominante del área de estudio es el tipo seco (BSkw), mientras que las partes altas de la montaña tienen un tipo templado (C (w 0)). La temperatura media anual es de 16.9 °C y la precipitación anual es de 498 mm. Las lluvias son convectivas y ocurren en los meses más cálidos del año. Se han registrado diferentes comunidades de plantas para esta área, incluyendo matorrales rosetófilos, bosque de pinos, bosque de abetos, bosque de robles y chaparral montano. En el área protegida el pinar piñonero ocupa el 12.54% y el pinar piñonero asociado al matorral xérico el 9.55 % (UAAAN, 1998).





**Figura 1. Sitios de muestreo en la zona de estudio de la sierra de Zapalinamé. El área de exclusión está indicada (rodeada por una línea gris) así como la ubicación de las parcelas.**

En esta zona, los bosques de pinos piñoneros crecen en laderas bajas y en valles montañosos con suelos profundos en sitios templados en altitudes que varían de 2,150 a 2,650 m y se distribuyen en los cañones de Cuahutémoc y en Sierra Hermosa, además de *Pinus cembroides* crecen árboles dispersos de *Juniperus flaccida* y *J. deppeana*, mientras que en áreas

más conservadas el estrato herbáceo está dominado por las gramíneas *Piptochaetium fimbriatum* y *Bouteloua dactyloides*, en áreas con intensa perturbación por el pastoreo de la maleza *Asphodelus fistulosus* y el arbusto *Gymnosperma glutinosum* son comunes (Encina-Domínguez *et al.* 2019).

En algunas áreas de este bosque se ha excluido el pastoreo del ganado durante 25 años, ya que son parte de una propiedad privada (1,200 ha<sup>-1</sup> con vegetación de bosque y chaparral montano). Esta zona se utilizó para establecer las parcelas de excluidas de pastoreo, teniendo como objetivo mejorar la calidad del suelo, restaurar la vegetación y recuperar la vida silvestre.

Fuera de la propiedad privada, en el mismo tipo de vegetación, se localizaron las parcelas de pastoreo (Ejido Jagüey de Ferniza, 270 ha<sup>-1</sup>), donde se realiza el pastoreo extensivo con 104 bovinos, 46 equinos, 683 cabras y 84 ovejas, este censo de ganado se ha mantenido constante en el área estudiada durante los últimos 20 años (Cruz, A. com pers). Los propietarios de este sitio talan de manera selectiva los árboles de pino para la construcción, árboles de navidad y cosecha de piñones, en estas áreas no se ubicaron sitios de muestreo.

### **3.2 Diseño de muestreo**

En agosto de 2017, se estableció un transecto en el centro de un bosque de *Pinus cembroides* del área de pastoreo (fuera de la propiedad privada, Figura.1) al área de exclusión de 2.3 km, representando un área de 1,600 ha<sup>-1</sup>. Se realizó un muestreo sistemático de 16 parcelas (30 × 30 m) en el rodal de *P. cembroides*. Las parcelas fueron ubicadas a lo largo del transecto, separadas por distancias de 100 a 120 m (evitando senderos o perturbaciones humanas). La posición y la elevación de la parcela se midieron utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS; Etrex, Garmin Ltd., Olathe, KS, EE. UU.).

Se establecieron ocho parcelas en el área de pastoreo (control) y ocho en el pastoreo área excluida. Después de establecer las parcelas se llevó a cabo la medición de altura, pendiente y

cobertura estimada del dosel del rodal utilizando un densiómetro de corona esférica convexa (Lemmon, 1957). También se registró visualmente estimado el porcentaje de cobertura de roca, suelo desnudo y el mantillo en cada parcela.

Se consideraron árboles de *P. cembroides* los individuos con troncos  $\geq 2.5$  cm DAP (diámetro a la altura del pecho), plántulas los individuos cuyos troncos midieran menos de 50 cm de altura y árboles jóvenes, siendo los individuos cuya altura midiera más de 50 cm y menos de 2.5 cm de DAP. En las parcelas se mapearon todos los árboles de todas las especies con una precisión de 5 cm, tomando como punto de referencia una de las esquinas de la parcela de 30 × 30 m, y para mapear todos los árboles con respecto a ese punto se utilizó un sistema cartesiano de coordenadas. En el cuadrado de la parcela, cada raíz tenía un valor de x y de y, dependiendo de qué tan lejos estaba del punto de referencia (el elegido esquina de la parcela). En cada parcela, también se registró el número de individuos de diferentes especies leñosas e individuos de todas las categorías de tamaño.

En una parcela concéntrica de 10 x 10 m se realizó la identificación de todas las especies herbáceas y arbustivas. La cobertura para todas las especies en la parcela se estimó y registró en 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%).

Mediante una estimación visual se calculó el porcentaje del dosel total cubierto por la especie *T. recurvata* para cada árbol (la altura promedio de la parte superior del dosel fue de 7.8 m).

Las muestras botánicas que se colectaron en campo se herborizaron para su posterior determinación botánica y se depositaron en el herbario de la ANSM de la UAAAN. Para los nombres de las especies, se siguió el listado de la flora de plantas vasculares de la sierra de Zapalinamé (Encina-Domínguez *et al.*, 2016).

Los factores químicos y físicos del suelo se basaron en muestras de suelo tomadas a 0 a 30 cm de profundidad. Las muestras de suelo se mezclaron, secaron y tamizaron a través de un tamiz de 2 mm y se eliminaron raíces y piedras. La textura (arena, arcilla y limo) se determinó utilizando un hidrómetro Bouyoucos. El contenido de materia orgánica se determinó mediante el método Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982) y el pH se midió en una relación suelo/agua de extracto de 1:5. Se determinó el Nitrógeno, el Fósforo, el Potasio y la conductividad eléctrica del suelo. Los niveles cualitativos para los nutrientes obtenidos como N, P, K y materia orgánica fueron de acuerdo con SEMARNAT (2000) y Fernández-Linares *et al.* (2006).

### 3.3 Análisis estadístico

Se calculó la densidad promedio (individuos/ha<sup>-1</sup>) de *P. cembroides* para cada una de las ocho parcelas en diferentes clases de DAP (árboles juveniles, < 5, < 10, < 20, < 30, ≥30 cm DAP) en ambos tratamientos experimentales: pastoreo y exclusión.

Se estudiaron las distribuciones espaciales de *P. cembroides* utilizando el método univariante Función K1(t), analizándola en cada metro hasta 8 m, el esperado número de otros individuos dentro de una distancia, t, de cualquier individuo (Ripley, 1977). Estos análisis son efectivos para detectar relaciones espaciales entre puntos en un mapa (Bailey y Gatrell, 1995) y se recomiendan volver a analizarlo cuando la información entre varios vecinos (regenerativo más cercano troncos a cada árbol) tiene distancias muy cercanas (Busing, 1996).

Un estadístico *t* permutacional unidireccional basado en la distancia (Anderson *et al.*, 2008), se corrió entre parcelas de pastoreo y de exclusión (como factores) para comparar variables ambientales (altitud, pendiente, cobertura de roca, suelo, hojarasca y sotobosque, así como la cubierta del dosel). Las densidades también se calcularon para diferentes tamaños de clase de *P. cembroides*, para plántulas y árboles jóvenes de *Juniperus deppeana*, *J. flaccida* y *P. cembroides* (las únicas especies que eran abundantes para hacer comparaciones estadísticamente debido a su presencia en más de cinco de las parcelas de estudio). Los análisis

se basaron en distancias euclidianas de los datos brutos (recomendado para escaso número de muestras; Önder, 2008), con valores de  $P < 0,05$  obtenidos con 9999 permutaciones y una corrección de Monte Carlo cuando era necesario.

Primer 6 y Permanova + (PRIMER-E Ltd, Plymouth, Reino Unido) se utilizaron para realizar todos los procedimientos estadísticos de PERMANOVA. Se utilizó un MRPP (procedimiento de permutación de respuesta múltiple) para determinar los cambios en la composición de las especies arbóreas entre control y parcelas de exclusión con una matriz de parcelas *vs.* especies según el área basal con la información de las especies arbóreas en ambos sitios (control *vs.* pastoreo).

La distancia euclidiana se utilizó para este análisis, el análisis se realizó con el software PCOrd v.7 (Cune y Grace, 2002). Se calculó el área basal y la densidad de los árboles y plantulas (Müller-Dombois y Ellenberg, 1974). Para la ordenación, se realizó el análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) (Hill y Gauch 1980), utilizando el paquete de software CANOCO versión 4.5 (ter Braak y Šmilauer, 2002), para analizar cómo cambia la composición de especies a lo largo del gradiente principal. El análisis se basó en los valores de cobertura de 162 especies.

