

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**POSGRADO CONJUNTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**EFFECTOS DE LA EXCLUSIÓN DEL PASTOREO SOBRE CUATRO TIPOS DE  
VEGETACIÓN EN EL NORESTE DE MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PRESENTA**

**ING. AGR. JUAN EMMANUEL SEGURA CARMONA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L. MÉXICO**

**MAYO 2017**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**POSGRADO CONJUNTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**EFFECTOS DE LA EXCLUSIÓN DEL PASTOREO SOBRE CUATRO TIPOS DE  
VEGETACIÓN EN EL NORESTE DE MÉXICO**

**TESIS  
QUE PRESENTA**

**ING. AGR: JUAN EMMANUEL SEGURA CARMONA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L. MÉXICO**

**MAYO 2017**

**EFFECTOS DE LA EXCLUSIÓN DEL PASTOREO SOBRE CUATRO TIPOS DE  
VEGETACIÓN EN EL NORESTE DE MÉXICO**

**TESIS**

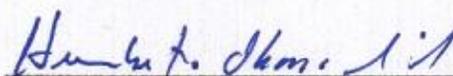
**Como requisito parcial para obtener el grado de:**

**MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

**PRESENTA**

**ING. AGR. JUAN EMMANUEL SEGURA CARMONA**

**Comité de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
**Ph.D. Humberto Ibarra Gil**  
**Asesor principal**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. sc agr. Hugo Bernal Barragán**  
**Co-Asesor**

  
\_\_\_\_\_  
**Ph. D. Rogelio Carrera Treviño**  
**Co-Asesor**

## DEDICATORIA

A Jehová Dios creador y sustentador de todas las cosas, por permitirme concluir mis estudios profesionales de Maestría.

A mi esposa Nereyda Salas a quien dedico esta tesis como agradecimiento de su apoyo incondicional, así como por aquel tiempo que me regalo para dedicarle a la maestría. Y sobre todo por aquellas veces que la hizo de público y evaluador para practicar aquellos seminarios desesperantes jajajaja

A mis padres Juan y Gela, por su comprensión y apoyo, al sacrificar muchas veces aquellas tardes de domingo las cuales no pude acompañarlos.

A mi hermano Pablo y su esposa Flor.

A mi hermana Martha y a mis sobrinos, Yose, Christian e Isai, que también vieron mermado el tiempo que les dedicaba, al estar ocupado y no poder visitarlos muy seguido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ph.D. Humberto Ibarra Gil amigo, maestro y asesor a quien agradezco todo el tiempo que me dedicó, la confianza y el apoyo que me brindó para iniciar, llevar a cabo y culminar la maestría, por el interés que mostro en la investigación, por aquellos consejos, correcciones e incluso regaños, por sus frases célebres como aquella de “*SOLO A LOS QUE NO TIENEN VACAS NO SE LE MUEREN*”.

Al Dr. Hugo Bernal Barragán por el interés y apoyo para desarrollar esta investigación, por facilitarme el equipo, reactivos e instalaciones del Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos, por sus consejos y revisiones objetivas y acertadas con las que me apoyó durante toda la maestría.

Al Ph.D. Rogelio Carrera Treviño por el apoyo que siempre me ha brindado, su pláticas orientadoras, así como por aceptar incorporarse a mi Comité de tesis.

A CONACYT por la beca de manutención brindada a lo largo de la Maestría.

A UANL-PAICYT por el apoyo económico para la realización de esta investigación.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) Cuatro Ciénegas Coahuila por permitir el uso de sus instalaciones en el ejido “Antiguos Mineros” en especial al M.C. Juan Carlos Ibarra Flores y a Benjamín Ornelas.

A la comunidad de “Antiguos Mineros” por permitirme llevar a cabo la evaluación en sus terrenos.

A PRONATURA NORESTE A.C. por permitir utilizar sus instalaciones, así como su rancho “POZA AZULES” para la realización del proyecto. En especial a Biol. David Borre por su siempre buena disposición y Juan Villanueva por la ayuda que me brindó en las jornadas de muestreo.

A Ing. Humberto Sánchez, por su apoyo en la ejecución técnica de esta investigación.

Al Ing. Fernando Cabriaes Luna por el apoyo para analizar las muestras de suelo.

A los doctores José A. Villarreal Quintanilla (UAAAN) y Jesús Valdés Reyna (UAAAN) por la identificación de especies vegetales.

A la M.C. Nydia Vásquez, Guadalupe Medina y Emiliano Quiroz por la ayuda que me brindaron en el laboratorio.

Al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía.

Al Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía.

A aquellos que de una u otra manera me apoyaron para culminar mis estudios de maestría.

**A todos ustedes**

**“MUCHAS GRACIAS”**

## ABREVIATURAS

<b>ha</b>	Hectárea
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°</b>	Grados sexagesimales
<b>'</b>	Minutos sexagesimales
<b>''</b>	Segundos sexagesimales
<b>MS</b>	Materia seca
<b>M</b>	Mezquital
<b>MH</b>	Matorral halófito
<b>H</b>	Humedal
<b>PH</b>	Pastizal halófito
<b>IBM</b>	International Business Machines
<b>SPSS</b>	Statistical Package for the Social Sciences
<b>NS</b>	No significativa

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	xii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Hipótesis .....	3
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Agostaderos .....	4
2.1.1 Agostaderos y su aprovechamiento.....	4
2.1.2 Condición de los agostaderos .....	5
2.1.3 Coeficiente de agostadero .....	5
2.1.4 Capacidad de carga y carga animal .....	6
2.1.5 Degradación de los agostaderos .....	6
2.1.6 Desertificación .....	7
2.2 Exclusión del pastoreo .....	8
2.2.1 Utilidad de la exclusión del pastoreo .....	8
2.3 La exclusión del pastoreo y la vegetación.....	8
2.3.1 Competencia entre especies vegetales .....	8

2.3.2	Efecto de la exclusión del pastoreo sobre la vegetación .....	9
2.4	La exclusión del pastoreo y el índice de diversidad .....	9
2.4.1	Índice de diversidad de especies vegetales .....	9
2.4.2	Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el índice de diversidad.....	10
2.5	La exclusión del pastoreo y el suelo .....	11
2.5.1	La importancia de la materia orgánica en el suelo.....	11
2.5.2	Efecto de la exclusión del pastoreo y la densidad aparente del suelo	11
2.5.3	La exclusión del pastoreo y la capacidad de infiltración del suelo .....	12
2.5.4	Materia orgánica, carbono orgánico, fósforo disponible y nitrógeno total ...	13
2.5.5	Islas de fertilidad.....	14
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1	Lugar del estudio.....	16
3.2	Muestreo de la vegetación .....	18
3.3	Densidad aparente .....	21
3.4	Contenido de materia orgánica, carbono, fósforo y nitrógeno del suelo...	22
3.5	Capacidad de infiltración .....	23
3.6	Índice de Shannon-Wiener.....	23
3.7	Análisis estadístico.....	24

<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	25
4.1	Respuesta de la vegetación a la exclusión del pastoreo .....	25
4.1.1	Grupo de gramíneas y no gramíneas .....	25
4.1.2	Mezquital .....	25
4.1.3	Matorral halófito .....	30
4.1.4	Humedal .....	32
4.1.5	Pastizal halófito.....	34
4.1.6	Índice de Shannon-Wiener .....	36
4.2	Respuesta del suelo a la exclusión del pastoreo .....	37
4.2.1	Densidad aparente del suelo .....	37
4.2.2	Infiltración del agua en el suelo .....	39
4.2.3	Contenido de materia orgánica y carbono orgánico, fósforo disponible y nitrógeno .....	42
4.2.4	Islas de fertilidad.....	44
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	45
5.1	Vegetación .....	45
5.1.1	Respuesta de la vegetación .....	45
5.1.2	Índice Shannon-Wiener .....	48
5.2	Suelo .....	48
5.2.1	Densidad aparente del suelo .....	48

5.2.2	Densidad aparente del suelo entre arbustos y bajo arbustos .....	49
5.2.3	Infiltración .....	50
5.2.4	Contenido de materia orgánica, carbono, nitrógeno y fosforo del suelo .....	50
5.2.5	Islas de fertilidad.....	51
6	<b>CONCLUSIONES</b> .....	52
7	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b> .....	53
8	<b>ANEXO 1</b> .....	63

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.-</b> Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “mezquital”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.....	<b>27</b>
<b>Cuadro 2.-</b> Resultados del sitio “mezquital” muestreado con el método de cuadrantes centrados en un punto, enfocado en arbustivas de porte medio-alto.....	<b>29</b>
<b>Cuadro 3.-</b> Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “matorral halófito”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.....	<b>31</b>
<b>Cuadro 4.-</b> Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “humedal”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.....	<b>33</b>
<b>Cuadro 5.-</b> Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “pastizal halófito”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.....	<b>35</b>
<b>Cuadro 6.-</b> Depósitos de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible en los primeros 5 centímetros de la superficie del suelo en los cuatro tipos de vegetación.....	<b>43</b>

**Cuadro 7.-** Contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible encontrados bajo arbustos y entre arbustos en los primeros 5 centímetros de la superficie del suelo para ambos tratamientos.....**44**

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.-** Precipitación durante el estudio comparado con el promedio de precipitación de los últimos 10 años. .... **16**
- Figura 2.-** Descripción de la unidad muestral y el método muestral, se observa la forma de medir la cobertura tanto para herbáceas como para gramíneas, además de señalar la ubicación de las muestras de suelo para analizar. .... **19**
- Figura 3.-** Descripción del método de distancia cuadrantes centrados en un punto, se muestra como se deben de tomar las distancias a cada individuo, así como su diámetro. .... **21**
- Figura 4.-** Descripción de la forma de toma de muestras del suelo en el sitio mezquital, se muestra donde se toman las muestras tanto como bajo arbusto y entre arbustos. .... **22**
- Figura 5.-** Índice de diversidad para cada tratamiento en cada sitio, p= pastoreo, e= exclusión, m=mezquital, h&g= herbáceas y gramíneas, a= arbustivas, mh= matorral halófito, h= humedal, ph= pastizal halófito, \* = muestra significancia y ns= no significativo. .... **36**
- Figura 6.-** Densidad aparente del suelo de las islas de fertilidad, y los sitios “mezquital”, “matorral halófito”, “humedal” y “pastizal halófito”. \* =diferencia significativa ( $p<0.05$ ), ns= no significativo. .... **38**
- Figura 7.-** Tasa de infiltración entre tratamientos expresada en mm de agua en 5, 10 y 15 minutos en un área de 100 cm<sup>2</sup>, en el tipo de vegetación mezquital, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento ( $p<0.05$ ), ns = no significativo. .... **39**

- Figura 8.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de  $380\text{cm}^{-2}$  en 5 minutos. La densidad aparente del suelo ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio..... **40**
- Figura 9.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de  $380\text{cm}^{-2}$  en 10 minutos. La densidad aparente del suelo ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio. .... **41**
- Figura 10.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de  $380\text{cm}^{-2}$  en 5 minutos. La densidad aparente del suelo ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio..... **41**

## RESUMEN

El pastoreo puede afectar la estructura de las comunidades vegetales, características físicas y químicas del suelo y la distribución de nutrientes. La exclusión del pastoreo ha sido una de las principales estrategias utilizadas alrededor del mundo para mejorar la condición de los agostaderos. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta que presentan cuatro tipos diferentes de vegetación, así como el suelo, al pastoreo y exclusiones de pastoreo en agostaderos en el noreste de México. El experimento se realizó en Cuatro Ciénegas Coahuila, se establecieron 4 sitios en cuatro tipos de vegetación, estos sitios contaban con una exclusión del pastoreo de 10 años, y colindaban con terrenos pastoreados continuamente por más de 30 años. Los sitios fueron llamados "Mezquital", "Matorral Halófito", "Humedal" y "Pastizal Halófito". La composición botánica se evaluó en cada sitio junto con la producción de materia seca, cobertura vegetal y el índice de diversidad de Shannon-Wiener, en el suelo se midió la tasa de infiltración, densidad aparente, fósforo disponible, carbono orgánico y contenido de nitrógeno. La producción de biomasa de gramíneas fue mayor ( $p < 0.05$ ) para el tratamiento exclusión, en comparación con el tratamiento de pastoreo, en los sitios "Mezquital", "Matorral Halófito" y "Pastizal Halófito", pero no se encontró diferencia en el sitio "Humedal" ( $p > 0.05$ ). La densidad aparente del suelo fue mayor para el tratamiento pastoreo ( $p < 0.05$ ) en los sitios "Mezquital", "Matorral Halófito" y "Humedal"; en el sitio "Pastizal Halófito" la densidad aparente del suelo no fue diferente ( $p > 0.05$ ) a la de "pastoreo". La tasa de infiltración fue mayor para el tratamiento de exclusión ( $p < 0.05$ ) en los sitios "Mezquital", "Matorral Halófito", y en el sitio "Pastizal Halófito" esta variable no

presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) pero sí una ligera tendencia. El contenido de materia orgánica y carbono orgánico del suelo no presentó diferencias significativas en ninguno de los sitios; el contenido de fósforo disponible fue mayor en el tratamiento de exclusión en los sitios “Mezquital” y “Humedal”, el contenido de nitrógeno total solo fue superior en el tratamiento de pastoreo para el sitio humedal. En conclusión, la exclusión del pastoreo por 10 años incrementa la producción de materia seca y composición botánica de gramíneas, mejora la estructura y la infiltración del agua en el suelo, pero disminuye la diversidad de especies herbáceas y gramíneas. No encontramos evidencias fuertes que indiquen que la exclusión del pastoreo afecte la materia orgánica, el carbono orgánico, fósforo disponible y nitrógeno total del suelo.

**Palabras claves:** *Exclusión del pastoreo, agostadero, densidad aparente, capacidad de infiltración, islas de fertilidad.*

## ABSTRACT

Grazing may affect the structure of vegetal community, the physical and chemical properties of soil and the cycle and distribution of nutrients. Grazing exclusion has been used around of the world as one of the main methods for improvement of range condition. The aim of this study was to evaluate the soil and vegetation response of four vegetation types to grazing exclusion on rangelands of northeast of Mexico. The experiment was realized on Cuatro Ciénegas Coahuila. Four pairs of sites were located in four different vegetation types, which had been excluded of grazing for at least ten years, and were near to lands, which had been grazed for at least the last thirty years. The sites were named "Mezquital", "Matorral Halófito "Humedal" and "Pastizal Halófito". Botanical composition was evaluated on each site, along with dry matter production, vegetation cover and Shannon diversity index. Infiltration rate, bulk density, available phosphorus, organic carbon and nitrogen content on soil were measured. The dry matter production of grasses was significantly higher ( $p < 0.05$ ) for exclusion treatment compared with grazing on sites "Mezquital", "Matorral Halófito" and "Pastizal Halófito", and no difference was found at the site "Humedal" ( $p > 0.05$ ). The soil density was higher ( $p < 0.05$ ) for grazing treatment on sites "Mezquital", "Matorral Halófito" and "Humedal", however in the site "Pastizal Halófito" significant difference was not observed ( $p > 0.05$ ). The infiltration rate was higher for the exclusion treatment ( $p < 0.05$ ) on the sites 1 and 2, and the site "Pastizal Halófito" did not show significant differences ( $p > 0.05$ ). The content of organic matter and organic carbon did not show significant differences in any of the sites. The available phosphorus content was greater in the exclusion treatment in the "Mezquital" and

"Humedal" sites, the total nitrogen content was only higher in the grazing treatment for the "Humedal" site. In conclusion, grazing exclusion for 10 years, improve the dry matter production and botanical composition of graminoids, improve the soil structure and the water infiltration rate, but decreased the diversity of forbs and graminoids species. We can't find strong evidences to indicate that grazing exclusion affect the pools of organic matter, organic carbon, available phosphorus and total nitrogen of the soil.