Una característica básica de las comunidades de plantas biológicas es la distribución de la abundancia entre las especies, por lo que calculamos el índice de uniformidad de Smith y Wilson (1996) para cada parcela ubicada en el bosque de pino piñonero de exclusión y control. Analizamos las diferencias entre pares en la densidad de plántulas, la densidad y el área de base para los árboles en las parcelas de control ( $n = 8$ ) y las parcelas de exclusión ( $n = 8$ ) para las especies más abundantes utilizando la prueba U de Mann-Whitney ( $P < 0.05$ ). La riqueza y la uniformidad también se analizaron utilizando la misma prueba y se implementaron utilizando el paquete informático estadístico SPSS (SPSS, 1997).

#### IV. RESULTADOS

Para el bosque de pino piñonero se registró una riqueza de 163 especies, las familias con más especies fueron Asteraceae con 45 especies, Poaceae con 18 especies y Fabaceae con 8 especies. La forma de vida más común es el estrato herbáceo con 119 especies (el listado completo de especies se presenta en el Anexo 1). Se registraron 55 especies en las parcelas de exclusión que no se presentaron en las parcelas de pastoreo, mientras que 34 especies están presentes solo en las parcelas de control.

Se registraron 12 especies de árboles en los sitios de estudio, de las cuales 6 se presentaron en las parcelas de control y 11 en las parcelas de exclusión. *Fraxinus greggii* no se registró en las parcelas de exclusión, y *Arbutus xalapensis*, *Arctostaphylos pungens*, *Pinus arizonica*, *Rhus virens* y *Yucca carnerosana* sólo se presentaron en las parcelas de control.

En cuanto a la estructura arbórea las especies más importantes son *Pinus cembroides*, *Juniperus deppeana* y *J. flaccida*. Con respecto al área basal, *Pinus cembroides* es la especie dominante, abarca 18.2 m<sup>2</sup> / ha<sup>-1</sup> en parcelas de exclusión y 22.6 m<sup>2</sup> / ha<sup>-1</sup> en parcelas control (Figura 2a), 85.6% con respecto a las parcelas excluidas y 72.0% en las parcelas de control (Cuadro 1). Comparando el área basal en parcelas de exclusión y control, las especies arbóreas *Pinus cembroides* (U = 13, P = 0.04) y *Juniperus deppeana* (U = 11, P = 0.02) revelan diferencias significativas (Figura 2b).

**Cuadro 1. Variables del medio físico-natural de las parcelas experimentales de control y parcelas excluidas al pastoreo.**

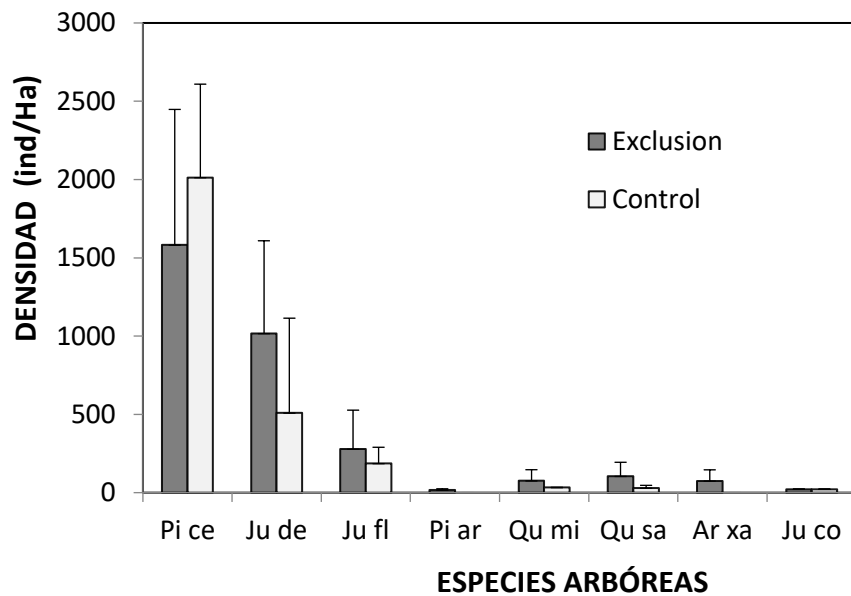
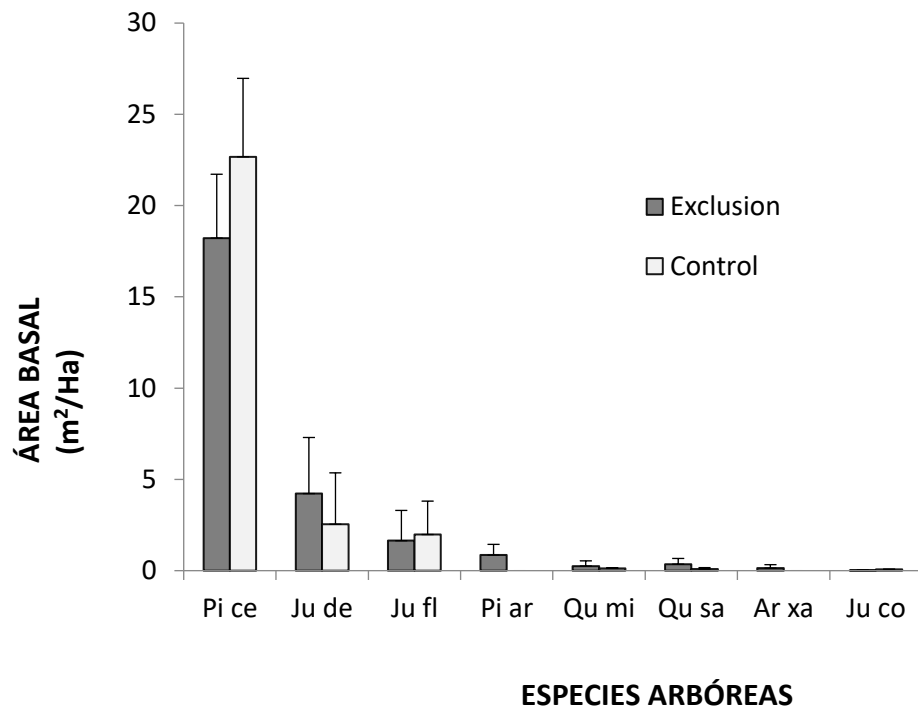
Parcela	Tratamiento <sup>b</sup>	Altitud b	Azimut (°)	Pendiente (°)	Roca	Suelo	Mantillo (%)	Sotobosque	Copa
PC1	Control	2351	315	10	3	1	60	35	52.0
PC2	Control	2346	343	11	2	2	20	70	54.0
PC3	Control	2342	290	39	3	10	10	45	68.3
PC4	Control	2356	320	28	15	20	10	40	63.5
PC5	Control	2372	320	10	2	30	15	55	65.8
PC6	Control	2372	320	10	1	30	20	65	57.3
PC7	Control	2379	325	9	1	30	20	65	60.0
PC8	Control	2394	325	10	1	45	15	55	65.3
PC9	Exclusión	2429	345	11	1	4	5	85	70.5
PC10	Exclusión	2419	320	10	1	2	2	85	68.8
PC11	Exclusión	2436	330	10	2	5	3	80	70.8
PC12	Exclusión	2450	330	12	1	2	7	80	52.8
PC13	Exclusión	2468	160	10	1	2	10	92	62.8
PC14	Exclusión	2466	310	11	1	1	2	85	45.3
PC15	Exclusión	2498	140	11	3	15	7	95	65.3
PC16	Exclusión	2501	310	11	1	1	10	70	50.0
Control	Media	2364.0 <sup>a</sup>	319.7	15.8	3.5	21.0 <sup>a</sup>	21.2 <sup>a</sup>	53.7 <sup>a</sup>	60.7
	Desviación Estándar	18.1	14.6	11.2	4.7	15.5	16.2	12.7	5.9
Exclusión	Media	2458.3	280.6	10.7	1.3	4.0	5.7	84.0	60.7
	Desviación Estándar	30.5	81.6	0.7	0.7	4.6	3.2	7.7	10.0

a Indica diferencias significativas Control vs. Exclusión para a p <0.05.

b “Control” para las parcelas donde el pastoreo ha estado activo durante los últimos 25 años, y “Exclusión” para las parcelas donde el muestreo ha sido excluido durante todo este período.

c Cobertura del dosel para todas las especies de árboles del rodal (e indicación de la densidad del dosel).

El promedio y el estándar se incluyen las desviaciones (DE) de estos valores para el control y la exclusión.



**Figura 2. Área basal (a) y densidad (b) de especies arbóreas en parcelas de control y parcelas de pastoreo de exclusión.**



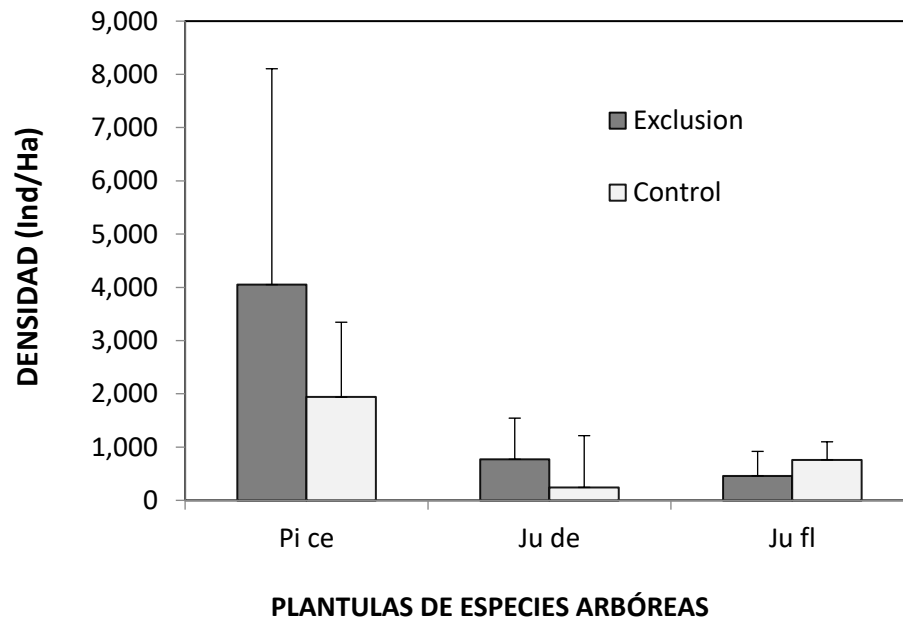
Aunque las parcelas en el área de exclusión eran en promedio 80 m más altas en elevación en este caso las diferencias fueron significativas (Cuadro 2). Las variables ambientales también presentaron algunas diferencias, que pueden ser relacionados con las diferencias de manejo, como la cobertura del suelo o el mantillo, con valores más altos para las parcelas de control, mientras que la cobertura del sotobosque fue mayor en parcelas de exclusión. El resto de las variables ambientales presentaron baja variabilidad (altitud, aspecto, pendiente, rocoso o cubierta del dosel).

Con respecto a los árboles infestados con *Tillandsia recurvata*, se registró un mayor porcentaje de infestación en parcelas de control ( $7\% \pm 4,7$ ) en comparación con las parcelas de exclusión (2%; Pseudo  $F_{1,14} = 8.18$ ,  $p < 0.014$ ) (Cuadro 2). En algunas áreas, la alta carga de biomasa de *T. recurvata* había matado algunas ramas o incluso provocó la muerte de árboles de *Pinus cembroides*.

En lo que a densidad se refiere, *Pinus cembroides* presenta 1,581 ind / ha<sup>-1</sup> en parcelas de exclusión y 2,012 ind / ha<sup>-1</sup> en parcelas de control (Figura 3). *Juniperus deppeana* tuvo diferencias significativas en las parcelas ( $U = 10$ ,  $P = 0.02$ ; Figura 3). Las otras especies no presentaron diferencias significativas.

**Cuadro 2. Atributos estructurales de los sitios en ambas areas con diferente historial de manejo en el bosque de *Pinus cembroides*.**

Parcela	<u>Densidad</u> (ind/ha <sup>-1</sup> )	<u>Area</u> <u>Basal</u> (m2 /ha <sup>-1</sup> )	<u>Altura</u> promedio	# de especies	<u>P.</u> <u>cembroides</u> % total AB	Infestación de T. recurvata	<u>Plántulas</u> (ha)	# de especies	<u>Plántulas</u> (ha)	# de especies	
PC1	108.9	24.2	11	2	93.3	15.2	1035.8	1	577.2	2	
PC2	232.2	25.6	10	3	96.8	3.6	1074.2	2	999	2	
PC3	164.4	26.4	6.5	3	97.7	10.8	1084.7	2	277.5	2	
PC4	180.0	20.5	8.5	2	94.0	9.3	1043.3	2	4617.6	3	
PC5	276.7	23.2	7	3	94.5	7.3	1049.4	2	3751.8	3	
PC6	260.0	26.4	6.5	6	62.4	6.2	692.1	3	6537.9	3	
PC7	171.1	25.0	7	4	69.4	1.2	770.4	3	3962.7	3	
PC8	173.3	26.3	7	6	79.3	2.2	880.4	1	2819.4	3	
PC9	301.1	31.8	6.5	5	86.6	3.5	961.2	3	4761.9	3	
PC10	107.8	20.5	8.5	5	54.2	2.3	602.1	3	2897.1	3	
PC11	187.8	24.8	7.6	7	67.5	0.9	748.1	4	5061.6	3	
PC12	98.9	28.1	7	8	69.0	1.8	766.3	4	5783.1	3	
PC13	228.9	28.9	6	6	79.6	4.4	883.4	3	0	0	
PC14	67.8	26.6	8.5	7	63.1	0.2	700.8	5	6216	3	
PC15	155.6	27.0	9.5	4	82.6	2.5	917.0	4	10689.3	3	
PC16	73.3	28.4	8.5	6	73.6	0.0	816.5	4	6826.5	3	
Control	Media	195.8	24.7	7.9	3.6	85.9	7.0	953.8	2.0	2942.9	2.6
	Desviación Estándar	55.9	2.1	1.7	1.6	13.7	4.7	152.6	0.8	2201.2	0.5
Exclusión	Media	152.6	27.0	7.8	6.0	72.0	2.0	799.4	3.8	5279.4	2.6
	Desviación Estándar	82.4	3.3	1.2	1.3	10.8	1.7	119.4	0.7	3085.8	1.1



**Figura 3. Plántulas de especies arbóreas.**

Se registraron más plántulas de *Pinus cembroides* en las parcelas de exclusión que en las parcelas de control (Figura 4) (ver fotografía de esta especie en el Anexo 2). Al comparar las especies de plántulas, los resultados revelaron que *Pinus cembroides* ( $U = 13$ ,  $P = 0.04$ ) y *Juniperus deppeana* ( $U = 11.5$ ,  $P = 0.03$ ) fueron significativamente diferentes, mientras que *Juniperus flaccida* ( $U = 29$ ,  $P = 0.75$ ) no presentó diferencias significativas. Las plántulas de *Pinus arizonica* son escasas, crecen dispersas y solo se presentan en parcelas de exclusión, en particular en áreas donde aumenta la altitud.

Las parcelas de exclusión tienen una riqueza de 47 especies promedio, cinco especies más que las parcelas de control (Cuadro 3). No se registraron diferencias significativas entre tratamientos ( $U = 22.5$ ,  $P = 0.31$ ), sin embargo, el índice de uniformidad (0.93 en la parcela de control) reveló diferencias significativas ( $U = 13$ ,  $P = 0.04$ ) en las parcelas de exclusión (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Características bióticas (900 m<sup>2</sup>) de las parcelas (media y desviación estándar).**

	Exclusión		Control	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Densidad de regeneración / parcela <i>P. cembroides</i>	365	249.93	175	126.46
Densidad de regeneración / parcela <i>J. flaccida</i>	41	29	69	87.3
Densidad de regeneración / parcela <i>J. deppeana</i>	70	39.0	22	30.4
Riqueza de especies	47	7.83	42	5.76
Smith & Wilson evenness	0.91	0.01	0.93	0.02

Con respecto a las variables ambientales y de contenido de nutrientes del suelo medidas en parcelas de exclusión y parcelas de control, se registró que la altitud media es de 2,411 m, así mismo, el pH es más ácido en los bosques control. Finalmente, la materia orgánica varía del 12 al 14% y el contenido de Fósforo es mayor en las parcelas control (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Variables ambientales y de contenido de nutrientes medidas en parcelas de exclusión y parcelas de control (media y desviación estándar).**