**Keywords:** *grazing exclusion, rangeland, bulk density, infiltration rate, fertility islands*

## 1 INTRODUCCIÓN

El pastoreo de animales domésticos es en muchos países el principal método para aprovechar la vegetación de las zonas áridas, remotas o accidentadas, comúnmente llamadas agostaderos, los cuales están ampliamente distribuidos, cubriendo a nivel mundial un área estimada de aproximadamente 52.5 millones de kilómetros cuadrados, (cerca del 40.5% del área terrestre), sin tomar en cuenta la superficie cubierta por los océanos y los casquetes polares (Suttie *et al.*, 2005).

Si bien los agostaderos se caracterizan por tener una producción extensiva de forraje, precipitación baja y errática, drenaje pobre, y frecuentemente baja fertilidad del suelo (Holechek *et al.*, 1998), ellos brindan un gran número de servicios, como la ganadería, la captura de carbono, hábitat para la flora y fauna, plantas de importancia para la industria, plantas medicinales, combustibles como leña, materiales para construcción, además brinda un medio de recreación, aprovechamiento cinegético así como superficie captadora de agua dulce (D'Odorico *et al.*, 2013; Heady, 1975; NRC, 1994).

Los agostaderos se consideran el recurso forrajero más importante para el sistema de ganadería extensiva (Hussain & Durrani, 2009). De acuerdo a Esqueda *et al.*, (2011), en México más del 57% del territorio nacional está destinado a este sistema de actividad ganadera. El fuego, la precipitación, el tipo de suelo y los animales que pastorean son los principales factores que determinan la composición, distribución y producción de especies vegetales en el agostadero (Sathaye & Meyers, 1995); otros factores que en las últimas décadas han estado influenciando estos aspectos lo son el calentamiento global y la invasión de especies vegetales exóticas (Bardgett, 2011).

Las estrategias para el manejo de pastoreo se han desarrollado como resultado de un esfuerzo para hacer más eficiente el uso del forraje para el ganado, sin embargo, debido al incremento de las necesidades de alimento, como resultado del crecimiento de la población y/o deterioro o degradación de los recursos, el manejo del pastoreo se ha vuelto más complejo (Briske & Heitschmidt, 1991; Schuman *et al.*, 1999). Lo que ha llevado a rebasar la capacidad de carga de los agostaderos.

El sobrepastoreo sumado a la erosión y sequías ha resultado ser una fórmula desastrosa para la condición del agostadero (NRC, 1994), lo cual puede llegar a causar un estado de desertificación en el mismo (Castellano & Valone, 2007), y de acuerdo a algunos autores es presumiblemente permanente e irreversible, al menos en escalas de tiempo de varias generaciones humanas (D'Odorico *et al.*, 2013).

Muchas regiones alrededor del mundo presentan un sobrepastoreo, lo que por consecuencia conduce a cambios de cobertura vegetal (Wu *et al.*, 2009), composición en la comunidad de plantas (Wang *et al.*, 2015), condiciones hidrológicas (Chyba *et al.*, 2014) o propiedades del suelo (Shi *et al.*, 2013), lo cual resulta en una pérdida global de servicios de los agostaderos y plantea serias amenazas a los medios de vida sostenibles. En México más del 43 % de la superficie destinada a la ganadería extensiva sufre sobrepastoreo (Esqueda *et al.*, 2011).

La exclusión del pastoreo es una de las principales estrategias utilizadas en todo el mundo para mejorar la condición de los agostaderos (Wu *et al.*, 2009). Aunque los resultados varían de acuerdo a diversos factores como clima, tipo de vegetación, tipo de suelo entre otros, algunos autores concluyen que la exclusión del pastoreo aumenta la cobertura vegetal (Castellano & Valone, 2007; Wang *et al.*, 2009), así como la

capacidad de infiltración del suelo (McCalla *et al.*, 1984), pero disminuye la diversidad de especies (Augustine & Frank, 2001) y ralentiza el ciclo de nutrientes del suelo, es decir vuelve más lentos los ciclos (Odriozola *et al.*, 2014).

Dada la importancia de los agostaderos, es importante llevar a cabo estudios que evalúen el efecto de la exclusión del pastoreo en diferentes tipos de vegetación propias de agostaderos, así como de las características físicas y químicas del suelo en el noreste de México.

## **1.1 Objetivos**

El objetivo general de este estudio es el de evaluar la respuesta de cuatro tipos de vegetación, así como del suelo, en exclusiones de pastoreo en agostaderos en el noreste de México. Las variables a evaluar son la producción de materia seca, cobertura vegetal, composición botánica, capacidad de infiltración, densidad aparente del suelo, así como estimar el contenido de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo.

## **1.2 Hipótesis**

La exclusión del pastoreo por 10 años mejora la condición del agostadero en términos de composición botánica, producción de materia seca, cobertura vegetal y características físicas y químicas del suelo.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Agostaderos**

#### **2.1.1 Agostaderos y su aprovechamiento**

En México el clima predominante es el tipo seco desértico (García, 1973), y el tipo de vegetación más abundante es el matorral xerófilo (Rzedowski, 2006). El principal factor limitante en este tipo de ecosistemas es la precipitación (Good *et al.*, 2013), lo que hace a los agostaderos susceptibles al sobrepastoreo. La vegetación en un ecosistema desértico o semidesértico está compuesta por especies que toleran baja humedad del suelo, así como temperaturas extremas además de periodos prolongados de sequía (García-Moya & McKell, 1970).

El pastoreo es la actividad relacionado con la utilización de la vegetación de los agostaderos de mayor importancia económica en el mundo (Hussain & Durrani, 2009). En México la ganadería se lleva a cabo en más del 57% del territorio nacional (Esqueda *et al.*, 2011). Agostadero es definido como aquella superficie que soporta vegetación nativa u exótica, que brinda un hábitat adecuado para la fauna silvestre y animales domésticos, caracterizados por una producción extensiva de forraje, precipitación baja y errática, drenaje pobre, y frecuentemente baja fertilidad del suelo (Holechek *et al.*, 1998).

El tipo de vegetación es una comunidad de plantas con características distinguibles que describen la vegetación actual que domina el aspecto o fisonomía una zona (Bedell, 1998). Los agostaderos llegan a comprender un gran número de tipos de

vegetación diferentes como por ejemplo los pastizales, matorrales y todos aquellos terrenos que son capaces de soportar zacates, hierbas o arbustos para proveer de forraje principalmente a los herbívoros (Heady, 1975).

### **2.1.2 Condición de los agostaderos**

La condición del agostadero de acuerdo al glosario de términos técnicos utilizado en el manejo del agostadero, se refiere a la capacidad de producción en un punto de tiempo, en relación con la producción que normalmente el agostadero tendría sin disturbio alguno (Kothmann, 1974). Desde las primeras décadas del siglo XX, se tenía conocimiento del impacto que producía el sobrepastoreo y la importancia de ser capaz de detectar este último (Sampson, 1919).

### **2.1.3 Coeficiente de agostadero**

El coeficiente de agostadero se refiere a la cantidad de superficie necesaria para mantener una unidad animal en un año. Existe una diferencia de los agostaderos y las praderas, ya que agostaderos son superficies con una baja producción de forraje donde se necesitan más de cinco hectáreas para mantener una unidad animal al año, es decir un coeficiente mayor a 5 ha se le llama agostadero; las superficies con un coeficiente menor a 5 ha se le llama pradera (Alba, 1971). Basándose en lo anterior los agostaderos ocupan alrededor del 81% de la superficie de la República Mexicana (Jaramillo *et al.*, 1991).

#### **2.1.4 Capacidad de carga y carga animal**

La capacidad de carga de un agostadero se obtiene al dividir la superficie total del mismo entre su coeficiente de agostadero. La carga animal se refiere al número total de unidades animal presentes en un área conocida. Cuando la carga animal sobrepasa la capacidad de carga, se produce el sobrepastoreo (Zhang *et al.*, 2014). Una carga animal moderada a ligera es la que se recomienda para mantener el agostadero en buena condición, ya que el pastoreo intenso provoca una mayor competencia por el forraje, causando un mayor disturbio en el suelo y la vegetación lo que conlleva a la obtención de dietas de menor calidad para el ganado, por lo que es importante realizar los ajustes de carga animal de acuerdo a la condición del agostadero (Holechek *et al.*, 1995).

#### **2.1.5 Degradación de los agostaderos**

La biomasa vegetal de los agostaderos puede llegar a ser afectada principalmente por dos factores: el primero de ellos es el estrés, el cual estriba en condiciones que restringen la producción, por ejemplo la escasez de luz, agua, nutrientes del suelo así como temperaturas no óptimas para el desarrollo de la planta (Grime, 1977). El segundo factor es el disturbio y algunos autores lo relacionan con el daño o afección total o parcial de la planta y es consecuencia de actividades antropogénicas, como la tala de árboles, cambio de uso de suelo, entre otras, efectos del ganado en pastoreo que afectan las plantas mediante la defoliación y pisoteo, efectos de enfermedades o plagas en las plantas y por último, fenómenos naturales como tormentas, incendios

forestales, erosión hídrica y eólica, heladas, sequías, derrumbes, inundaciones, entre otros tipos de catástrofes (Grime, 1977; Turner & Gardner, 2015; White, 1979) .

### **2.1.6 Desertificación**

Cuando el sobrepastoreo se presenta por un corto lapso de tiempo, causa una reducción temporal de forraje, la cual desaparece cuando la carga animal es disminuida (Oliva *et al.*, 2016). Pero cuando la carga animal es excesiva y rebasa la capacidad de carga del terreno por un largo periodo de tiempo, esto puede causar desde transiciones de estados ecológicos leves, que no afectan por largo tiempo la producción del agostadero (NRC, 1994), hasta transiciones a estados ecológicos graves e irreversibles como la desertificación (Dawson *et al.*, 2016). Estas transiciones pueden ser aceleradas cuando además de recibir sobrepastoreo el agostadero es azotado por una sequía (Castellano & Valone, 2007).

En el proceso de desertificación, frecuentemente se sufre un cambio de tipo de vegetación dominante, generalmente de zacates perenes a arbustos y suelo desnudo (Allington & Valone, 2011). No solo el sobrepastoreo destruye los agostaderos, ya que una gran cantidad de agostaderos han sido destruidos para ser utilizados por la agricultura, la industria o nuevos desarrollos urbanos (Wu *et al.*, 2009).

## **2.2 Exclusión del pastoreo**

### **2.2.1 Utilidad de la exclusión del pastoreo**

Cuando un agostadero se encuentra en mal estado ecológico, o mala condición, existen diversas formas para tratar de rehabilitar un agostadero. Una de las más comúnmente utilizadas en el mundo, es la exclusión del ganado de la zona afectada (Wang *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2009; Xiong *et al.*, 2016). La respuesta que los agostaderos muestran al excluir el ganado, tiene efectos que varían debido a un gran número de factores como la condición del agostadero, tipo de clima, precipitación, tiempo de exclusión, entre otras. A continuación, se mencionan algunas respuestas que puede tener el agostadero a la exclusión del ganado.

## **2.3 La exclusión del pastoreo y la vegetación**

### **2.3.1 Competencia entre especies vegetales**

La competencia entre plantas es muy común en todos los tipos de vegetación, debido a que crecen en estrecha proximidad, ya sea de plantas de la misma o de diferente especie, de diferentes tipos de crecimiento, diferente producción de semillas y por lo tanto aquellas plantas que no se adaptan pueden llegar a perecer (Grime, 1977). Si a la competencia natural que existe entre las plantas por los recursos, se agrega el efecto del disturbio causado por los animales en pastoreo, la respuesta de la comunidad vegetal puede llegar a ser drástica, llegando a afectar la cobertura vegetal, producción y la diversidad de especies. Aquellas plantas que tienen mayor capacidad para

competir por los recursos, y que regularmente son dominantes, pueden llegar a perder esa ventaja cuando el factor disturbio es agregado a la comunidad vegetal, y pudieran llegar a desaparecer de la comunidad (Wang *et al.*, 2014).

### **2.3.2 Efecto de la exclusión del pastoreo sobre la vegetación**

En la literatura se reporta que la exclusión del pastoreo ejerce un efecto positivo en la cobertura y biomasa vegetal tanto encima como debajo del suelo, en comparación con terrenos pastoreados (Castellano & Valone, 2007; Wu *et al.*, 2009).

Algunos autores reportan que la exclusión del pastoreo tiende a aumentar la proporción de especies arbustivas y reducir la de gramíneas (Medina-Roldán *et al.*, 2012). Otros autores mencionan que la exclusión del pastoreo incrementa la cobertura de especies gramíneas y disminuye la cobertura de especies herbáceas (Wu *et al.*, 2009). Es sabido que el sobrepastoreo reduce severamente la productividad del agostadero, cobertura vegetal y la proporción de zacates con potencial forrajero (Wu *et al.*, 2009), pero se ha reportado que la producción de herbáceas responde mayormente al clima que a la carga animal (Gillen & Sims, 2004).

## **2.4 La exclusión del pastoreo y el índice de diversidad**

### **2.4.1 Índice de diversidad de especies vegetales**

La diversidad de especies es un parámetro comúnmente utilizado para la comparación de comunidades que han sido afectadas por un disturbio, estrés, o para conocer el

estado de sucesión vegetal; también puede llegar a ser utilizado para conocer la estabilidad una comunidad vegetal (Keylock, 2005; Singh, 2012).

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

#### **2.4.2 Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el índice de diversidad**

La diversidad de especies vegetales generalmente tiende a disminuir cuando es excluido el ganado (Wu *et al.*, 2009), ya que en ausencia de herbívoros las plantas tienen una competencia natural directa por los recursos del suelo y la dominancia de especies aumenta (Jing *et al.*, 2014; G. Wang *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2015).

## **2.5 La exclusión del pastoreo y el suelo**

### **2.5.1 La importancia de la materia orgánica en el suelo**

La materia orgánica mejora la condición física y química del suelo, manteniendo la humedad y aumentando la infiltración del agua en el suelo, evitando la erosión del mismo y dando soporte suficiente a las plantas para permitir su desarrollo, además de liberar nutrientes asimilables para las plantas como resultado de la actividad microbiana del suelo (Bhattacharyya *et al.*, 2015; Franzluebbers, 2002), pero en ecosistemas semiáridos la materia orgánica tiende a ser escasa (Cross & Schlesinger, 2001) .

### **2.5.2 Efecto de la exclusión del pastoreo y la densidad aparente del suelo**

La densidad aparente del suelo es definida como la masa del suelo por unidad de volumen. Para obtener este dato generalmente se utiliza el método del cilindro, donde un cilindro con volumen conocido se introduce cuidadosamente en el suelo, para no alterar el mismo, después se retira el cilindro con la muestra en su interior, para posteriormente extraer y secar la muestra a 105°C hasta llegar a peso constante, y pesarla para conocer el peso de la muestra y obtener la relación peso volumen (Soil Science Society of America, 2008).