Variable	Exclusión		Control	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Altitud (m)	2458.38	30.52	2364.00	18.10
Pendiente(°)	10.75	0.71	15.88	11.28
pH	6.94	1.21	5.98	1.98
Materia Orgánica (%)	14.59	6.07	12.06	4.39
N Total (%)	0.54	0.19	0.52	0.21
C.I.C. (meq/100 g)	24.00	7.38	25.75	8.17
E.C.(μS/cm)	1155.12	174.76	1157.62	383.37
Ca (meq/l)	11.15	2.85	11.35	4.39
Mg (meq/l)	10.05	3.91	11.10	5.09
K (meq/100g)	0.24	0.07	0.23	0.04
P Olsen(ppm)	12.25	5.51	13.81	8.54

Se observó un gradiente de humedad determinado por la elevación (Figura 4). De esta manera, en las parcelas de control (polígono de la izquierda) el dosel es abierto y crece un zacatal

debajo de los pinos piñoneros. Se presentan ocho especies de gramíneas y *Bouteloua dactyloides* solo crece en estas parcelas, es la más abundante además de *Piptochaetium fimbriatum*. También se presentan especies de malezas ruderales como *Bidens pilosa*, *Clematis drummondii*, *Dyssodia papposa*, *D. pinnata*, *Euphorbia dentata*, *Lactuca graminifolia*, *Lepidium virginicum* y *Viguiera dentata*. En estas áreas los arbustos comunes son *Opuntia engelmannii* y *Prunus cercocarpifolia* no registrados en parcelas de exclusión. En estas áreas crece el cactus *Echinocereus knippelianus* incluido bajo protección en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Por otro lado, en áreas excluidas de pastoreo (polígono derecho) donde el dosel del bosque es cerrado refleja más humedad y crecen dos orquídeas terrestres: *Malaxis brachystachys* (ver fotografía de esta especie en el Anexo 2) y *Goodyera oblongifolia*. El estrato herbáceo está dominado por gramíneas altas con mayor cobertura como el pastillo del pinar (*Piptochaetium fimbriatum*) y *Muhlenbergia rigida*. Las especies como *Dahlia tubulata*, *Geranium semannii*, *Gibasis geniculata* y *Salvia regla*, son frecuentes y no se presentaron en parcelas con pastoreo.



**Figura 4.** DCA que muestra 163 especies leñosas del bosque de pino piñonero en el noreste de México. Los nombres de las especies se muestran en el Anexo 1.

El análisis espacial univariado K de Ripley para *P. cembroides* se realizó en cada metro de uno a ocho. No se registró ningún patrón de espacio (agregado o disperso) relacionado con el área de pastoreo en comparación al área de exclusión. Dos parcelas del área de pastoreo

presentaron aglomeraciones significativas hasta 8 m (PC4 y PC5), y esto fue similar para el área de exclusión, dos parcelas (PC11 y PC15), aunque la parcela PC16 también presentó distribución agrupada de tres a 8 m de la parcela (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Resultados del análisis espacial univariante de la función K1 (t) de Ripley para árboles de *Pinus cembroides* en las 16 parcelas hasta 8 m.**

Parcela	Metros							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PC1	/	/	/	/	/	/	/	/
PC2	/	/	/	/	/	/	/	/
PC3	/	/	/	/	/	/	/	/
PC4	+	+	+	+	+	+	+	+
PC5	+	+	+	+	+	+	+	+
PC6	/	/	+	+	+	+	/	/
PC7	/	/	/	/	/	/	/	/
PC8	/	/	/	/	/	/	/	/
PC9	/	/	/	/	/	/	/	/
PC10	/	/	/	/	/	/	/	/
PC11	+	+	+	+	+	+	+	+
PC12	/	+	+	/	/	/	/	/
PC13	/	/	+	+	+	/	/	+
PC14	/	/	/	/	/	/	/	/
PC15	+	+	+	+	+	+	+	+
PC16	/	/	+	+	+	+	+	+

**Nota:** Los datos de la tabla cuando no hay un patrón significativo (agregación o repulsión) se indican con "/", mientras que la agregación espacial significativa ( $P < 0.05$ ) se indica a la distancia dada con "+".

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Composición florística del bosque de *P. cembroides* en la Sierra de Zapalinamé.

De acuerdo con Rzedowski (2006), la vegetación de esta región está integrada por floras provenientes de los reinos Holárticos y Neotropical, razón por la cual se presenta una elevada riqueza de especies. El bosque de pino piñonero es una de las 11 comunidades vegetales presentes en la Sierra de Zapalinamé (Encina-Domínguez, 2017) y es la que tiene mayor superficie con 8,690.501 ha<sup>-1</sup>, representando 19.82 % del área.

Se registraron 163 especies que forman parte de los tres estratos del bosque de *P. cembroides*, y representan el 30.1% de las 921 especies reportadas por Encina-Domínguez (2017) para la Sierra de Zapaliname y el 5.08% de los 3,207 taxa listados por Villarreal-Quintanilla (2001). Sin embargo, el bosque de *P. cembroides* de esta región presenta menos especies que otros bosques de *P. cembroides* de México, tal es el caso de bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz) en el cuál se registraron 178 especies, 101 géneros y 51 familias botánicas (Granados *et al.*, 2015).

Las familias con más especies fueron Asteraceae, Poaceae y Fabaceae y es similar a la flora reportada para un bosque de *P. cembroides* en la Cuenca Oriental de Tlaxcala, Veracruz y Puebla (Granados *et al.* 2015), las cuales tienen mayor riqueza de especies y géneros en el área estudiada, así como en la mayor parte de México (Rzedowski, 1991a). Además, se registró el falso peyote (*Echinocereus knippelianus*) incluido bajo estatus de conservación en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

### 5.2 Impacto del pastoreo en la estructura y composición florística.

El área basal de *P. cembroides* es mayor en áreas con pastoreo que en áreas de exclusión. Los individuos se agregan o dispersan para defenderse contra los depredadores (Connell *et al.*, 1971), en este caso, la densidad de *P. cembroides* es mayor en áreas de pastoreo. Dos parcelas



del área de pastoreo presentaron aglomeraciones significativas hasta 8 m (PC4 y PC5), y esto fue similar para el área de exclusión, dos parcelas (PC11 y PC15), aunque la parcela PC16 también presentó distribución agrupada de tres a 8 m de la parcela. Se registraron 55 especies en las parcelas de exclusión que no se presentaron en las parcelas de pastoreo, mientras que 34 especies están presentes solo en las parcelas de control.

Las estrategias de regeneración están determinadas en gran medida por dispersión de las semillas (Calviño-Cancela 2002). Las plántulas tolerantes a la sombra, pueden sobrevivir y desarrollarse en el piso para formar distribuciones agrupadas a distancias cortas de árboles parentales. Sin embargo, la herbivoría cumple una presión grande en el desarrollo de las plántulas (Vargas, 2008), el desarrollo de plántulas se vio beneficiado en áreas de exclusión, ya que hubo mayor número de plántulas de *P. cembroides* y *Juniperus deppeana*, además, la exclusión de pastoreo permitió que se establecieran plántulas de *Pinus arizonica*.

La riqueza de especies presentó diferencias significativamente entre sitios con un promedio de 3.6 ( $\pm 1,6$  Desviación Estándar en adelante, para las ocho parcelas) en parcelas de control y 6.0 ( $\pm 1.3$  Desviación Estándar) en parcelas de exclusión (Pseudo F1, 14 = 10.51,  $p < 0.011$ ) presentando ambos tratamientos mayor riqueza y diversidad de especies que en los bosques de *Pinus cembroides* como el del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo (Granados *et al.*, 2015).

La infestación de *Tillandsia recurvata* fue mayor en parcelas de control ( $7\% \pm 4,7$ ) en comparación con las parcelas de exclusión (2%; Pseudo F1,14 = 8.18,  $p < 0.014$ ), se sabe que la infestación de *Tillandsia recurvata* se presenta en especies arbóreas con cortezas gruesas, tal como ocurre de manera similar en bosques de la Provincia de Buenos Aires, Argentina presentando un muerte de estas especies (Caldiz *et al.*, 1993).

### 5.3 Características químicas del suelo en los bosques estudiados.

El suelo es parte importante debido a que en su interior se desarrollan funciones ecológicas vitales para la vegetación que sustenta (Domingo, 2006), a tal punto que puede limitar la presencia y productividad de especies de interés forestal en condiciones climáticas similares (González-Rebollar, 1999). El pH es más ácido en los bosques de control, ya que las sustancias liberadas tras el proceso de descomposición de la hojarasca pueden cambiar las condiciones químicas del suelo y la redistribución de los nutrientes (Vargas, 2008), pero ambos tratamientos presentaron un pH más ácido que en el bosque de *P. cembroides* de la Cuenca Oriental en Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Granados *et al.*, 2015).

En este estudio se registró que la materia orgánica varía del 12 al 14 %, siendo más rico en materia orgánica que el suelo del bosque de *Pinus cembroides* de Las Tepezileras ejido Los Molinos, Perote, Veracruz que contiene 0.980 % de materia orgánica (Morales *et al.*, 2012). Además, el contenido de Fósforo es mayor en las parcelas control, aunque en ambos tratamientos el suelo presenta mayor contenido de fósforo que el suelo de bosque de *P. cembroides* de la Cuenca Oriental (Granados *et al.*, 2015).

En las áreas de exclusión las áreas debajo del dosel del bosque se han comportado como sitios seguros de germinación, ya que reúnen las condiciones de temperatura, humedad, y nutrientes (Vargas, 2008) que permiten la presencia de las orquídeas terrestres *Malaxis brachystachys* y *Goodyera oblongifolia*.

## VI. CONCLUSIONES

El pastoreo afecta la diversidad y riqueza de especies, ya que se registró mayor riqueza en las parcelas de exclusión, y el pastoreo afecta en la presencia de algunas especies.

La distribución espacial de los árboles de *Pinus cembroides* es afectada por el pastoreo, ya que los árboles se agrupan como defensa al disturbio del pastoreo.

La herbivoría por los rumiantes que pastorean en el bosque de pino piñonero impide que se desarrollen las plántulas de las especies arbóreas. La vegetación tiende a regenerarse por sí sola una vez que se ha excluido de disturbios.

El suelo de las áreas de control se ve enriquecido en fósforo ya que los animales forman parte del ciclo biogeoquímico.

## VII. RECOMENDACIONES

Realizar muestreos de vegetación en cada estación del año para registrar las especies de plantas que aparecen a través del tiempo.

Realizar investigación sobre los efectos del pastoreo en la propagación e infestación de *Tillandsia recurvata* en árboles y arbustos de los bosques de pino piñonero.

Evaluar la condición del bosque donde se lleva a cabo el pastoreo para determinar el porcentaje de forraje disponible.

Ajustar la carga animal de acuerdo a las especies de ganado a pastorear en los bosques de pino piñonero.

Seleccionar áreas de exclusión del pastoreo con el objetivo de promover la conservación de especies de flora y fauna silvestre.

Evitar el pastoreo en algunas zonas donde crecen especies que son endémicas y que tienen una categoría de protección, por ejemplo; *Echinocereus knippelianus*.

Realizar programas de manejo de algunos sectores de la sierra de Zapalinamé y además involucrar a las personas de los ejidos a participar en actividades de conservación de los bosques.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Aide**, T.M., Zimmerman, J.K., Herrera, L., Rosario, M., y Serrano, M. 1995. Recuperación de bosques en pastizales tropicales abandonados en Puerto Rico. *Ecología y ordenación forestal*, 77(1-3), 77-86.
- 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, 430–437.
- Anderson**, M., Gorley, R. y Clarke, K.P. 2008. For PRIMER: guide to software and statistical methods. Primer-e, Plymouth, UK, 32.
- Anónimo**. 1998. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica "Sierra de Zapalinamé". Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo. Coahuila. 179 pp.
- Arce**, G. L. y J. S. Marroquín. 1985. Las unidades fisonómico-florísticas del cañón de San Lorenzo, Saltillo, Coahuila, México. *Biótica* 10: 369-393.
- Arguedas**, C.R. 2005. Estudio de la suplementación de llamas lactantes y gestantes en condiciones de pastoreo en praderas nativas. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia, 78p.
- Armentrout**, S. M. y Pieper R. D. 1988. Plant distribution surrounding Rocky Mountain pinyon pine and one seed jumper in south-central New Mexico. *Journal of Range Management Archives* 41:139-143.

- Baddeley, A.** y Turner, R. 2005. Spatstat: An R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of statistical software*, 12(1), 1-42.
- Bailey, T.C.** y Gatrell, A.C. 1995. Análisis interactivo de datos espaciales (Vol. 413, No. 8). Essex: Longman Scientific & Technical.
- Bassett, I.E.,** Simcock, R.C., Mitchell, N.D. 2005. Consequences of soil compaction for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology* 30(8), 827-833.
- Begon, M.,** Harper, J.L., Townsend, C.R. 1996. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. 3 a Edición. Ediciones Omega, Barcelona. 886 p.
- Busing, R.T.** 1996. Estimation of tree replacement patterns in an Appalachian *Picea-Abies* forest. *Journal of Vegetation Science* 7(5), 685-694.
- Caldiz, D.O.,** Beltrano J, Fernández LV, Andía I. 1993. Survey of *Tillandsia recurvata* L.: preference, abundance and its significance for natural forests. *Forest Ecology and Management*, 57(1-4), 161-168.
- Carrillo-García, Á.,** De La Luz, J. L. L., Bashan, Y., Bethlenfalvay, G. J. 1999. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology*, 7(4), 321-335.
- Carrillo, J.** 2009. Estructura y regeneración de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* D.K. Bailey en Santa María las Cuevas, Tlaxcala. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 64 p
- Castañeda- Rojas, M. F.,** Endara Agramont, A. R., Villers Ruiz, M. D. L., Nava Bernal, E. G. 2015. Evaluación forestal y de combustibles en bosques de *Pinus hartwegii* en el

Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios. *Madera y bosques*, 21(2), 45-58.

**Ceja-Romero J**, Espejo-Serna A, López Ferrari AR, García CJ, Mendoza RA, Pérez GB. 2008. Las plantas epífitas, su diversidad e importancia, *Ciencias*, 1, págs. 34 – 41

**Chao- A.**, Colwell, R.K., Lin, C.W. Gotelli, N.J. 2009. Muestreo suficiente para estimadores mínimos asintóticos de riqueza de especies. *Ecología*, 90 (4), 1125-1133.

**Chávez, GAG.** 2009. Respuesta de tres especies forestales a la poda mecánica para el control del heno *Tillandsia recurvata* (Doctoral dissertation, Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila).

**Challenger, A.**, y Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. *Capital natural de México*, 1, 87-108.

**Cheng, J.**, Wu, G.L., Zhao, L.P., Li, Y., Li, W., Cheng, J.M. 2011. Cumulative effects of 20-year 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, 40–44.

**CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2011. Biodiversidad mexicana. Ecosistemas de México.

[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/54-pinac11m.pdf)

**CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2020. Biodiversidad mexicana. Ecosistemas de México.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>

- Condit, R., Ashton, P. S., Baker, P., Bunyavejchewin, S., Gunatilleke, S., Gunatilleke, N., Yamakura, T.** 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 288(5470): 1414-1418.
- Connell, J. H., Den Boer, P. J., Gradwell, G. R.** 1971. Dynamics of populations. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands. chapter On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees, 298-313.
- Constante García, V., Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Cornejo Oviedo, E. H., Valencia Manzo, S.** 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Ciencia Forestal en México*, 34(106): 17-39.
- Correa-Metrio, A., Dechnik, Y., Lozano-García, S., Caballero, M.** 2014. Análisis de correspondencia sin tendencia: una herramienta útil para cuantificar cambios ecológicos a partir de conjuntos de datos de fósiles. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 135-143.
- Courtois, D.R., Perryman, B.L., Hussein, H.S.** 2004. Vegetation change after 65 years of grazing and grazing exclusion. *Journal Range Management* 57, 574–582.
- Cune, B., y Grace, J.** 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Oregon, United Status.
- 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.