La densidad aparente del suelo disminuye conforme avanza el tiempo de exclusión del ganado, a largo plazo, esto podría resultar en un incremento de la velocidad de

infiltración del agua al suelo, ya que ésta se relaciona mayormente con la reducción de compactación del suelo y el incremento de la abundancia de zacates y cobertura vegetal, lo que reduce la evaporación, de acuerdo a la literatura revisada, la sequía no tiene un impacto importante sobre la capacidad de infiltración del agua en el suelo (Allington & Valone, 2011; Castellano & Valone, 2007; Chyba *et al.*, 2014; McCalla *et al.*, 1984; Odriozola *et al.*, 2014).

El nivel de compactación del suelo es influenciado por la textura, materia orgánica, contenido de humedad, y factores ambientales. Uno de los factores más importantes es la intensidad de pastoreo (Mapfumo *et al.*, 1999), ya que la compactación que ejerce el ganado sobre el suelo es debida a que su peso se distribuye sobre una pequeña área de sus patas (Bilotta *et al.*, 2007), la compactación reduce la porosidad, aumenta la densidad aparente del suelo y la escorrentía de agua causando erosión y disminución de la humedad del suelo (Allington & Valone, 2011).

La humedad del suelo es el principal factor por el que se da la competencia entre las especies vegetales. La humedad del suelo tiende a disminuir conforme se incrementa el tiempo de exclusión, debido al desarrollo vigoroso de las plantas, las cuales aprovechan la humedad del suelo (Wang *et al.*, 2009).

### **2.5.3 La exclusión del pastoreo y la capacidad de infiltración del suelo**

La tasa de infiltración de agua en el suelo se refiere al volumen de agua que se introduce en el suelo por unidad de tiempo (Soil Science Society of America, 2008). El pastoreo puede influenciar la estructura de la comunidad vegetal, las propiedades

físicas y químicas del suelo, así como la distribución y el ciclo de nutrientes (Schuman *et al.*, 1999). Aunque la infiltración del agua en el suelo varía naturalmente en tiempo y espacio, los factores principales que la afectan son la intensidad y duración de los animales en el agostadero, cobertura vegetal, densidad aparente y textura del suelo, cantidad de suelo desnudo, tipo de superficie, cantidad de materia orgánica y cantidad de superficie rocosa (Allington & Valone, 2011; McCalla *et al.*, 1984).

#### **2.5.4 Materia orgánica, carbono orgánico, fósforo disponible y nitrógeno total**

Los agostaderos tienen un importante potencial para el desarrollo sostenible y la reducción de gases efecto invernadero y cerca del 100% de los agostaderos son pastoreados por grandes rumiantes. En este sentido, se puede considerar al pastoreo como factor clave en el control de secuestro de carbono (McSherry & Ritchie, 2013). Los patrones de productividad de las plantas son los principales factores que influyen en la cantidad de depósitos de materia orgánica. Como resultado de ello, los depósitos de carbono y nitrógeno del suelo varían en distintas áreas del agostadero. El pastoreo estimula el ciclo de nutrientes de carbono y nitrógeno en la planta y suelo (Schuman *et al.*, 1999). El sobrepastoreo puede reducir la actividad microbiana a través de la reducción de residuos vegetales, combinado con la reducción de las raíces y exudados del animal (Raiesi & Asadi, 2006). Shi *et al.*, (2013) reportan que la exclusión del pastoreo por ocho años causa un decremento en los depósitos de carbono en el suelo. El pastoreo tiene efectos muy variables, por lo que su efecto sobre el carbono depende del tipo de clima, tipo de vegetación e intensidad del pastoreo, y las variables bióticas.

Por ejemplo, la composición de especies e intensidad del pastoreo pueden modificar los impactos del pastoreo sobre el carbono del suelo (Butenschoen *et al.*, 2011; McSherry & Ritchie, 2013). No obstante que la materia orgánica del suelo se incrementa al excluir el ganado del agostadero, la exclusión del pastoreo ralentiza el ciclo de carbono y nitrógeno en el suelo, debido al cambio en la calidad del forraje, contenido de humedad en el suelo y en particular a la cobertura térmica del suelo (Medina-Roldán *et al.*, 2012; Odriozola *et al.*, 2014).

La distribución del fósforo en el agostadero, tiende a ser controlado por el movimiento a largo plazo de material fino, debido a erosiones hídricas o eólicas, ya que el contenido de fósforo se correlaciona con el contenido de arcilla del suelo (Burke, 1989). De acuerdo a Raiesi & Asadi, (2006), el contenido de fósforo disminuye en terrenos con pastoreo, y puede ser atribuido a la remoción de plantas de suelo por el ganado.

### **2.5.5 Islas de fertilidad**

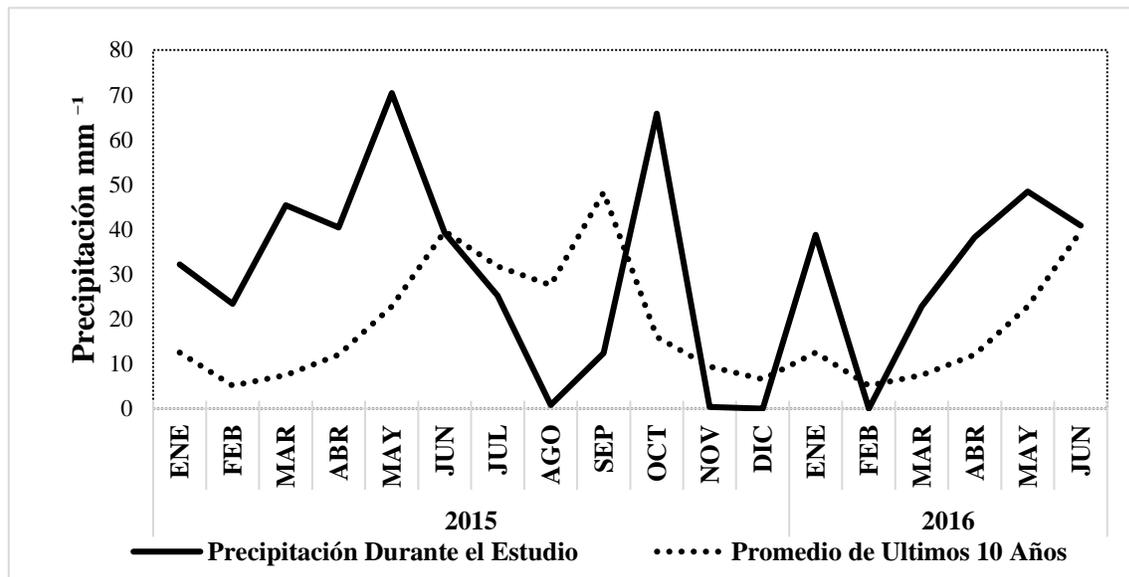
Una de las funciones que realizan los arbustos en ecosistemas semiáridos, es la acumulación de partículas finas y materia muerta en descomposición (mantillo), este último proveniente de las hojas muertas del árbol tanto como de gramíneas y herbáceas que se desarrollan bajo la protección de la copa de los arbustos, lo que incrementa los depósitos de materia orgánica, y por consecuencia un aumento de los depósitos de nitrógeno en el suelo (Burke, 1989; Garcia-Moya & McKell, 1970). Esto genera una mayor riqueza de nutrientes alrededor de los arbustos, la cual generalmente disminuye conforme se incrementa la distancia al tallo del arbusto o al

aumentar la profundidad del suelo, por lo que a este efecto se le ha llamado “Islas de fertilidad” (Garcia-Moya & McKell, 1970).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar del estudio

El experimento fue realizado en el valle de Cuatro Ciéneas Coahuila ( $26^{\circ}59'10''$  N:  $102^{\circ}04'02''$  O), caracterizado por un tipo de clima seco desértico y con una precipitación anual promedio de 183 mm y una temperatura media de  $21.9^{\circ}\text{C}$  (García, 1973). En los años 2015 y 2016 en los que se realizó el presente estudio se registraron años atípicos, con precipitaciones anuales de 356 mm y 352 mm (Figura 1), respectivamente (INIFAP, 2016).



**Figura 1.-** Precipitación durante el estudio comparado con el promedio de precipitación de los últimos 10 años.

Entendiendo sitio de agostadero como una unidad de terreno con características físicas y bióticas similares y de similar respuesta al manejo (Aldrete & Aguirre, 1982), durante el mes de junio del 2015 se establecieron cuatro sitios en cuatro diferentes tipos de vegetación. Tales sitios contaban con dos tipos de manejo desde los últimos 10 años. Por un lado, habían sido excluidos del pastoreo por los últimos 10 años, y los mismos colindaban con terrenos que han sido pastoreados por más de 30 años de forma continua.

El sitio 1 fue llamado Mezquital (M) ( $26^{\circ}48'0.90''$  N :  $102^{\circ} 0'45.87''$  O) con un tipo de vegetación de matorral xerófilo (Rzedowski, 2006) y un tipo de suelo xerosol háplico-regosol calcárico (CETENAL, 1977).

El sitio 2 llamado Matorral Halófito (MH) ( $26^{\circ}48'9.61''$  N:  $102^{\circ} 0'3.17''$  O) con un tipo de vegetación de agrupación de halófitas (Miranda & Xolocotzi, 1963) y un tipo de suelo solonchak órtico-sódico (CETENAL, 1977).

El sitio 3 llamado Humedal (H) ( $26^{\circ}48'57.27''$  N:  $101^{\circ}59'11.08''$  O) con una vegetación acuática o sub-acuática (Rzedowski, 2006) y un tipo de suelo solonchak órtico-gleyico (CETENAL, 1977).

El sitio 4 llamado Pastizal Halófito (PH) ( $26^{\circ}57'41.51''$  N:  $102^{\circ} 5'48.91''$  O) con un tipo de vegetación de pastizal de zacatón alcalino (Miranda & Xolocotzi, 1963) y un suelo solonchak órtico-sódico (CETENAL, 1977).

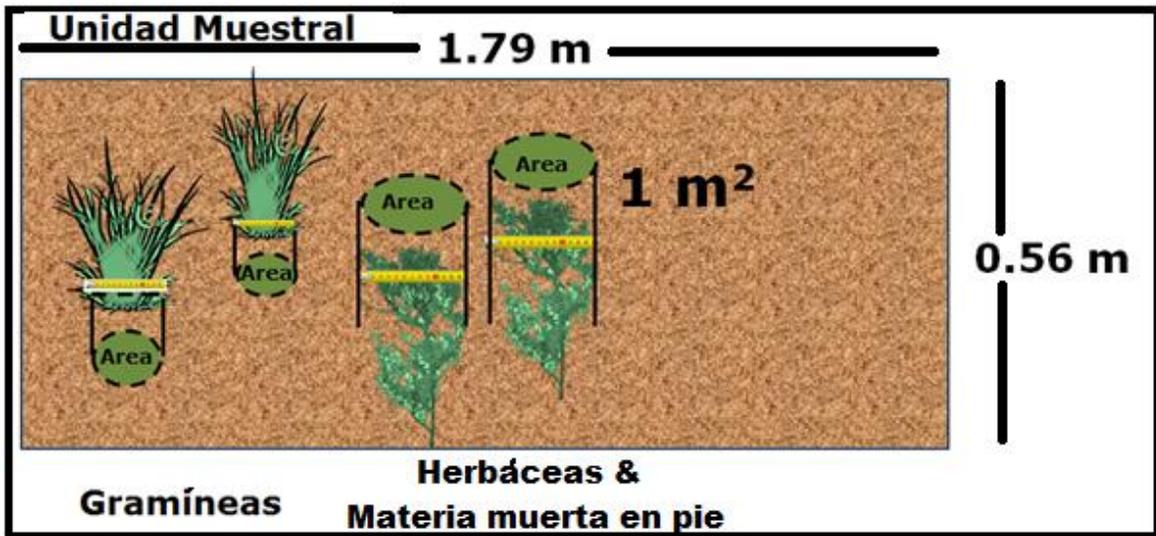
En el anexo 1 se presentan las especies ordenadas de acuerdo a su nombre científico, nombre común, valor forrajero y el sitio donde se presentó cada una.

Los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito”, y “Humedal” se ubicaron en el rancho “Pozas Azules” con el tratamiento de exclusión, y en el ejido Antiguos Mineros el tratamiento de pastoreo, el sitio “Pastizal Halófito” se ubicó en el rancho La Angostura con el tratamiento pastoreo, y el tratamiento de exclusión en terrenos del municipio de Cuatro Ciénegas Coahuila.

La finalidad fue evaluar el efecto de 2 tratamientos: terrenos con exclusión de pastoreo y terrenos pastoreados. En la vegetación se midió composición botánica, producción de materia seca (MS), cobertura vegetal e índice de diversidad de Shannon-Wiener. En el suelo se evaluó la capacidad de infiltración, densidad aparente, contenido de fósforo disponible, contenido de materia orgánica, contenido de carbono orgánico y nitrógeno total.

### **3.2 Muestreo de la vegetación**

El muestreo de la vegetación se realizó con dos métodos diferentes, el método para medir herbáceas, gramíneas, arbustivas de porte bajo y materia muerta en pie fue el método de área de cuadrantes (figura 2).



**Figura 2.-** Descripción de la unidad muestral y el método muestral, se observa la forma de medir la cobertura tanto para herbáceas como para gramíneas, además de señalar la ubicación de las muestras de suelo para analizar.

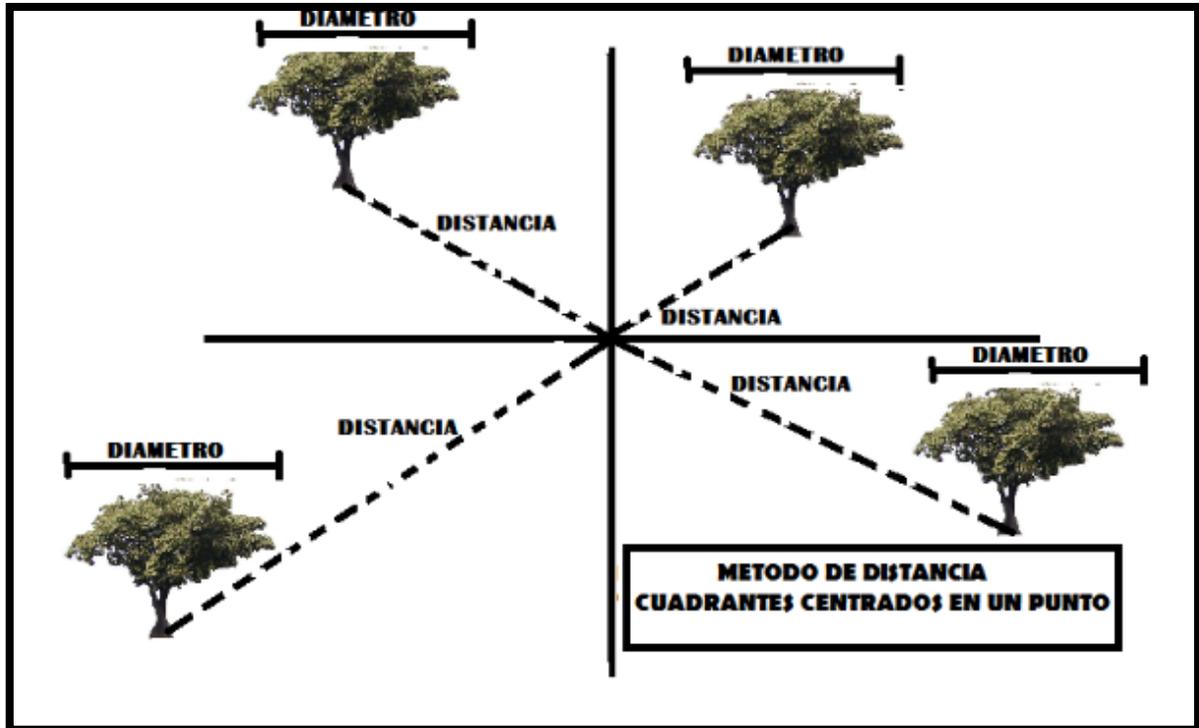
En el cual para los sitios “Mezquital”, “Matorral halófito” y “Pastizal Halófito” se distribuyeron aleatoriamente 22 cuadrantes de 1m<sup>2</sup> en cada sitio, de los cuales 11 se colocaron en el área con exclusión del pastoreo y 11 en el área con pastoreo. Para el sitio “Humedal” se establecieron aleatoriamente 18 cuadrantes de 1m<sup>2</sup>, de los cuales 9 se distribuyeron en el área con exclusión del pastoreo, y 9 en el área pastoreada.