- Deleglise, C., Loucougaray, G., Alard, D.** 2011. Effects of grazing exclusion on the spatial variability of subalpine plant communities: A multiscale approach. *Basic Appl. Ecol.* 12, 609–619.
- Denisse, S.** 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.
- 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. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 8(2), 583-594.
- Encina-Domínguez, J.A.** 2017. Situación actual de la vegetación de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. PhD Thesis. Department of Botany, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Encina-Domínguez, J.A., Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J.A., Villaseñor J.L., Cantú-Ayala, C.M. Arévalo, J.R.** 2016. Floristic richness of the Sierra de Zapalinamé, Coahuila, Mexico. *Phytotaxa* 283 (1): 1-42.
- Encina-Domínguez, J.A., Villarreal-Quintanilla, J.A., Estrada-Castillón, E., Rueda-Moreno, O.** 2019. Situación actual de la vegetación en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Botanical Sciences*, 97 (4): 630-648.
- Favret-Tondato, R.C.** 2013. Apropriación 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-Linares, LC.** 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicados a la remediación de sitios contaminados.
- Franco, S., Endara, A., Regíl H., Nava G.** 2009. Estudio fitosanitario forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca. Instituto en Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. 76 p.
- García, A. L., Loza, C. S., Aparicio, F. X.** 2018. *Tillandsia recurvata*, una epífita vascular o un problema de salud forestal. XV encuentro Participación de la mujer en la ciencia.
- Granados, D., Hernández, M.A., López, G.** 2012. Ecología de los desiertos del mundo. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. México. 503 p.
- Granados-Sánchez, D.; López-Ríos, G. F.; Hernández-García, M. Á.; Sánchez-González, A.** 2003. Ecología de las plantas epífitas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 9, núm. 2, pp. 101-111.
- Granados-Victorino, R.L., Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A.** 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides subsp. orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). Madera y Bosques, 21(2), 23-43.
- Guariguata, M.R.** 2000. Bases ecológicas generales para el seguimiento de proyectos de restauración de bosques. pp. 83–95. Bogotá, Colombia.
- Guevara, S., Meave, J., Moreno-Casasola, P., Laborde, J.** 1992. Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures. Journal of Vegetation Science, 3(5), 655-664.
- Halfpter, G.** 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. Biology International, 36: 3-17.

- Hill, M. O., y Gauch, H. G.** 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. In *Classification and ordination* (pp. 47-58). Springer, Dordrecht.
- Hobbs, R.J. y Huenneke, L.F.** 1992. Disturbance, diversity and invasion: Implications for conservation. *Conservation Biology* 6: 324–337 p.
- Holl, K.** 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate and soil. *Biotropica* 31(2):229-242.
- Holl, K. D., Quiros-Nietzen, E.** 1999. The effect of rabbit herbivory on reforestation of abandoned pasture in southern Costa Rica. *Biological Conservation*, 87(3), 391-395.
- Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., García-Moya, E.** 2008. Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: un análisis fenético. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(2), 449-458.
- 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.
- Lemmon, PE.** 1957. Un nuevo instrumento para medir la densidad del bosque. *Journal Forests* 55, 667-668.
- Luna, C. M., Romero, M. A., & García, M. E.** (2008). Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: Un análisis fenético. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(2), 449–458
- Malkinson, D., Kadmon, R., Cohen, D.** 2003. Pattern analysis in successional communities—an approach for studying shifts in ecological interactions. *Journal of Vegetation Science*, 14(2), 213-222.

- McVaugh, R.** 1952. Botanically little-known area in Queretaro. Volumen 157. Asa Gray Bull. n.s 1: 169-174.
- Meli, P.** 2003. Restauración ecológica de Bosques tropicales: veinte años en investigación académica. *Interciencia* 28(10): 581-589.
- Moreno, C. E.** 2000. Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1. Sociedad Entomológica Aragonesa.
- Muller-Dombois, D. y Ellenberg, H.** 1974. Aims and methods of Vegetation Ecology. New York, John Wiley & Sons, Inc, 547 p.
- Munshower, F.F.** 1994. Practical handbook of disturbed land revegetation. Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida.
- Nepstad, D. C., Uhl C., Pereira C. A., Cardoso Da Silva J. M.** 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos*, Vol. 76 No. 1: 25-39.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommers.** 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy* 9:539-579.
- Önder, H.** 2008. Un estudio comparativo de pruebas de permutación con distancias euclidianas y de Bray-Curtis para distribuciones agrícolas comunes en regresión. *Revista de investigación animal aplicada*, 34 (2), 133-136.
- Ortiz-Badillo, R.M.** 2012. Estructura y diversidad del Bosque de (*Pinus cembroides* Zucc.) de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México

- Posada, C.**, y Cárdenas, C. 1999. Ecología de los bancos de semillas en una comunidad vegetal de páramo sometida a disturbios por quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza). Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Biología. Bogotá. Pg, 190.
- Ramos-Álvarez, C. H.**, y González-Medrano, F. 1972. La vegetación de la zona árida veracruzana. In Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica (Vol. 43, No. 1, pp. 77-99).
- Real Academia Española (RAE).** 2005. Diccionario de la Lengua Española. Vigésima segunda edición.
- Reyes, J. N. G.** 2007. Evaluación de indicadores para el monitoreo de la salud de agostaderos de los valles del Estado de Durango. Instituto Politécnico Nacional.
- Richardson, D.** 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 527 p
- Ríos, O. V.** 2011. Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta biológica colombiana, 16(2), 221-246.
- Ripley, B. D.** 1977. Modelling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society. 39(2), 172 -212.
- Robert, M. F.** 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. en México. Revista Ciencia Forestal 2(10): 49 – 58.
- Rojas-Mendoza, P.** 1965. Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 124+75 pp.

- 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.
- Rosas- Chavoya, M.**, Granados Sánchez, D., Granados Victorino, R. L., Esparza Govea, S. 2016. Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 52-73.
- Rzedowski, J.** 1966. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina*. 5:5 - 291.
- Rzedowski, J.** 2006. Vegetación de México. (1a ed. digital). México, D.F. CONABIO.
- Shreve, F.** 1942. The desert vegetation of North America. *Botanical Review*. 8, 195–246.
- SER.** Society for Ecological Restoration International Science & Policy WorkingGroup. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration.
- SEMARNAT.** 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México City, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Smith, B,** Wilson JB. 1996. A consumer's guide to evenness indices. *Oikos* 76: 70-82.
- SPSS.** 1997. SPSS Base 7.5 Applications. Guide. Chicago, IL, USA: SPSS Inc.
- 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.

- Stoddart, L.A., Smith A.D., Box T.W.** 1975. Range management. McGraw - Hill. New York.
- Ter Braak, C. J. F.** 1988. Partial canonical correspondence analysis. In: Classification and related methods of data analysis: proceedings of the first conference of the International Federation of Classification Societies (IFCS), Technical University of Aachen, FRG, 29 June-1 July 1987 (pp. 551-558). North-Holland.
- Ter Braak CJF y Šmilauer P.** 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for windows users guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA: Microcomputer Power.
- UAAAN** (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). 1998. Programa de manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Sierra de Zapalinamé”. Coahuila, México.
- Urbanska, K. M., y Fattorini, M.** 2000. Seed rain in high-altitude restoration plots in Switzerland. *Restoration Ecology*, 8(1), 74-79.
- Vieira, I. C. G., Uhl, C., Nepstad, D.** 1994. The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a ‘succession facilitator’ in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia. *Vegetatio*, 115(2), 91-99.
- Vargas, O.** 2008. Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino: El caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Victorino, R. L. G., Sánchez, D. G., Sánchez-González, A.** 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides subsp. orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques*, 21(2).

- Villers, L., S. Villers y J. Wong.** 2006. Fire hazard assessment at Malinche National Park, Central Mexico. 3rd International Fire Ecology Conference, San Diego, California. 3 p.
- Whittaker, R. H.** 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3): 213-251.
- Young, C.G., Dale, M.R.T., Henry, G.H.R.** 1999. Spatial pattern of vegetation in arctic sedge meadows. *Ecoscience* 6: 583-592.
- Zhang, 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.



## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Listado de especies registradas en el bosque de pino piñonero de la Sierra de Zapalinamé en la sierra de Zapaliname, Coahuila, México.

Familia	Nombre científico	Abreviaturas de especies	Forma de vida
Acanthaceae	<i>Dyschoriste linearis</i> (Torr. & A. Gray) Kuntze	<i>Dys lin</i>	Hierba
	<i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Pers.	<i>Ely imb</i>	Hierba
Amaranthaceae	<i>Chenopodium foetidum</i> Lam.	<i>Che foe</i>	Hierba
Anacardiaceae	<i>Rhus aromatica</i> Aiton	<i>Rhu aro</i>	Arbusto
	<i>Rhus virens</i> Lindh. ex A. Gray	<i>Rhu vir</i>	Arbusto
Apiaceae	<i>Donnellsmithia ternata</i> (S. Watson) Mathias & Constance	<i>Don ter</i>	Hierba
Asparagaceae	<i>Agave gentryi</i> B. Ullrich	<i>Aga gen</i>	Arbusto
	<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.	<i>Das ced</i>	Arbusto
	<i>Nolina cespitifera</i> Trel.	<i>Nol ces</i>	Arbusto
	<i>Yucca carnerosana</i> (Trel.) McKelvey	<i>Yuc car</i>	Arbusto
Asteraceae	<i>Acourtia wrightii</i> (A. Gray) Reveal & R.M. King	<i>Aco wri</i>	Hierba
	<i>Ageratina calophylla</i> (Greene) Molinari & Mayta	<i>Age cal</i>	Hierba
	<i>Ageratina saltillensis</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob.	<i>Age sal</i>	Arbusto
	<i>Ageratina scorodonioides</i> (A. Gray) R.M. King & H. Rob.	<i>Age sco</i>	Hierba
	<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni	<i>Age cor</i>	Hierba
	<i>Artemisia ludoviciana</i> Nutt.	<i>Art lud</i>	Hierba
	<i>Aztecaster matudae</i> (Rzed.) G.L. Nesom	<i>Azt mat</i>	Arbusto
	<i>Baccharis potosina</i> A. Gray	<i>Bac pot</i>	Arbusto
	<i>Bidens pilosa</i> L.	<i>Bid pil</i>	Hierba
	<i>Brickellia eupatorioides</i> (L.) Shinnars	<i>Bri eup</i>	Hierba
	<i>Brickellia grandiflora</i> (Hook.) Nutt.	<i>Bri gra</i>	Hierba
	<i>Brickellia lemmonii</i> A. Gray	<i>Bri lem</i>	Hierba
	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	<i>Bri ver</i>	Arbusto
	<i>Chaetopappa bellioides</i> (A. Gray) Shinnars	<i>Chae bel</i>	Hierba
	<i>Chaptalia nutans</i> (L.) Pol.	<i>Cha nut</i>	Hierba
	<i>Chrysactinia mexicana</i> A. Gray	<i>Chr mex</i>	Arbusto
	<i>Dahlia tubulata</i> P.D. Sørensen	<i>Dah tub</i>	Hierba
	<i>Dyssodia papposa</i> (Vent.) Hitchc.	<i>Dys pap</i>	Hierba
	<i>Dyssodia pinnata</i> (Cav.) B.L. Rob.	<i>Dys pin</i>	Hierba
	<i>Erigeron pubescens</i> Kunth	<i>Eri pub</i>	Hierba
	<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	<i>Gym glu</i>	Arbusto
	<i>Helianthella mexicana</i> A. Gray	<i>Hel mex</i>	Hierba
	<i>Heterosperma pinnatum</i> Cav.	<i>Het pin</i>	Hierba
	<i>Hieracium crepidispermum</i> Fr.	<i>Hie cre</i>	Hierba

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Abreviaturas de especies</b>	<b>Forma de vida</b>
	<i>Lactuca graminifolia</i> Michx.	<i>Lac gram</i>	Hierba
	<i>Pseudognaphalium roseum</i> (Kunth) Anderb.	<i>Pse ros</i>	Hierba
	<i>Pseudognaphalium semiamplexicaule</i> (DC.) Anderb.	<i>Pse sem</i>	Hierba
	<i>Sanvitalia angustifolia</i> Engelm. ex A. Gray	<i>San ang</i>	Hierba
	<i>Solidago hintoniorum</i> G.L. Nesom	<i>Sol hin</i>	Hierba
	<i>Stevia micrantha</i> Lag.	<i>Ste mic</i>	Hierba
	<i>Stevia ovata</i> Willd.	<i>Ste ova</i>	Hierba
	<i>Stevia porphyrea</i> McVaugh	<i>Ste por</i>	Hierba
	<i>Stevia salicifolia</i> Cav.	<i>Ste sal</i>	Arbusto
	<i>Stevia serrata</i> Cav.	<i>Ste ser</i>	Hierba
	<i>Stevia tomentosa</i> Kunth	<i>Ste tom</i>	Hierba
	<i>Tagetes lucida</i> Cav.	<i>Tag luc</i>	Hierba
	<i>Tetaneuris scaposa</i> (DC.) Greene	<i>Tet sca</i>	Hierba
	<i>Thymophylla pentachaeta</i> (DC.) Small	<i>Thy pen</i>	Hierba
	<i>Verbesina coahuilensis</i> A. Gray ex S. Watson	<i>Ver coa</i>	Hierba
	<i>Verbesina hypomalaca</i> A. Gray ex S. Watson	<i>Ver hyp</i>	Hierba
	<i>Verbesina longipes</i> Hemsl.	<i>Ver lon</i>	Hierba
	<i>Vernonia greggii</i> A. Gray	<i>Ver gre</i>	Hierba
	<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	<i>Vig den</i>	Hierba
	<i>Viguiera greggii</i> (A. Gray) S.F. Blake	<i>Vig gre</i>	Arbusto
	<i>Zaluzania megacephala</i> Sch. Bip.	<i>Zal meg</i>	Hierba
Berberidaceae	<i>Alloerberis eutriphylla</i> (Fedde) C.C.Yu & K.F.Chung	<i>All eut</i>	Arbusto
Boraginaceae	<i>Nama hispida</i> A. Gray	<i>Nam his</i>	Hierba
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	<i>Lep vir</i>	Hierba
Cactaceae	<i>Coryphantha hintoniorum</i> Dicht & A. Lüthy	<i>Cor hin</i>	Cactus
	<i>Echinocereus knippelianus</i> Liebner	<i>Ech kni</i>	Cactus
	<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck	<i>Opu eng</i>	Cactus
Campanulaceae	<i>Lobelia ehrenbergii</i> Vatke	<i>Lob ehr</i>	Hierba
Caprifoliaceae	<i>Lonicera pilosa</i> (Kunth) Spreng.	<i>Lon pil</i>	Guía
Caryophyllaceae	<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex D.F.K. Schldtl.	<i>Are lyc</i>	Hierba
	<i>Drymaria glandulosa</i> Bartl.	<i>Dry gla</i>	Hierba
	<i>Paronychia mexicana</i> Hemsl.	<i>Par mex</i>	Hierba
Commelinaceae	<i>Gibasis geniculata</i> (Jacq.) Rohweder	<i>Gib gen</i>	Hierba
	<i>Gibasis karwinskyana</i> (Schult. f.) Rohweder	<i>Gib kar</i>	Hierba
Convolvulaceae	<i>Dichondra argentea</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	<i>Dic arg</i>	Hierba
	<i>Dichondra brachypoda</i> Wooton & Standl.	<i>Dic bra</i>	Hierba
	<i>Ipomoea costellata</i> Torr.	<i>Ipo cos</i>	Hierba
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	<i>Jun dep</i>	Árbol
	<i>Juniperus flaccida</i> Schldtl.	<i>Jun fla</i>	Árbol
Cyperaceae	<i>Carex schiedeana</i> Kunze	<i>Car sch</i>	Hierba

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Abreviaturas de especies</b>	<b>Forma de vida</b>
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	<i>Arb sal</i>	Árbol
	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	<i>Arc pun</i>	Arbusto
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia brachycera</i> Engelm.	<i>Eup bra</i>	Hierba
	<i>Euphorbia dentata</i> Michx.	<i>Eup den</i>	Hierba
	<i>Euphorbia exstipulata</i> Engelm.	<i>Eup exs</i>	Hierba
	<i>Euphorbia macropus</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss.	<i>Eup mac</i>	Hierba
	<i>Euphorbia serrula</i> Engelm.	<i>Eup ser</i>	Hierba
	<i>Evolvulus sericeus</i> Sw.	<i>Evo ser</i>	Hierba
	<i>Tragia ramosa</i> Torr.	<i>Tra ram</i>	Hierba
Fabaceae	<i>Astragalus sanguineus</i> Rydb.	<i>Ast san</i>	Hierba
	<i>Cologania angustifolia</i> Kunth	<i>Col ang</i>	Hierba
	<i>Cologania pallida</i> Rose	<i>Col pal</i>	Hierba
	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	<i>Dal bic</i>	Arbusto
	<i>Dalea capitata</i> S. Watson	<i>Dal cap</i>	Arbusto
	<i>Dalea radicans</i> S. Watson	<i>Dal rad</i>	Arbusto
	<i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega	<i>Mim acu</i>	Arbusto
	<i>Senna demissa</i> (Rose) H.S. Irwin & Barneby	<i>Sen dem</i>	Hierba
Fagaceae	<i>Quercus microphylla</i> Née	<i>Que mic</i>	Arbusto
	<i>Quercus pringlei</i> Seemen	<i>Que pri</i>	Arbusto
	<i>Quercus saltillensis</i> Trel.	<i>Que sal</i>	Arbusto
Geraniaceae	<i>Geranium seemanii</i> Peyr.	<i>Ger sem</i>	Hierba
Hydrangeaceae	<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray	<i>Phi mic</i>	Arbusto
Lamiaceae	<i>Hedeoma costata</i> A. Gray	<i>Hed cos</i>	Hierba
	<i>Salvia glechomifolia</i> Kunth	<i>Sal gle</i>	Hierba
	<i>Salvia greggii</i> A. Gray	<i>Sal gre</i>	Arbusto
	<i>Salvia regla</i> Cav.	<i>Sal reg</i>	Arbusto
	<i>Scutellaria potosina</i> Brandegee	<i>Scu pot</i>	Hierba
Liliaceae	<i>Echeandia flavescens</i> (Schult. & Schult. f.) Cruden	<i>Ech fla</i>	Hierba
Linaceae	<i>Linum schiedeanum</i> Schltld. & Cham.	<i>Lin sch</i>	Hierba
	<i>Schoenocaulon texanum</i> Scheele	<i>Sch tex</i>	Hierba
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis oblongifolia</i> (A. Gray) Heimerl	<i>Mir obl</i>	Hierba
Oleaceae	<i>Forestiera reticulata</i> Torr.	<i>For ret</i>	Arbusto
	<i>Fraxinus greggii</i> A. Gray	<i>Fra gre</i>	Arbusto
Onagraceae	<i>Calylophus berlandieri</i> Spach	<i>Cal ber</i>	Hierba
	<i>Oenothera rosea</i> L'Hér. ex Aiton	<i>Oen ros</i>	Hierba
Orchidaceae	<i>Goodyera oblongifolia</i> Raf.	<i>Goo obl</i>	Hierba
	<i>Hexalectris grandiflora</i> (A. Rich. & Galeotti) L.O. Williams	<i>Hex gra</i>	Hierba
	<i>Malaxis brachystachys</i> (Lindl.) Rchb. f.	<i>Mal bra</i>	Hierba
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	<i>Oxa cor</i>	Hierba