La distribución de los cuadrantes fue completamente aleatorizada, con la única restricción de que la distancia al límite del predio contiguo fuera mayor a 15 metros, con motivo de que el área de exclusión no estuviera tan cerca del área de pastoreo, y evitar el efecto algunos caminos o brechas antiguas. En el caso del tratamiento con pastoreo se colocaron jaulas de 2 metros de largo, 1 metro de ancho y 1.2 metros de altura para permitir a la vegetación su desarrollo en cada uno de los cuadrantes distribuidos aleatoriamente.

El muestreo para estimar la cobertura vegetal consistió en medir el área basal en el caso de las especies gramíneas, y el área de la corona en el caso de herbáceas, así como la materia muerta en pie.

Para estimar la producción de materia seca, se cortó a nivel del suelo cada una de las plantas que estaban dentro del cuadrante y que estaban vivas, en caso de que hubiera tejido muerto, este se separaba de la planta y no fue tomado en cuenta, se separaron por especie en una bolsa de papel para posteriormente introducir las en una estufa de secado a 60°C hasta llegar a peso constante, para después pesarlas y estimar la producción de materia seca para cada tratamiento.

Para el caso de las arbustivas de porte medio-alto, se utilizó un método de distancia, llamado cuadrantes centrados en un punto (Figura 3), que consiste en lanzar una cruceta metálica, en la cual cada cuarto es un cuadrante. Se midió la distancia al arbusto más cercano en cada cuadrante, identificándolo, además se midió el diámetro de copa mayor y diámetro de copa menor. Se realizaron 5 transectos con 4 puntos de muestreo para cada tratamiento, con la restricción que no se midiera el mismo dos veces (Cox, 1974). Este muestreo solo se utilizó en el sitio Mezquital, y se midió solamente cobertura vegetal y composición botánica.

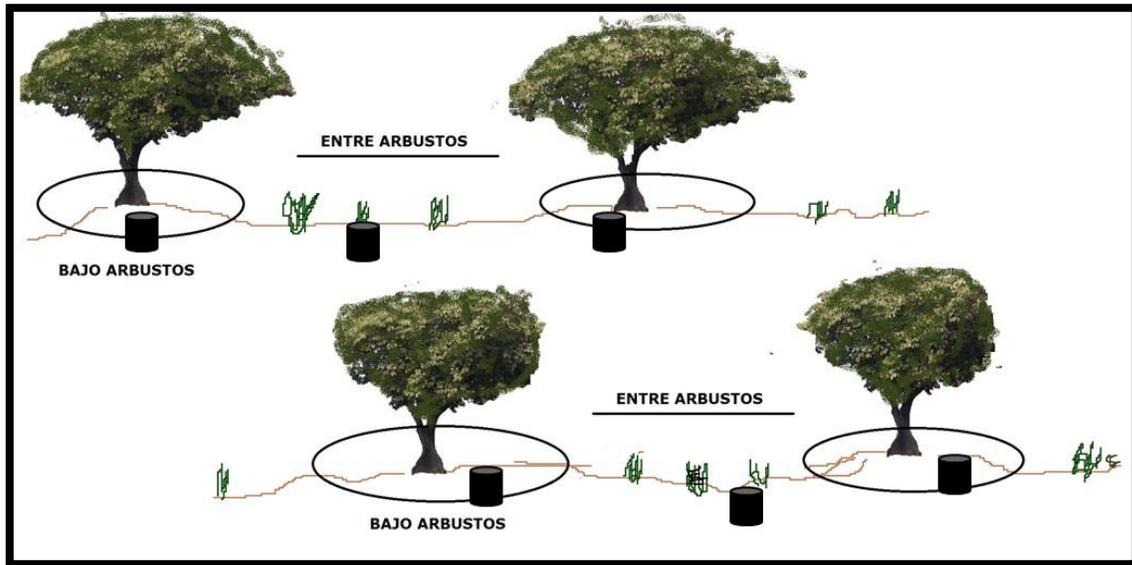


**Figura 3.-** Descripción del método de distancia cuadrantes centrados en un punto, se muestra como se deben de tomar las distancias a cada individuo, así como su diámetro.

### 3.3 Densidad aparente

Las muestras para determinar la densidad aparente del suelo fueron tomadas de una de las esquinas de cada uno de los cuadrantes donde se midió la vegetación. En el caso del sitio “Mezquital”, donde hubo presencia de arbustos de porte medio y alto, se recolectaron adicionalmente 6 muestras bajo arbustos y entre los arbustos en cada uno de los tratamientos (Figura 4). Todas las muestras fueron recolectadas con el método del cilindro. Este método consiste en un cilindro metálico de 5 cm de altura y de 5.2 cm de diámetro, biselado en un extremo, para ser introducido en el suelo, causando el menor disturbio posible, para después extraer la muestra. Las muestras

fueron almacenadas e identificadas, para ser llevadas al laboratorio y pesarlas e introducirlas a una estufa de secado a 110 °C hasta peso constante. Una vez que se obtuvo el peso seco, se calculó el contenido de humedad del suelo, y se procedió a determinar la densidad aparente del mismo (Allington & Valone, 2011).



**Figura 4.**-Descripción de la forma de toma de muestras del suelo en el sitio mezquital, se muestra donde se toman las muestras tanto como bajo arbusto y entre arbustos.

### 3.4 Contenido de materia orgánica, carbono, fósforo y nitrógeno del suelo

Para determinar el contenido de carbono y nitrógeno del suelo, se tomaron 6 muestras compuestas de los primeros 5 cm del suelo para cada tratamiento, en cada uno de los sitios. En el caso del sitio "Mezquital" se tomaron 6 muestras bajo arbustos en cada uno de los tratamientos. Se identificaron y se procedió a secar a temperatura ambiente y se pasó a través de un tamiz de 2 mm antes de ser analizada. Para obtener el contenido de materia orgánica y carbono orgánico se utilizó el método de Walkley-Black (Rodríguez & Rodríguez 2002). Para conocer el contenido de nitrógeno se

realizó el análisis de micro Micro–Kjeldahl (Rodríguez & Rodríguez 2002). Para determinar el contenido de fósforo disponible se realizó el análisis de Olsen modificado (Rodríguez & Rodríguez 2002).

### **3.5 Capacidad de infiltración**

La infiltración fue estimada en cada uno de los sitios por medio del infiltrómetro de doble anillo (Castellano & Valone, 2007) con 6 repeticiones para cada tratamiento, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente, con la restricción de que cada punto se colocara a una distancia mayor de 15 metros de la orilla del predio y que el infiltrómetro se colocara sobre suelo desnudo. La toma de datos de infiltración fue a los 0, 5, 10 y 15 minutos, a partir de que se lleno de agua el cilindro (McCalla *et al.*, 1984; Johnson, 1963). En el sitio “Humedal”, no fue posible realizar la prueba de infiltración, ya que el día en que se realizó la prueba se encontraba inundado.

### **3.6 Índice de Shannon-Wiener**

Para medir los índices de diversidad se requiere la estimación de la importancia de especies en la comunidad. Para esto es importante definir qué es lo que se desea evaluar. En el caso del presente trabajo los índices fueron calculados en base a la composición botánica de las especies con la fórmula de índice de Shannon- Wiener (Krebs, 2014; Shannon, 1948; Spellerberg & Fedor, 2003), que a continuación se muestra.

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i)$$

Donde  $H'$  = Índice de diversidad de especies

$s$  = Número de especies

$p_i$  = Proporción total de la muestra de  $i$  gesima especie

### 3.7 Análisis estadístico

Para comparar cobertura vegetal, composición botánica, producción de materia seca, densidad aparente del suelo, tasa de infiltración del agua, nitrógeno total, materia orgánica del suelo, carbono orgánico del suelo y fósforo disponible se utilizó un modelo completamente al azar y comparación de medias por el método de *Tukey* con el paquete estadístico IBM SPSS (versión 22). Para comparar los índices de diversidad se utilizó la prueba de *t student*.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Respuesta de la vegetación a la exclusión del pastoreo

#### 4.1.1 Grupo de gramíneas y no gramíneas

Los resultados de producción de materia seca, cobertura y composición botánica, se presentan por especie, y por tipo de estrato, es decir un grupo de especies gramíneas y otro de especies no-gramíneas, esto con la finalidad de hacer comparaciones entre tratamientos.

#### 4.1.2 Mezquital

Los resultados obtenidos del muestreo de la vegetación en el sitio “Mezquital” con el método de área (Cuadro 1) nos revelan que el tratamiento de pastoreo presentó una menor composición botánica de especies gramíneas, ya que el 71.4% corresponde a la no-gramínea *Suaeda nigrescens*.

En el tratamiento de exclusión del pastoreo la composición botánica es principalmente compuesta por *Sporobolus spiciformis* especie gramínea que cuenta con un 84.5 % de la composición botánica.

Comparado con su dominante presencia en el tratamiento de pastoreo, en el tratamiento exclusión *Suaeda nigrescens* está presente en menor proporción ( $p < 0.01$ ), ya que, en este tratamiento, solo forma un 10.3% del total de la composición botánica.

La cobertura de la materia muerta en pie fue mayor ( $p < 0.05$ ) para el tratamiento de pastoreo que para la exclusión. El suelo desnudo y la cobertura vegetal (Cuadro 1) no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

Se registró una mayor producción de materia seca de gramíneas ( $p < 0.01$ ) en el tratamiento de exclusión del pastoreo que en el tratamiento de pastoreo (Cuadro 1). En cuanto a cobertura vegetal de especies gramíneas no se encontró diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ).

Hubo mayor composición botánica del grupo de no-gramíneas para el tratamiento de pastoreo que para el de exclusión ( $p < 0.05$ ). La producción de materia seca y cobertura vegetal del grupo de no-gramíneas no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 1.**-Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “Mezquital”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.

Mezquital	Pastoreo			Exclusión		
	Especies	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Producción (kg MS/ha)	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
<b>Gramíneas</b>	<b>28.6**</b>	<b>318<sup>NS</sup></b>	<b>44**</b>	<b>86.4**</b>	<b>1725.9<sup>NS</sup></b>	<b>1249 **</b>
<i>Bouteloa barbata</i>	0.3 <sup>NS</sup>	3.0 <sup>NS</sup>	0.1 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	12.6 <sup>NS</sup>	140.0 <sup>NS</sup>	27.2 <sup>NS</sup>	1.9 <sup>NS</sup>	37.8 <sup>NS</sup>	27.8 <sup>NS</sup>
<i>Sporobolus spiciformis</i>	15.7**	175.0 <sup>NS</sup>	17.0**	84.5**	1688.1 <sup>NS</sup>	1221.2**
<b>No gramíneas</b>	<b>71.4**</b>	<b>794.2<sup>NS</sup></b>	<b>161<sup>NS</sup></b>	<b>13.6**</b>	<b>271.2<sup>NS</sup></b>	<b>105<sup>NS</sup></b>
<i>Atriplex acanthocarpa</i>	0.0 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	3.3 <sup>NS</sup>	66.4 <sup>NS</sup>	16.4 <sup>NS</sup>
<i>Suaeda nigrescens</i>	71.4**	794.2 <sup>NS</sup>	161.4**	10.3**	204.8 <sup>NS</sup>	88.2**
Materia muerta en pie	-	897.0*	-	-	232.3*	-
Suelo desnudo	-	7990.8 <sup>NS</sup>	-	-	7770.5 <sup>NS</sup>	-

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

\* =  $p < 0.05$

\*\* =  $p < 0.01$

<sup>NS</sup> = No Significativo.

En el caso del sitio “Mezquital”, los resultados del muestreo de arbustivas con el método de distancia (Cuadrantes centrados en un punto; Cuadro 2) muestran que hubo mayor número de especies arbustivas para el tratamiento de exclusión del pastoreo.

Para el tratamiento de exclusión la especie *Prosopis glandulosa* fue la especie con mayor presencia ( $p < 0.05$ ), seguida de *Suaeda palmeri* que presentó una presencia superior al resto de las especies ( $p < 0.05$ ). Solo el género *Opuntia* presentó diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo una presencia mayor en la composición botánica en el tratamiento de exclusión ( $p < 0.05$ ), ya que en el tratamiento con pastoreo no se presentó la especie (*Opuntia spp.* y *Opuntia imbricata*) o su presencia fue menor (*Opuntia leptocaulis*).

La especie dominante en el tratamiento con pastoreo fue *Prosopis glandulosa* que obtuvo una composición estadísticamente similar ( $p > 0.05$ ) a *Suaeda palmeri*, y superior al resto de las especies ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 2.-** Resultados del sitio “Mezquital” muestreado con el método de cuadrantes centrados en un punto, enfocado en arbustivas de porte medio-alto.

Mezquital: Arbustos	Pastoreo		Exclusión	
	Composición Botánica (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> /ha)	Composición Botánica (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> /ha)
<i>Atriplex canescens</i>	0.0 <sup>b</sup>	0 <sup>NS</sup>	1.0 <sup>c</sup>	34 <sup>NS</sup>
<i>Echinocereus stramineus</i>	0.0 <sup>b</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.1 <sup>c</sup>	3 <sup>NS</sup>
<i>Guaiacum angustifolium</i>	0.3 <sup>b</sup>	11 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0 <sup>NS</sup>
<i>Koeberlinia spinosa</i>	0.7 <sup>b</sup>	18 <sup>NS</sup>	3.6 <sup>c</sup>	111 <sup>NS</sup>
<i>Opuntia imbricata</i>	0.0 <sup>b</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.2 <sup>c</sup>	3 <sup>NS</sup>
<i>Opuntia leptocaulis</i>	1.0 <sup>b</sup>	28 <sup>NS</sup>	2.8 <sup>c</sup>	75 <sup>NS</sup>
<i>Opuntia spp</i>	0.0 <sup>b</sup>	0 <sup>*</sup>	0.5 <sup>c</sup>	14 <sup>*</sup>
<i>Prosopis glandulosa</i>	59.0 <sup>a</sup>	1480 <sup>NS</sup>	64.7 <sup>a</sup>	1771 <sup>NS</sup>
<i>Suaeda palmeri</i>	39.0 <sup>a</sup>	940 <sup>NS</sup>	27.1 <sup>b</sup>	713 <sup>NS</sup>
Suelo desnudo	-	7523 <sup>NS</sup>	-	7275 <sup>NS</sup>

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

\* = p<0.05

a, b y c se refiere a diferencias significativas dentro del tratamiento entre especies.

NS= No Significativo.

### 4.1.3 Matorral halófito

Los resultados del sitio “Matorral Halófito” señalan que *Flaveria oppositifolia* forma más del 50 % de la composición botánica de ambos tratamientos (Cuadro 3). En este sitio la única especie gramíneas registrada fue *Muhlenbergia emersleyi* la cual presentó una mayor producción de biomasa y composición botánica en el tratamiento de exclusión ( $p < 0.05$ ) que en el tratamiento con pastoreo. Las demás especies presentes no mostraron diferencias significativas entre tratamientos en valores de composición botánica, cobertura y producción de biomasa ( $P > 0.05$ ).

Los valores de cobertura de materia muerta en pie fueron mayores en el tratamiento con exclusión ( $p < 0.05$ ), y los datos de suelo desnudo y cobertura vegetal fueron estadísticamente similares ( $p > 0.05$ ).

El grupo de no-gramíneas, solo presentó diferencia significativa en cuanto a composición botánica, donde el tratamiento con pastoreo presentó un mayor porcentaje que el tratamiento de exclusión del pastoreo ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 3.-**Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “Matorral Halófito”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.

<b>Matorral halófito</b>	<b>Pastoreo</b>			<b>Exclusión</b>		
<b>Especies</b>	<b>Composición Botánica (%)</b>	<b>Cobertura (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Producción (kg MS/ha)</b>	<b>Composición Botánica (%)</b>	<b>Cobertura (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Producción (kg MS/ha)</b>
<b>Gramíneas</b>	<b>1.4**</b>	<b>54*</b>	<b>44*</b>	<b>24.7**</b>	<b>803*</b>	<b>261*</b>
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	1.4*	54 <sup>NS</sup>	44*	24.7*	803*	261*
<b>No gramíneas</b>	<b>98.6**</b>	<b>3936<sup>NS</sup></b>	<b>880<sup>NS</sup></b>	<b>75.3**</b>	<b>2439<sup>NS</sup></b>	<b>816<sup>NS</sup></b>
<i>Flaveria oppositifolia</i>	55.0 <sup>NS</sup>	2195 <sup>NS</sup>	287 <sup>NS</sup>	54.8 <sup>NS</sup>	1776 <sup>NS</sup>	282 <sup>NS</sup>
<i>Allenrolfea occidentalis</i>	3.7 <sup>NS</sup>	149 <sup>NS</sup>	58 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
<i>Atriplex canescens</i>	18.0 <sup>NS</sup>	717 <sup>NS</sup>	266 <sup>NS</sup>	10.3 <sup>NS</sup>	334 <sup>NS</sup>	457 <sup>NS</sup>
<i>Euphorbia spp</i>	11.4 <sup>NS</sup>	453 <sup>NS</sup>	146 <sup>NS</sup>	5.2 <sup>NS</sup>	169 <sup>NS</sup>	34 <sup>NS</sup>
<i>Isocoma drummondii</i>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.4 <sup>NS</sup>	12 <sup>NS</sup>	3 <sup>NS</sup>
<i>Mammillaria heyderi</i>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.3 <sup>NS</sup>	11 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
<i>Nerisyrenia camporum</i>	3.8 <sup>NS</sup>	154 <sup>NS</sup>	51 <sup>NS</sup>	4.2 <sup>NS</sup>	137 <sup>NS</sup>	39 <sup>NS</sup>
<i>Sesuvium verrucosa</i>	5.1 <sup>NS</sup>	204 <sup>NS</sup>	56 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
<i>Suaeda nigrescens</i>	1.6 <sup>NS</sup>	64 <sup>NS</sup>	16 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
Materia muerta en pie	-	1100*	-	-	2433*	-
Suelo desnudo	-	4910 <sup>NS</sup>	-	-	4325 <sup>NS</sup>	-

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

\* = p<0.05

\*\* = p<0.01

NS = No Significativo.

#### 4.1.4 Humedal

El cuadro 4 muestra los resultados del muestreo de la vegetación del sitio “Humedal”. Se puede observar que en el tratamiento de pastoreo la especie *Distichlis spicata* conforma el 55.5% de la composición botánica, mientras que en el tratamiento de exclusión la especie dominante fue la no-gramínea *Eleocharis spp* con un 72.4% de la composición botánica.

La gramínea *Distichlis spicata* y las no-gramíneas *Flaveria campestris* y *Sesuvium verrucosa* presentaron una mayor cobertura ( $p < 0.05$ ) con el tratamiento con pastoreo, en comparación con el tratamiento de exclusión del pastoreo. La especie no-gramínea *Eleocharis spp* tuvo una mayor cobertura en el tratamiento con exclusión del pastoreo que con el tratamiento con pastoreo ( $p < 0.05$ ).

Las variables cobertura de materia muerta en pie, suelo desnudo y cobertura vegetal no fueron diferentes entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

El grupo de gramíneas tuvo mayor composición botánica para el tratamiento de pastoreo comparado con el de exclusión del pastoreo ( $p < 0.05$ ). Las variables cobertura y producción de materia seca de las gramíneas en el sitio “Humedal” (Cuadro 4) fueron tendencialmente mayores en el tratamiento de pastoreo, pero estadísticamente no hubo diferencia debido a la variabilidad de los datos ( $p > 0.05$ ).

El grupo de no-gramíneas presentó mayor producción de materia seca, cobertura vegetal, composición botánica ( $p < 0.05$ ), en el tratamiento de exclusión que en el tratamiento con pastoreo.

**Cuadro 4.-** Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “Humedal”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.

Humedal	Pastoreo			Exclusión		
	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Producción (kg MS /ha)	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Producción (kg MS /ha)
<b>Gramíneas</b>	<b>66.6*</b>	3928 <sup>NS</sup>	<b>2653<sup>NS</sup></b>	<b>17 *</b>	<b>1346<sup>NS</sup></b>	<b>543<sup>NS</sup></b>
<i>Distichlis spicata</i>	55.5*	3274*	2211 <sup>NS</sup>	0.0*	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	11.1 <sup>NS</sup>	654 <sup>NS</sup>	442 <sup>NS</sup>	17 <sup>NS</sup>	1346 <sup>NS</sup>	543 <sup>NS</sup>
<b>No gramíneas</b>	<b>33.4*</b>	<b>1969*</b>	<b>943**</b>	<b>83*</b>	<b>6556*</b>	<b>14017 **</b>
<i>Flaveria campestris</i>	14.6*	859*	135*	0.0*	1*	0*
<i>Allenrolfea occidentalis</i>	5.3 <sup>NS</sup>	315 <sup>NS</sup>	197 <sup>NS</sup>	9 <sup>NS</sup>	713 <sup>NS</sup>	566 <sup>NS</sup>
<i>Eleocharis spp</i>	0.1*	4*	414 <sup>NS</sup>	72.4**	5714*	13424 <sup>NS</sup>
<i>Euphorbia spp</i>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	1.6 <sup>NS</sup>	128 <sup>NS</sup>	27 <sup>NS</sup>
<i>Sesuvium verrucosa</i>	13.4 <sup>NS</sup>	791 <sup>NS</sup>	197 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>
Materia muerta en pie	-	1229 <sup>NS</sup>	-	-	860 <sup>NS</sup>	-
Suelo desnudo	-	2159 <sup>NS</sup>	-	-	1238 <sup>NS</sup>	-

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

\* = p<0.05

\*\* = p<0.01

NS = No Significativo

#### 4.1.5 Pastizal halófito

Los resultados del sitio "Pastizal Halófito" indican que este sitio fue el que presentó menor número de especies vegetales (Cuadro 5). En el tratamiento de pastoreo solo se registraron 2 especies, las cuales fueron la no-gramínea *Atriplex prosopidium* y la gramínea *Sporobolus spiciformis*, las cuales conformaron 52% y 48% de la composición botánica respectivamente.

En el tratamiento con exclusión de pastoreo se presentaron 4 especies, de las cuales *Sporobolus spiciformis* conformó el 86.3% de la composición botánica. Además de la no-gramínea *Atriplex prosopidium* se registraron dos especies de cactáceas *Echinocereus stramineus* y *Opuntia spp.*

La especie *Sporobolus spiciformis* presentó mayor composición botánica, producción de biomasa y cobertura en el tratamiento de exclusión ( $p < 0.05$ ) que en el pastoreo. La especie *Atriplex prosopidium* se registró en mayor proporción en el tratamiento con pastoreo, comparado con el tratamiento de exclusión ( $p < 0.05$ ).

Los valores correspondientes a las variables materia muerta en pie, cobertura vegetal y cobertura de suelo desnudo fueron similares en ambos tratamientos ( $p > 0.05$ ).

En el tratamiento de exclusión se encontró mayor producción de biomasa del grupo de gramíneas en comparación con el grupo de gramíneas de tratamiento con pastoreo ( $p < 0.01$ ). El grupo de no-gramíneas presentó una tendencia donde se observa mayor producción de materia seca en el tratamiento pastoreo, comparado con los valores del tratamiento de exclusión, pero debido a la variación de datos, no fue estadísticamente diferente ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 5.-** Resultados de producción de materia seca, composición botánica y cobertura vegetal del sitio “Pastizal Halófito”. La materia muerta en pie y el suelo desnudo no fueron tomados en cuenta en la composición botánica y producción de materia seca.

Pastizal Halófito Especies	Pastoreo			Exclusión		
	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Producción (kg MS /ha)	Composición Botánica (%)	Cobertura (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Producción (kg MS /ha)
<b>Gramíneas</b>	<b>48*</b>	<b>688**</b>	<b>153**</b>	<b>86.3*</b>	<b>2063**</b>	<b>869 **</b>
<i>Sporobolus spiciformis</i>	48*	688*	153*	86.3%*	2063*	869*
<b>No gramíneas</b>	<b>52**</b>	<b>756<sup>NS</sup></b>	<b>624<sup>NS</sup></b>	<b>13.7**</b>	<b>326<sup>NS</sup></b>	<b>134<sup>NS</sup></b>
<i>Atriplex prosopidium</i>	52*	756 <sup>NS</sup>	624 <sup>NS</sup>	9.2*	220 <sup>NS</sup>	119 <sup>NS</sup>
<i>Echinocereus stramineus</i>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	+	3.8 <sup>NS</sup>	90 <sup>NS</sup>	+
<i>Opuntia spp</i>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.7 <sup>NS</sup>	16 <sup>NS</sup>	15 <sup>NS</sup>
Materia muerta en pie	-	528.4 <sup>NS</sup>	-	-	408.8 <sup>NS</sup>	-
Suelo desnudo	-	8027.6 <sup>NS</sup>	-	-	7202.3 <sup>NS</sup>	-

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

+ No se colecto

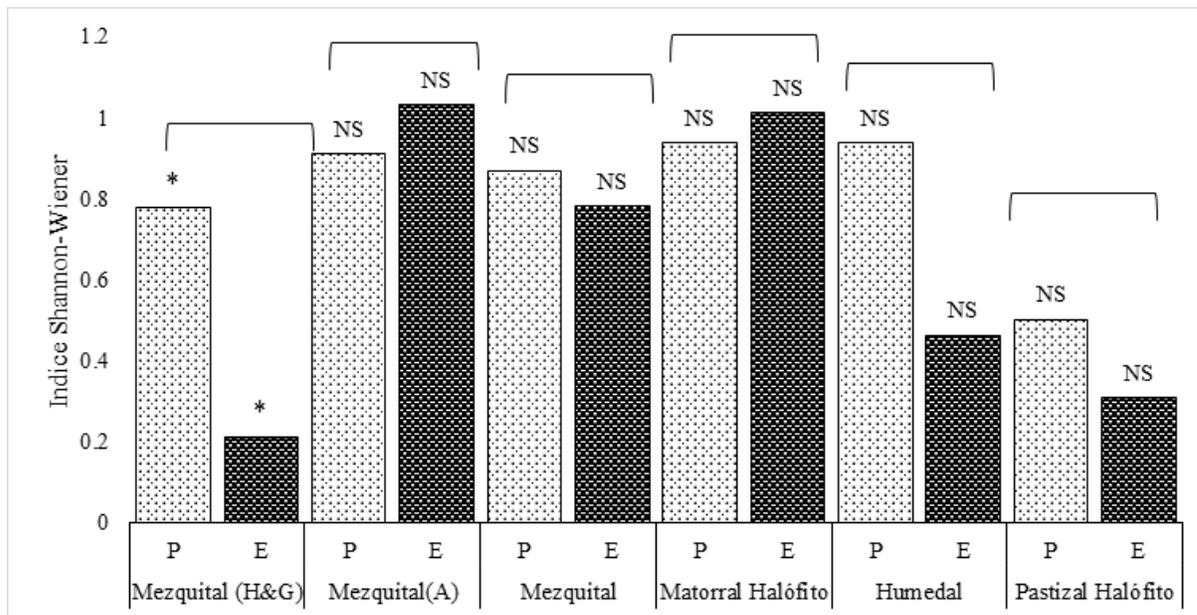
\* = p<0.05

\*\* = p<0.01

NS = No Significativo

#### 4.1.6 Índice de Shannon-Wiener

Los índices de diversidad obtenidos con la ecuación de Shannon-Wiener (Figura 5), fueron analizados estadísticamente, encontrando diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos (exclusión y pastoreo) en el estrato de gramíneas, herbáceas y arbustos de porte bajos (H&G), para el sitio “Mezquital”.



**Figura 5.**—Índice de diversidad para cada tratamiento en cada sitio, P= Pastoreo, E= Exclusión, M=Mezquital, H&G= Herbáceas y Gramíneas, A= Arbustivas, MH= Matorral halófito, H= Humedal, PH= Pastizal halófito, \* = muestra significancia y NS= No Significativo.

El estrato de arbustos de porte medio alto en el sitio “Mezquital” no fue diferente entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), aunque se observa una diversidad de especies arbustivas en el tratamiento de exclusión numéricamente mayor. En el sitio “Matorral Halófito” se observa una mayor diversidad en el tratamiento de exclusión del pastoreo, sin que esta diferencia haya sido significativa entre tratamientos (Figura 5).

En el sitio "Humedal" el índice de diversidad se observa superior en el tratamiento de pastoreo, sin embargo no se encontró una diferencia estadística. En el sitio "Pastizal Halófito" el índice de diversidad fue numéricamente mayor para el tratamiento de pastoreo, pero estadísticamente fueron similares (Figura 5).