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Abreviaturas de especies</b>	<b>Forma de vida</b>
	<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	<i>Oxa lat</i>	Hierba
Passifloraceae	<i>Passiflora suberosa</i> L.	<i>Pas sub</i>	Hierba
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	<i>Pin cem</i>	Árbol
Plantagiaceae	<i>Mecardonia vandellioides</i> (Kunth) Pennell	<i>Mer van</i>	Hierba
Poaceae	<i>Achnatherum multinode</i> (Scribn. ex Beal) Valdés-Reyna & Barkworth	<i>Ach mul</i>	Hierba
	<i>Bouteloua dactyloides</i> (Nutt.) Columbus	<i>Bou dac</i>	Hierba
	<i>Bouteloua uniflora</i> Vasey	<i>Bou uni</i>	Hierba
	<i>Brachypodium mexicanum</i> (Roem. & Schult.) Link	<i>Bra mex</i>	Hierba
	<i>Bromus anomalus</i> Rupr. ex E. Fourn.	<i>Bro ano</i>	Hierba
	<i>Bromus carinatus</i> Hook. & Arn.	<i>Bro car</i>	Hierba
	<i>Elymus arizonicus</i> (Scribn. & J.G. Sm.) Gould	<i>Ely ari</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia dubia</i> E. Fourn.	<i>Muh dub</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia emersleyi</i> Vasey	<i>Muh eme</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia glauca</i> (Nees) B.D. Jacks.	<i>Muh gla</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia phleoides</i> (Kunth) Columbus	<i>Muh phl</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia rigida</i> (Kunth) Kunth	<i>Muh rig</i>	Hierba
	<i>Muhlenbergia setifolia</i> Vasey	<i>Muh set</i>	Hierba
	<i>Nassella leucotricha</i> (Trin. & Rupr.) R.W. Pohl	<i>Nas leu</i>	Hierba
	<i>Piptochaetium fimbriatum</i> (Kunth) Hitchc.	<i>Pip fim</i>	Hierba
	<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	<i>Sch san</i>	Hierba
	<i>Trisetum filifolium</i> Scribn. ex Beal	<i>Tri fil</i>	Hierba
	<i>Zuloagaea bulbosa</i> (Kunth) E. Bess	<i>Zul bul</i>	Hierba
Polemoniaceae	<i>Loeselia greggii</i> S. Watson	<i>Loe gre</i>	Hierba
Polygalaceae	<i>Hebecarpa barbeyana</i> (Chodat) J.R. Abbott	<i>Heb bar</i>	Hierba
	<i>Polygala dolichocarpa</i> S.F. Blake	<i>Pol dol</i>	Hierba
	<i>Polygala shinersii</i> W.H. Lewis	<i>Pol shi</i>	Hierba
	<i>Rhinotropis lindheimeri</i> (A. Gray) J.R. Abbott	<i>Rhi lin</i>	Hierba
Polygonaceae	<i>Eriogonum atrorubens</i> Engelm.	<i>Eio atr</i>	Hierba
Portulacaceae	<i>Talinum aurantiacum</i> Engelm.	<i>Tal aur</i>	Hierba
Pteridaceae	<i>Pellaea intermedia</i> Mett. ex Kuhn	<i>Pel int</i>	Hierba
	<i>Myriopteris rufa</i> Fée	<i>Myr ruf</i>	Hierba
Ranunculaceae	<i>Clematis drummondii</i> Torr. & A. Gray	<i>Cle dru</i>	Hierba
	<i>Clematis pitcheri</i> Torr. & A. Gray	<i>Cle pit</i>	Hierba
Rhamnaceae	<i>Ceanothus greggii</i> A. Gray	<i>Cea gre</i>	Arbusto
Rosaceae	<i>Lindleya mespiloides</i> Kunth	<i>Lin mes</i>	Arbusto
	<i>Prunus cercocarpifolia</i> Villarreal	<i>Pru cer</i>	Arbusto
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	<i>Pru ser</i>	Arbusto
	<i>Purshia plicata</i> (D. Don) Henrickson	<i>Pur pli</i>	Arbusto
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltldl.	<i>Bou ter</i>	Arbusto

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Abreviaturas de especies</b>	<b>Forma de vida</b>
	<i>Crusea diversifolia</i> (Kunth) W.R. Anderson	<i>Cru div</i>	Hierba
	<i>Hedyotis palmeri</i> (A. Gray) W.H. Lewis	<i>Hed pal</i>	Hierba
Santalaceae	<i>Phoradendron leucarpum</i> (Raf.) Reveal & M.C. Johnst.	<i>Pho leu</i>	Muérdago
Scrophulariaceae	<i>Castilleja scorzonerifolia</i> Kunth	<i>Cas sco</i>	Hierba
Solanaceae	<i>Nierembergia angustifolia</i> Kunth	<i>Nie ang</i>	Hierba
	<i>Physalis hederifolia</i> A. Gray	<i>Phy hed</i>	Hierba
	<i>Solanum verrucosum</i> Schltldl.	<i>Sol ver</i>	Hierba
Verbenaceae	<i>Verbena neomexicana</i> Small	<i>Ver neo</i>	Hierba
Violaceae	<i>Hybanthus verbenaceus</i> (Kunth) Loes.	<i>Hyb ver</i>	Hierba
	<i>Hybanthus verticillatus</i> (Ortega) Baill.	<i>Hyb vrt</i>	Hierba



## Anexo 2. Memoria fotográfica del bosque de pino piñonero



Fotografía 1. El estrato arbóreo en el bosque de pino piñonero de la Sierra de Zapalinamé está dominado por *Pinus cembroides*.



Fotografía 2. El estrato herbáceo en bosque de *Pinus cembroides* con exclusión del pastoreo tiene mayor cobertura y está dominado por el zacate *Piptochaetium fimbriatum*





Fotografía 3. En el bosque de *Pinus cembroides* donde se ha excluido el pastoreo, el estrato herbáceo es más denso.



Fotografía 4. Plántulas de pino piñonero (*Pinus cembroides*) creciendo en áreas con menor impacto por el pastoreo de ganado.





Fotografía 5. *Prunus cercocarpifolia*, especie endémica y dominante en el estrato arbustivo en los bosques con pastoreo.



Fotografía 6. La orquídea *Malaxis brachystachys*, sólo se presentó en áreas excluidas del pastoreo. Prefiere bosques con dosel cerrado.





Fotografía 7. El pastoreo del ganado equino apacentando en bosque de *Pinus cembroides*. El estrato herbáceo es muy bajo y domina el zacate *Bouteloua dactyloides* y se muestra mayor sobreapacentamiento.



Fotografía 8. Ganado bovino pastoreando en zonas de bosque de *Pinus cembroides* en terrenos del ejido Cuauhtémoc



Fotografía 9. Medición de distribución espacial de especies arbóreas en los sitios de muestro de 30 x 30 m.