## **4.2 Respuesta del suelo a la exclusión del pastoreo**

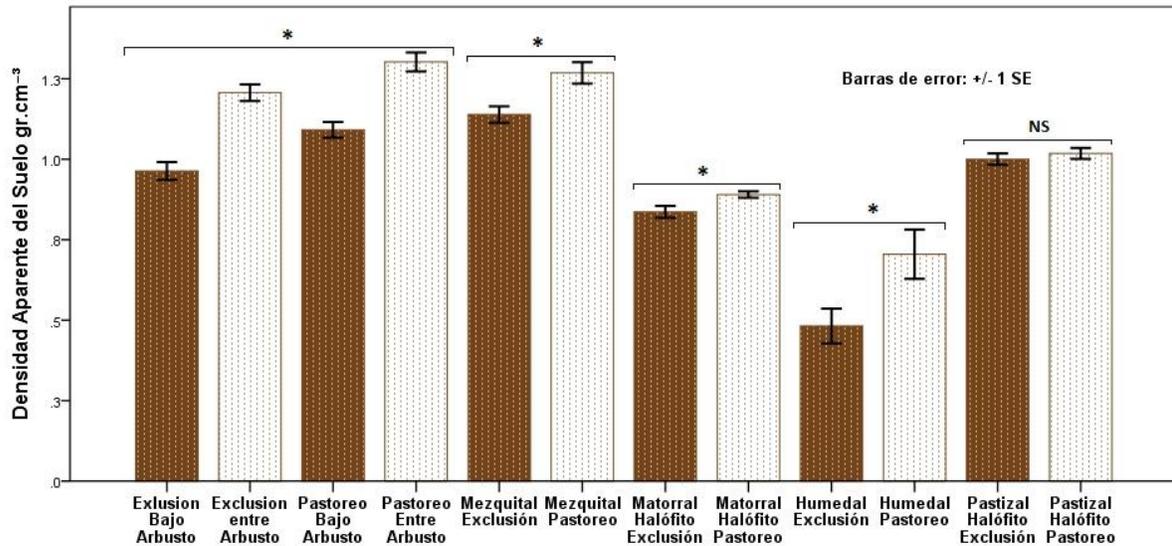
### **4.2.1 Densidad aparente del suelo**

En las muestras de suelo tomadas bajo la copa de los arbustos y entre arbustos en el sitio "Mezquital" para determinar la densidad aparente (Figura 6), se observaron diferencias significativas tanto dentro de los tratamientos como entre tratamientos.

En el tratamiento con pastoreo la densidad aparente del suelo muestreado entre arbustos fue mayor que la densidad aparente de suelo bajo arbustos ( $p < 0.05$ ). De manera similar en el tratamiento de exclusión se observó mayor densidad de suelo entre arbustos, que la densidad aparente del suelo bajo los arbustos ( $p < 0.01$ ).

Las muestras de suelo colectadas entre arbustos del tratamiento pastoreo presentaron mayor densidad ( $p < 0.01$ ), que las muestras del tratamiento exclusión ( $p < 0.01$ ). Las muestras bajo arbusto del tratamiento pastoreo ( $p < 0.01$ ) tuvieron una densidad aparente menor, pero las muestras que presentaron una menor densidad aparente del

suelo fueron las muestras de suelo colectadas bajo arbustos del tratamiento de exclusión del pastoreo ( $p < 0.01$ ).

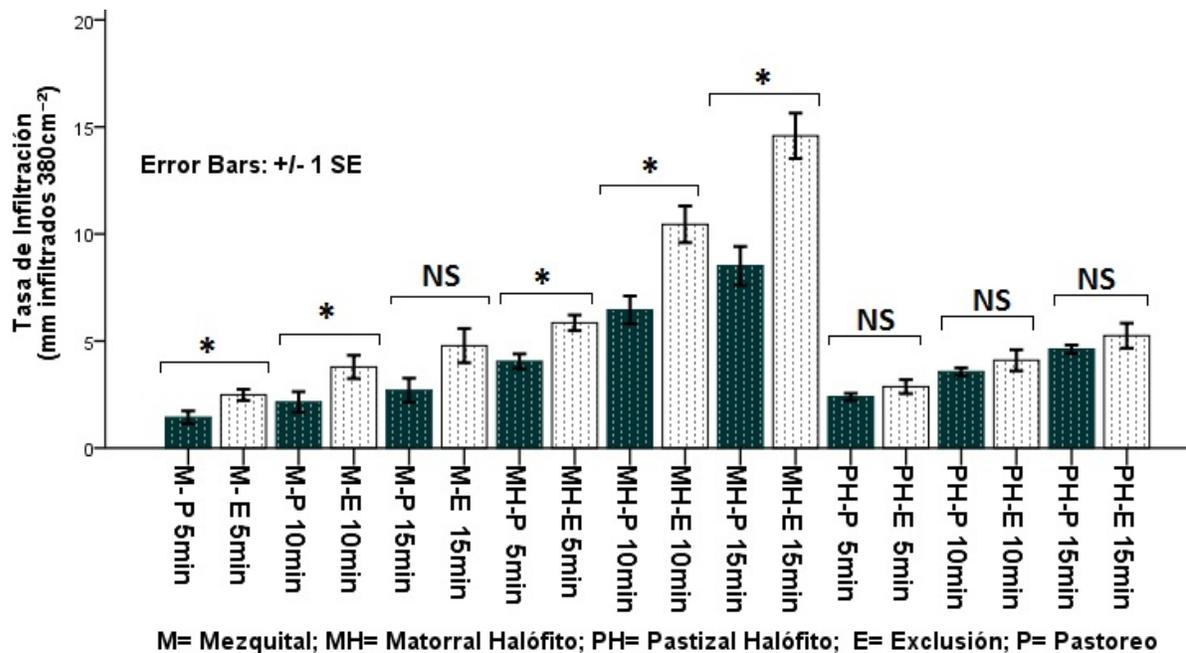


**Figura 6.-** Densidad aparente del suelo de las islas de fertilidad, y los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito”, “Humedal” y “Pastizal Halófito”. \* =Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), NS= No significativo.  $\text{cm}^{-2}$

En el sitio “Mezquital”, el tratamiento con pastoreo presentó 11% mayor densidad aparente del suelo que el tratamiento de exclusión ( $p < 0.01$ ). La densidad aparente del suelo en el sitio “Matorral Halófito” del tratamiento con pastoreo fue 6.5% mayor que la del tratamiento exclusión ( $p < 0.05$ ). En el sitio “Humedal” se encontró 41.6% mayor ( $p < 0.01$ ) densidad aparente del suelo en el tratamiento con pastoreo, en comparación con el tratamiento de exclusión. La densidad aparente del suelo del sitio “Pastizal Halófito” no fue diferente ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos.

#### 4.2.2 Infiltración del agua en el suelo

La tasa de infiltración para el sitio “Mezquital” (Figura 7) fue mayor para el tratamiento de exclusión del pastoreo comparado con el tratamiento pastoreo en 5 y 10 minutos ( $p < 0.05$ ). La infiltración en 15 minutos presentó la misma tendencia para el tratamiento con exclusión del pastoreo, pero estadísticamente no se encontró diferencia entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

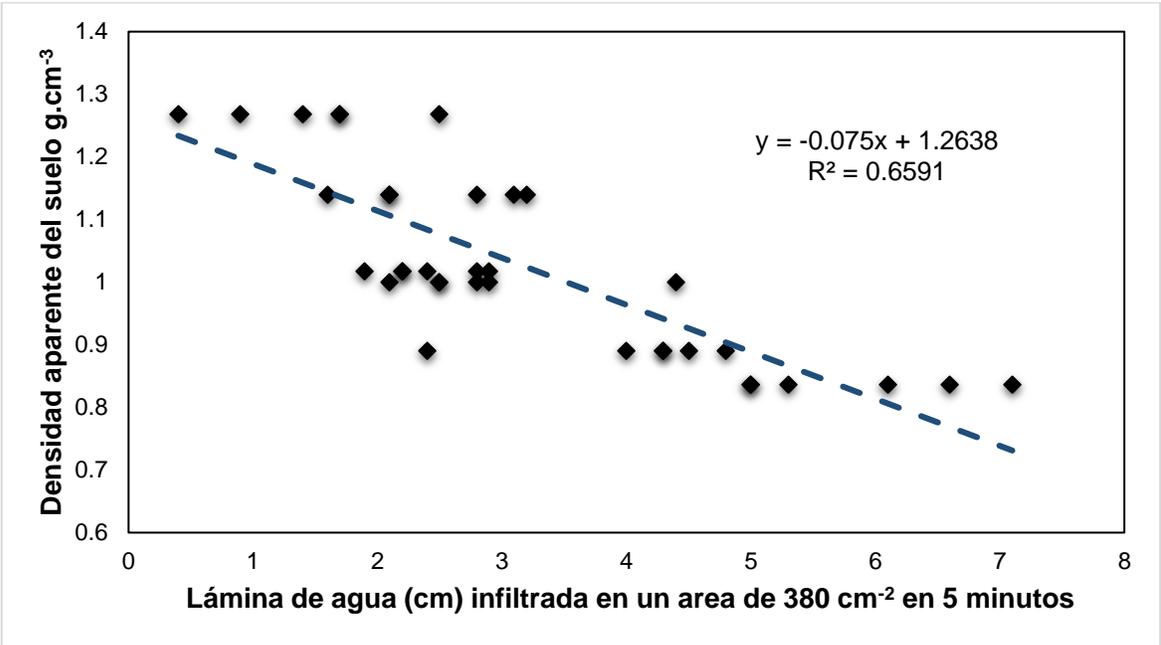


**Figura 7.-**Tasa de infiltración entre tratamientos expresada en mm de agua en 5, 10 y 15 minutos en un área de 100 cm<sup>2</sup>, en el tipo de vegetación mezquital, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento ( $p < 0.05$ ), NS = no significativo.

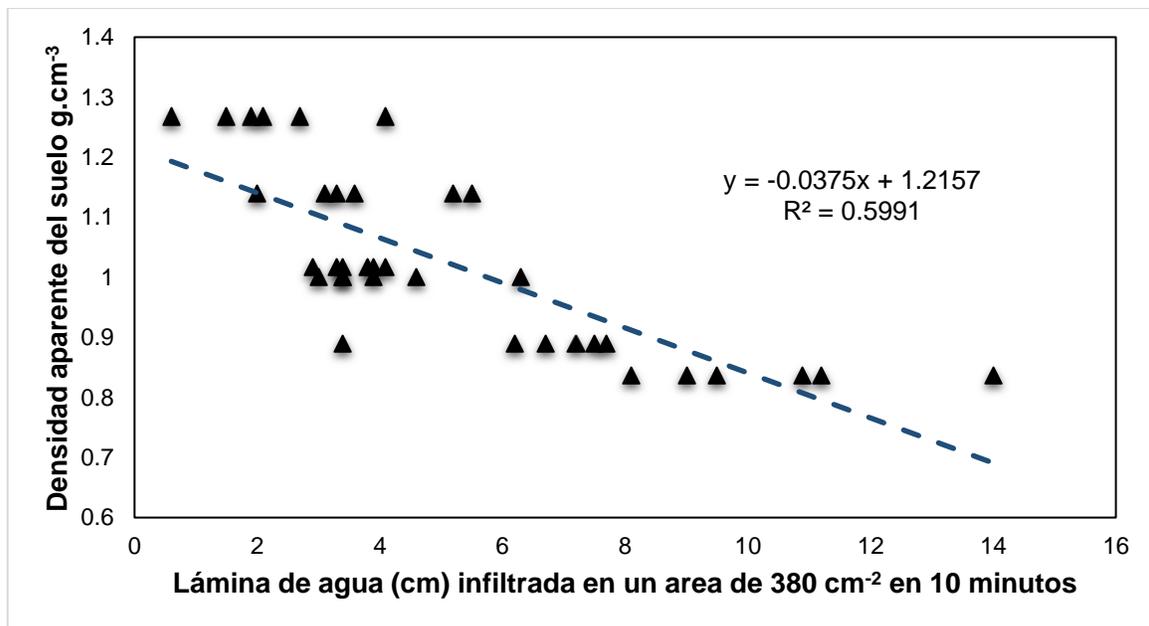
La tasa de infiltración para el sitio “Matorral Halófito” mostrada en la Figura 7, indica una mayor tasa de infiltración en el tratamiento de exclusión del pastoreo tanto en 5, 10 y 15 minutos ( $p < 0.05$ ).

En el sitio “Pastizal Halófito” la tasa de infiltración presentada en la Figura 7 indica que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

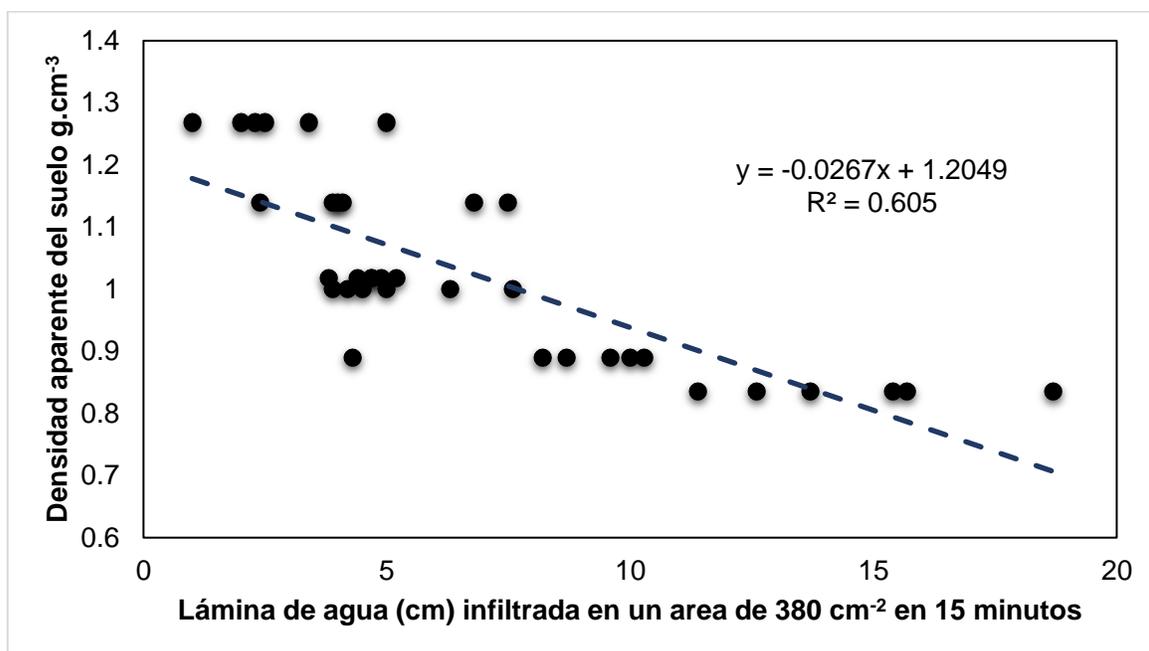
Se realizaron análisis de regresión lineal relacionando la densidad aparente del suelo y la tasa de infiltración acumulada en los 3 tipos de vegetación (M, MH y PH) en 5 minutos (Figura 8), 10 minutos (Figura 9) y 15 minutos (Figura 10), encontrando relaciones negativas ( $p < 0.05$ )  $R^2 = 0.659$ ,  $0.599$  y  $0.605$  respectivamente.



**Figura 8.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de 380cm<sup>-2</sup> en 5 minutos. La densidad aparente del suelo (gr.cm<sup>-3</sup>) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio.



**Figura 9.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de  $380 \text{ cm}^2$  en 10 minutos. La densidad aparente del suelo ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio.



**Figura 10.-** Regresión lineal de lámina de agua expresada en centímetros infiltrada en un área de  $380 \text{ cm}^2$  en 5 minutos. La densidad aparente del suelo ( $\text{gr.cm}^{-3}$ ) se presenta en promedios por tratamiento en cada sitio.

### **4.2.3 Contenido de materia orgánica y carbono orgánico, fósforo disponible y nitrógeno**

El contenido de materia orgánica del suelo y carbono orgánico no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p>0.05$ ) en ninguno de los sitios (Cuadro 6). El contenido de fósforo disponible del sitio “Mezquital” y “Humedal” fue superior en el tratamiento de exclusión ( $p<0.05$ ), que en los suelos del tratamiento pastoreo. Los valores de contenido de nitrógeno total solo presentaron diferencias significativas en el sitio “Humedal” donde la concentración de nitrógeno fue superior en el tratamiento con pastoreo en comparación con la exclusión.

**Cuadro 6.-** Depósitos de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible en los primeros 5 centímetros de la superficie del suelo en los cuatro tipos de vegetación.

Sitio	Característica	Pastoreo	Exclusión del pastoreo
Mezquital	MO (kg. ha <sup>-1</sup> )	9604±1902 <sup>NS</sup>	7781±2412 <sup>NS</sup>
	CO (kg. ha <sup>-1</sup> )	5571 ±1103 <sup>NS</sup>	4513±1399 <sup>NS</sup>
	NT (kg. ha <sup>-1</sup> )	60.87 ±15.23 <sup>NS</sup>	48.05 ±17.15 <sup>NS</sup>
	PD (kg. ha <sup>-1</sup> )	75.84±40.12 *	158.38±81.40*
Matorral Halófito	MO (kg. ha <sup>-1</sup> )	5328±1262 <sup>NS</sup>	5056±1449 <sup>NS</sup>
	CO (kg. ha <sup>-1</sup> )	3090±732 <sup>NS</sup>	2932±840 <sup>NS</sup>
	NT (kg. ha <sup>-1</sup> )	30.33±11.16 <sup>NS</sup>	37.56±12.04 <sup>NS</sup>
	PD (kg. ha <sup>-1</sup> )	0? <sup>NS</sup>	0? <sup>NS</sup>
Humedal	MO (kg. ha <sup>-1</sup> )	30591±10012 <sup>NS</sup>	23735±9747 <sup>NS</sup>
	CO (kg. ha <sup>-1</sup> )	17744±5807 <sup>NS</sup>	13767±5654 <sup>NS</sup>
	NT (kg. ha <sup>-1</sup> )	164.22±41.18**	62.93±19.63**
	PD (kg. ha <sup>-1</sup> )	0.41± 0.93	15.01±8.92*
Pastizal Halófito	MO (kg. ha <sup>-1</sup> )	5140±1607 <sup>NS</sup>	5845±795 <sup>NS</sup>
	CO (kg. ha <sup>-1</sup> )	2981±933 <sup>NS</sup>	3390±461 <sup>NS</sup>
	NT (kg. ha <sup>-1</sup> )	60.57±17.14 <sup>NS</sup>	56.52±15.25 <sup>NS</sup>
	PD (kg. ha <sup>-1</sup> )	ND	ND

Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.

**MO=** Materia orgánica; **CO=** Carbono orgánico; **NT=** Nitrógeno total; **PD=** Fósforo disponible; **(± D.E.) = ±** Desviación estándar; **\***= diferencia significativa (p<0.05); **NS=** No Significativo; **ND =** No se determinó

#### 4.2.4 Islas de fertilidad

En el cuadro 7 se observan los depósitos de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible tanto bajo arbustos, como entre arbustos en ambos tratamientos. Las concentraciones más altas fueron siempre para el tratamiento de exclusión bajo arbusto, y las concentraciones más bajas para ambos tratamientos se registraron cuando las muestras fueron tomadas entre arbustos.

**Cuadro 7.-** Contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible encontrados bajo arbustos y entre arbustos en los primeros 5 centímetros de la superficie del suelo para ambos tratamientos.

	<b>Exclusión Bajo Arbusto</b>	<b>Exclusión Entre Arbusto</b>	<b>Pastoreo Bajo Arbusto</b>	<b>Pastoreo Entre Arbusto</b>
<b>MO (kg. ha<sup>-1</sup>)</b>	24013 <sup>a</sup> ±6780	7781 <sup>c</sup> ±2412	17303 <sup>ab</sup> ±7112	9604 <sup>bc</sup> ±1902
<b>CO (kg. ha<sup>-1</sup>)</b>	13928 <sup>a</sup> ±3932	4513 <sup>c</sup> ±1399	10036 <sup>ab</sup> ±4125	5571 <sup>bc</sup> ±1103
<b>NT (kg. ha<sup>-1</sup>)</b>	214.95 <sup>a</sup> ±78.12	48.05 <sup>c</sup> ±17.15	142.86 <sup>ab</sup> ±60.79	60.87 <sup>bc</sup> ±15.23
<b>PD (kg. ha<sup>-1</sup>)</b>	202.55 <sup>a</sup> ±92.16	15839 <sup>ab</sup> ±8140	160.56 <sup>ab</sup> ±75.08	75.84 <sup>b</sup> ±40.12

*Se muestra la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos Pastoreo y Exclusión del pastoreo.*

**MO=** Materia orgánica; **CO=** Carbono orgánico; **NT=** Nitrógeno total; **PD=** Fósforo disponible; (**± D.E.**) = ± Desviación estándar; \* = diferencia significativa (p<0.05); **NS=** No Significativo; **ND =** No se determinó

Diferentes letras en los valores indican diferencias significativas entre los tratamientos

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Vegetación

#### 5.1.1 Respuesta de la vegetación

La especie dominante en el tratamiento de pastoreo en el sitio Mezquital es *Suaeda nigrescens* que presenta un 71% de composición botánica y en el sitio Pastizal halófito es *Atriplex prosopidium* con un 52% y en el tratamiento de exclusión es *Sporobolus spiciformis*, que forma un 84% de la composición botánica en el sitio Mezquital y un 86% en el sitio Pastizal halófito. Esto coincide con otros autores, que mencionan que la ausencia de herbívoros en una comunidad vegetal beneficia a las plantas con mayor capacidad para competencia de recursos, las cuales eran suprimidas por el efecto de defoliación, y son capaces de desplazar a aquellas especies que en presencia de herbívoros normalmente son dominantes al tener poco valor forrajero o defensas a la defoliación (Ricklefs, 1990; Wang *et al.*, 2014). Así, aquellos terrenos donde la ausencia de disturbio se mantiene por largo tiempo, presentan una sucesión vegetal que avanza hacia el clímax, y es común que se presente preponderancia de especies dominantes conforme transcurre el tiempo (Xiong *et al.*, 2016). Esta respuesta también se observa en el sitio “Matorral Halófito”, aunque la especie dominante en ambos tratamientos es *Flaveria oppositifolia* con más del 50% de la composición botánica, la especie gramínea *Muhlenbergia emersleyi* incrementó su cobertura más de 23% en el tratamiento de exclusión.

En los resultados de cobertura vegetal total no se encuentran diferencias significativas entre tratamientos, solo se observa una ligera tendencia en el sitio Pastizal halófito, donde el tratamiento de exclusión presenta mayor cobertura vegetal que el tratamiento de pastoreo, esto coincide con autores que señalan que la cobertura vegetal aumenta al excluir el ganado de un agostadero (Allington & Valone, 2011; Castellano & Valone, 2007; Jing *et al.*, 2014; Shi *et al.*, 2013).

La presencia de gramíneas es altamente afectada por el pastoreo en 3 de los 4 sitios: “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Pastizal Halófito”, donde el tratamiento de exclusión presenta mayor presencia de gramíneas con 57.8%, 23.3% y 38.3% respectivamente. Esto coincide con investigaciones anteriores en las que reportan un aumento de hasta un 50% en gramíneas en terrenos con exclusión del pastoreo en comparación de terrenos pastoreados (Mata *et al.*, 2007). El sitio “Humedal”, presentó una repuesta diferente, ya que las especies gramíneas disminuyeron 49.6 % en el tratamiento de exclusión, comparado con el tratamiento de pastoreo. Esto pudo deberse a que la vegetación en humedales es altamente sensible al pastoreo (Dahwa *et al.*, 2013), ya que la especie *Eleocharis spp* desplazó a la especie *Distichlis spicata* en el tratamiento de exclusión del ganado o viceversa.

Considerando la producción pronosticada publicada por COTECOCA (1979) para el estado de Coahuila para agostaderos con tipos de vegetación similares a los de este estudio, la producción de materia seca del grupo de gramíneas en los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Pastizal Halófito” fueron inferiores a la producción esperada con solo un 16%, 6% y 5% respectivamente de la producción total para cada sitio cuando la condición del agostadero es excelente (COTECOCA, 1979).

El tratamiento de exclusión del pastoreo en los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Pastizal Halófito” presentaron una producción de 178%, 107%, y 124% respectivamente de la producción total pronosticada para cada sitio cuando la condición del agostadero es excelente (COTECOCA, 1979).

En base a lo anterior es importante realizar un buen manejo del pastoreo en el agostadero. Una de las principales recomendaciones es evitar el pastoreo intenso por más de un año en el mismo sitio. Además, utilizar algunas estrategias como la rotación de potreros, buena distribución de saladeros y bebederos, así como realizar ajustes de carga al menos una vez al año (Holechek & Galt, 2000; Holechek *et al.*, 1995). También es importante no sobreutilizar el agostadero, en el caso de los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Pastizal Halófito” se recomienda una utilización adecuada de 40% (Holechek, 1988).

La precipitación jugo un rol muy importante en este estudio, ya que como se mencionó anteriormente los años 2015 y 2016 presentaron una precipitación superior al promedio, y como ya es sabido la producción de materia está íntimamente relacionada con la precipitación (Khumalo & Holechek, 2005), lo cual permite observar el impacto que tiene una exclusión del pastoreo por 10 años en estos tipos de vegetación.

En el caso del sitio “Humedal” donde la producción de gramíneas fue mayor en el terreno con pastoreo, puede deberse a que algunas plantas son muy susceptibles a ser desplazadas por el pastoreo, y en este tipo de vegetación, la precipitación no es un factor limitante, con lo que se podría explicar la producción de *Distichlis spicata* en el tratamiento de pastoreo.

### **5.1.2 Índice Shannon-Wiener**

El índice de diversidad solo fue estadísticamente diferente en el sitio “Mezquital” ( $p < 0.05$ ), lo que concuerda con otros autores que señalan que la exclusión del pastoreo tiende a disminuir la diversidad de especies de un lugar (Augustine & Frank 2001), o tiene poco efecto como estrategia para aumentar la diversidad de especies (Xiong *et al.*, 2016).

## **5.2 Suelo**

### **5.2.1 Densidad aparente del suelo**

La densidad aparente del suelo en el tratamiento con pastoreo presentó en los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito”, “Humedal” y “Pastizal Halófito” valores 11%, 6.5 %, 41.6% y 1.8% mayores, respectivamente, en comparación con el tratamiento de exclusión del pastoreo. Estos resultados son similares a los de algunos autores, que mencionan que el efecto del pastoreo en el suelo, puede llegar a incrementar la densidad hasta en un 26% (Shi *et al.*, 2013). De acuerdo a Castellano & Valone, (2007), la densidad aparente disminuye conforme aumente el tiempo de exclusión.

La mayor densidad aparente del suelo para el tratamiento de pastoreo en los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Humedal”, coincide con la tasa de infiltración que resultó ser mayor para el tratamiento de exclusión en todos los sitios, lo cual podría ser explicado por la compactación debida al pisoteo de los animales (Bilotta *et al.*,

2007; Chyba *et al.*, 2014), ya que de acuerdo a la literatura el pastoreo puede llegar a incrementar la densidad desde un 5.5% (Allington & Valone 2011) hasta un 26 % (Shi *et al.*, 2013). Cuando se incrementa la densidad aparente del suelo, la porosidad del suelo tiende a disminuir (Franzluebbers, 2002), lo que podría explicar las relaciones negativas encontradas entre la tasa de infiltración del agua y la densidad aparente del suelo.

La compactación del suelo además de ser afectada por la carga animal, también es afectada por la humedad del suelo y tipo de suelo (Dahwa *et al.*, 2013), pero en nuestro estudio no encontramos diferencias significativas en la humedad del suelo entre tratamientos (datos no mostrados), y los tratamientos fueron evaluados en un terreno muy pequeño, donde las condiciones de suelo y condiciones topográficas eran similares, así que la diferencia en densidad aparente se puede atribuir al efecto de la exclusión del pastoreo por 10 años.

### **5.2.2 Densidad aparente del suelo entre arbustos y bajo arbustos**

La densidad aparente del suelo es menor bajo los arbustos y mayor entre arbustos (cambio de densidad aparente pasando de ser 21% a 25% en pastoreo y exclusión respectivamente). La densidad del suelo difirió tanto entre arbustos y bajo arbustos así como dentro y entre tratamientos ( $p < 0.01$ ). La menor densidad aparente encontrada bajo arbustos puede responder a la cantidad de materia orgánica encontrada en el suelo (Franzluebbers 2002), y el efecto de islas de fertilidad está presente tanto en el tratamiento de exclusión como en el tratamiento de pastoreo.

### **5.2.3 Infiltración**

En un estudio realizado en Zimbabwe África, encontraron que los terrenos con pastoreo continuo presentaban una menor tasa de infiltración que aquellos que eran excluidos del pastoreo (Dahwa et al., 2013), nuestros resultados fueron similares en los sitios donde se evaluó la infiltración, el sitio Pastizal Halófito, aunque no presento diferencia significativa, si mostró una tendencia similar a los otros sitios.

Los sitios evaluados presentaron respuesta muy temprana a la exclusión del pastoreo, ya que otros estudios donde evaluaron el efecto de la exclusión por 10, 23 y 45 años no encontraron diferencias significativas en la infiltración del agua en el suelo en los primeros 10 años de exclusión del ganado, pero encontraron diferencias de 98% y 53% después de 23 y 45 años respectivamente de que se había retirado el ganado de la zona evaluada (Castellano & Valone, 2007).

El sitio “Mezquital” presentó un aumento de 75% en la capacidad de infiltración, el sitio “Matorral Halófito” obtuvo un incremento de 59% en la capacidad de infiltración y el sitio “Pastizal Halófito” se incrementó un 16% de la capacidad de infiltración, todo lo anterior comparados en base a la capacidad de infiltración del tratamiento pastoreo.

### **5.2.4 Contenido de materia orgánica, carbono, nitrógeno y fosforo del suelo**

El contenido de materia orgánica del suelo y carbono orgánico no presentó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los sitios ( $p > 0.05$ ). Estos resultados son similares a lo encontrado por Shrestha & Stahl (2008) y Shi et al., (2013). La similaridad de los valores de nitrógeno puede deberse a que la mayor parte de nitrógeno

consumido por el ganado es retenido en el ecosistema en forma de estiércol, orina o biomasa vegetal (Augustine *et al.*, 2013). Y a excepción de las diferencias en las islas de fertilidad y el sitio “Humedal”, los resultados de los sitios “Mezquital”, “Matorral Halófito” y “Pastizal Halófito” del presente trabajo coinciden con lo reportado por Raiesi & Asadi (2006), quienes no encontraron diferencias en el contenido de nitrógeno en un terreno sobrepastoreado por 17 años en comparación de un terreno excluido.

### **5.2.5 Islas de fertilidad**

Las concentraciones de materia orgánica, carbono orgánico y fósforo disponible fueron mayores bajo arbustos en exclusión que bajo arbustos en pastoreo. Esta diferencia puede deberse a una mayor acumulación de restos vegetales y partículas bajo los arbustos (García-Moya & McKell 1970). Los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico no mostraron cambios debido a los tratamientos, siendo esto similar a lo reportado por Shrestha & Stahl (2008) y Shi *et al.*, (2013).

La mayor concentración de fósforo en el sitio “Humedal” podría deberse a la remoción de plantas del suelo por el ganado (Raiesi & Asadi 2006). Las diferencias en cuanto a los contenidos de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo, sugieren que las islas de fertilidad no solo se presentan en terrenos con pastoreo, si no también aun cuando no hay presencia de animales en pastoreo. Esto difiere de otros autores, quienes solo encontraron la presencia de “islas de fertilidad en lugares pastoreados y no en lugares excluidos (Allington & Valone, 2014).

## 6 CONCLUSIONES

La exclusión del pastoreo por 10 años incrementa la producción y composición botánica de gramíneas, pero también aumenta el número de especies arbustivas y disminuye la diversidad de especies herbáceas y gramíneas.

La exclusión del pastoreo por 10 años mejora la estructura del suelo, ya que se encontró que en tres de cuatro sitios la densidad aparente del suelo disminuye al excluir el ganado.

La infiltración del suelo está altamente relacionada con la densidad aparente del suelo, por lo que podemos asumir que la exclusión del pastoreo incrementa la tasa de infiltración.

No se encontró evidencia que señalara que la exclusión del pastoreo influye en los depósitos de materia orgánica y carbono orgánico.

El efecto de islas de fertilidad se mantiene presente aun después de 10 años de haber excluido el ganado.

## 7 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alba, J. d. (1971). *Alimentación del ganado en América Latina*. 2da edición. México D.F. pp. 198-201.
- Aldrete, E., & Aguirre, J. (1982). Diferenciación de sitios y condición de agostaderos del noreste del estado de Zacatecas. *Revista Chapingo*, 35, 53-58.
- Allington, G. R. H., & Valone, T. J. (2011). Long-Term Livestock Exclusion in an Arid Grassland Alters Vegetation and Soil. *Rangeland Ecology & Management*, 64(4), 424-428.
- Allington, G. R. H., & Valone, T. J. (2014). Islands of Fertility: A Byproduct of Grazing? *Ecosystems*, 17(1), 127-141.
- Augustine, D. J., & Frank, D. A. (2001). Effects of migratory grazers on spatial heterogeneity of soil nitrogen properties in a grassland ecosystem. *Ecology*, 82(11), 3149-3162.
- Bardgett, R. D. (2011). Plant-soil interactions in a changing world. F1000 *Biol Rep*, 3(16), 569.
- Bedell, T. (1998). Glossary of terms used in range management. *Society for Range Management, Denver, CO*. 32pp.
- Bhattacharyya, T., Chandran, P., Ray, S., Mandal, C., Tiwary, P., Pal, D., . . . Sheikh, S. (2015). Walkley-Black Recovery Factor to Reassess Soil Organic Matter: Indo-Gangetic Plains and Black Soil Region of India Case Studies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(20), 2628-2648.

- Bilotta, G., Brazier, R., & Haygarth, P. (2007). The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy*, 94, 237-280.
- Briske, D., & Heitschmidt, R. (1991). An ecological perspective. *Grazing management: An ecological perspective*, 11-26.
- Burke, I. C. (1989). Control of nitrogen mineralization a sagebrush steppe landscape. *Ecology*, 1115-1126.
- Butenschoen, O., Scheu, S., & Eisenhauer, N. (2011). Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1902-1907.
- Castellano, M. J., & Valone, T. J. (2007). Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism. *Journal of Arid Environments*, 71(1), 97-108.
- CETENAL. (1977). Cartas edafológicas claves: G-13-B-59, G-14-A-51, Coahuila , México. Escala 1: 50 000.
- Chao, A., & Shen, T.-J. (2003). Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Environmental and ecological statistics*, 10(4), 429-443.
- Chyba, J., Kroulík, M., Krištof, K., Misiewicz, P., & Chaney, K. (2014). Influence of soil compaction by farm machinery and livestock on water infiltration rate on grassland. *Agronomy Research*, 12(1), 59-64.

- COTECOCA. (1979). Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero. Tipos de vegetación del Estado de Coahuila. México D. F. pp. 34-194.
- Cox, G. W. (1974). Laboratory manual of general ecology (Second edition ed.): William C. Brown Dubuque.
- Cross, A. F., & Schlesinger, W. H. (2001). Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry*, 52(2), 155-172.
- Dahwa, E., Hungwe, T., Poshiwa, X., Kativu, S., & Murungweni, C. (2013). Influence of grazing intensity on soil properties and shaping herbaceous plant communities in semi-arid dambo wetlands of Zimbabwe. *Journal of Environmental Protection*, 2013.
- Dawson, J. O., Koeser, A., Gottfried, G., & Ffolliott, P. (2016). Nitrogen Fertility Island Stability around *Prosopis Glandulosa* Sprouts after Mechanical Shrub Control in a Degraded Grassland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(16), 1875-1882.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51, 326-344.
- Esqueda, C., Sosa, E., Chávez, A., Villanueva, F., Jesús, M., Royo, M., . . . Beltrán, S. (2011). Ajuste de carga animal en tierras de pastoreo, Manual de capacitación. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Cuajimalpa.*

- Franzluebbers, A. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 197-205.
- Garcia-Moya, E., & McKell, C. M. (1970). Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 81-88.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema climático de Köppen adaptado para México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal, México.
- Gillen, R. L., & Sims, P. L. (2004). Stocking rate, precipitation, and herbage production on sand sagebrush-grassland. *Rangeland Ecology & Management*, 57(2), 148-152.
- Good, M., Schultz, N., Tighe, M., Reid, N., & Briggs, S. (2013). Herbaceous vegetation response to grazing exclusion in patches and inter-patches in semi-arid pasture and woody encroachment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179, 125-132.
- Grime, J. P. (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American naturalist*, 1169-1194.
- Heady, H. F. (1975). Rangeland management: McGraw-Hill Book Company.
- Holechek, J. L. (1988). An approach for setting the stocking rate. *Rangelands*, 10-14.
- Holechek, J. L., & Galt, D. (2000). Grazing intensity guidelines. *Rangelands*, 11-14.

- Holechek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (1995). Range management: principles and practices: Prentice-Hall.
- Holechek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (1998). Range management: principles and practices: Prentice-Hall.
- Hussain, F., & Durrani, M. J. (2009). Seasonal availability, palatability and animal preferences of forage plants in harboi arid range land. *Pakistan Journal of Botany*, 41(2), 539-554.
- INIFAP. (2016). Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas "Rancho PRONATURA". Retrieved from <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26814>
- Jaramillo, V., Villegas, G., Mendez, R., & Montaña, J. (1991). Capacidad de sostenimiento del ganado en pastoreo en México.
- Jing, Z., Cheng, J., Su, J., Bai, Y., & Jin, J. (2014). Changes in plant community composition and soil properties under 3-decade grazing exclusion in semiarid grassland. *Ecological Engineering*, 64(0), 171-178.
- Johnson, A. I. (1963). A field method for measurement of infiltration: *US Government Printing Office*.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.
- Keddy, P. (2005). Putting the plants back into plant ecology: six pragmatic models for understanding and conserving plant diversity. *Annals of botany*, 96(2), 177-189.
- Keylock, C. (2005). Simpson diversity and the Shannon–Wiener index as special cases of a generalized entropy. *Oikos*, 109(1), 203-207.

- Khumalo, G., & Holechek, J. (2005). Relationships between Chihuahuan desert perennial grass production and precipitation. *Rangeland Ecology & Management*, 58(3), 239-246.
- Kothmann, M. (1974). A glossary of terms used in range management: *Society for Range Management Denver, CO*.
- Krebs, C. J. (2014). *Ecological methodology*: Benjamin/Cummings Menlo Park, California.
- Mapfumo, E., Chanasyk, D., Naeth, M., & Baron, V. (1999). Soil compaction under grazing of annual and perennial forages. *Canadian Journal of Soil Science*, 79(1), 191-199.
- Mata-González, R., Figueroa-Sandoval, B., Clemente, F., & Manzano, M. (2007). Vegetation changes after livestock grazing exclusion and shrub control in the southern Chihuahuan Desert. *Western North American Naturalist*, 67(1), 63-70.
- McCalla, I., Blackburn, W., & Merrill, L. (1984). Effects of livestock grazing on infiltration rates, Edwards Plateau of Texas. *Journal of Range management*, 265-269.
- McSherry, M. E., & Ritchie, M. E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19(5), 1347-1357.
- Medina-Roldán, E., Paz-Ferreiro, J., & Bardgett, R. D. (2012). Grazing exclusion affects soil and plant communities, but has no impact on soil carbon storage in an upland grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 149, 118-123.

- Miranda, F., & Xolocotzi, E. H. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación: Colegio de Postgraduados, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- NRC, N. R. C. (1994). Rangeland health: new methods to classify, inventory, and monitor rangelands: National Academies Press.
- Odriozola, I., García-Baquero, G., Laskurain, N. A., & Aldezabal, A. (2014). Livestock grazing modifies the effect of environmental factors on soil temperature and water content in a temperate grassland. *Geoderma*, 235–236(0), 347-354.
- Oliva, G., Ferrante, D., Paredes, P., Humano, G., & Cesa, A. (2016). A conceptual model for changes in floristic diversity under grazing in semi-arid Patagonia using the State and Transition framework. *Journal of Arid Environments*, 127, 120-127.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 31(8), 583-590.
- Raiesi, F., & Asadi, E. (2006). Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 43(1), 76-82.
- Ricklefs, R. E. (1990). *Ecology* (Third edition ed.): W. H. Freeman and company.
- Rodríguez Fuentes, H., & Rodríguez Absi, J. (2002). *Metodos de analisis de suelos y plantas: criterios de interpretación*. México.Trillas: UANL 2002. 196 p.

- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sampson, A. W. (1919). Plant succession in relation to range management: US Department of Agriculture.
- Sathaye, J. A., & Meyers, S. (1995). Greenhouse Gas Mitigation Assessment: A Guidebook: Springer.
- Schuman, G. E., Reeder, J. D., Manley, J. T., Hart, R. H., & Manley, W. A. (1999). Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. *Ecological Applications*, 9(1), 65-71.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(1), 623-656.
- Shi, X.-M., Li, X. G., Li, C. T., Zhao, Y., Shang, Z. H., & Ma, Q. (2013). Grazing exclusion decreases soil organic C storage at an alpine grassland of the Qinghai–Tibetan Plateau. *Ecological Engineering*, 57, 183-187.
- Singh, E. (2012). Comparative Analysis of Diversity and Similarity Indices with special relevance to vegetations around Sewage Drains. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Soil-Science-Society-of-America. (2008). Glossary of soil science terms 2008: ASA-CSSA-SSSA.

- Spellerberg, I. F., & Fedor, P. J. (2003). A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon–Wiener' Index. *Global ecology and biogeography*, 12(3), 177-179.
- Suttie, J. M., Reynolds, S. G., & Batello, C. (2005). *Grasslands of the World: Food & Agriculture Org.*
- Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process: Springer.*
- Vázquez-Aldape, R., García Dávila, A., Ibarra-Flores, J., & Villarreal-Quintanilla, J. (2001). Las plantas del Valle de Cuatrociénegas, Lista actualizada, complementada y ordenada alfabéticamente. Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, 71.
- Wang, G., Liu, G., & Xu, M. (2009). Above- and belowground dynamics of plant community succession following abandonment of farmland on the Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 316(1-2), 227-239.
- Wang, X., Dong, S., Yang, B., Li, Y., & Su, X. (2014). The effects of grassland degradation on plant diversity, primary productivity, and soil fertility in the alpine region of Asia's headwaters. *Environmental monitoring and assessment*, 186(10), 6903-6917.
- Wang, Z., Johnson, D., Rong, Y., & Wang, K. (2015). Grazing effects on soil characteristics and vegetation of grassland in northern China. *Solid Earth Discussions*, 7(3).

- White, P. S. (1979). Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The botanical review*, 45(3), 229-299.
- Wu, G.-L., Du, G.-Z., Liu, Z.-H., & Thirgood, S. (2009). Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Plant and Soil*, 319(1-2), 115-126.
- Xiong, D., Shi, P., Zhang, X., & Zou, C. B. (2016). Effects of grazing exclusion on carbon sequestration and plant diversity in grasslands of China—A meta-analysis. *Ecological Engineering*, 94, 647-655.
- Zhang, Y., Zhang, X., Wang, X., Liu, N., & Kan, H. (2014). Establishing the carrying capacity of the grasslands of China: a review. *The Rangeland Journal*, 36(1), 1-9.

## 8 ANEXO 1

Nombre Científico	Nombre Común	Valor forrajero	Presencia en sitios
<i>Allenrolfea occidentalis</i>	Hierba del burro*	NR	MH, H
<i>Atriplex acanthocarpa</i>	Saladillo	Bueno y ornamental	M
<i>Atriplex canescens</i>	Costilla de vaca o Chamizo	Bueno	M, MH
<i>Atriplex prosopidium</i>	Costilla de vaca	Desconocido	PH
<i>Bouteloa barbata</i>	Zacate 6 semanas	Pobre Indicador de sobrepastoreo	M
<i>Distichlis spicata</i>	Zacate salado	Pobre	H
<i>Echinocereus stramineus</i>		Ornamental	M, PH
<i>Eleocharis spp</i>	Junquillo celdado	Desconocido	H
<i>Euphorbia spp</i>	NR	Desconocido para toda la especie	MH, H
<i>Flaveria campestris</i>	NR	NR	H
<i>Flaveria oppositifolia</i>	NR	NR	MH
<i>Guaiacum angustifolium</i>	Guayacán o Jaboncillo	Regular	M
<i>Isocoma drummondii</i>	Falsa coronilla	Pobre, Indicador de sobrepastoreo	MH
<i>Koeberlinia spinosa</i>	Corona de cristo	Desconocido	M
<i>Mammillaria heyderi</i>	Pichilinga	Ornamental	MH
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	Zacate cambray	Pobre	MH, H

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Valor forrajero</b>	<b>Presencia en sitios</b>
<i>Nerisyrenia camporum</i>	Cenicilla	Desconocido	MH
<i>Opuntia imbricata</i>	Coyonoxtle o Cardenche	Pobre, Indicador de sobrepastoreo, Propiedades medicinales Planta útil en artesanías	M
<i>Opuntia leptocaulis</i>	Tasajillo	Pobre, Propiedades medicinales	M
<i>Opuntia spp</i>	Nopal	NR	M, PH
<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite	Desconocido	M
<i>Sesuvium verrucosa</i>	Hielito	NR	MH, H
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	Zacate pirámide	Regular-bueno	M
<i>Sporobolus spiciformis</i>	Zacate espigado	Pobre	M, PH
<i>Suaeda nigrescens</i>	NR	NR	M, MH
<i>Suaeda palmeri</i>	Jauja	Desconocido	M

NR= No hay información reportada para esta especie

Fuente: (Vázquez-Aldape *et al.*, 2001)

\*[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5111730](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5111730)