

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



**Evaluación de los Cambios en la Estructura y Diversidad de un  
Pastizal Natural Posterior a una Quema Prescrita en el Rancho “Los  
Ángeles” Saltillo, Coahuila**

**Por:**

**EMILIANO ELIZONDO VILLARREAL**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Evaluación de los cambios en la estructura y diversidad de un pastizal natural posterior a una quema prescrita en el rancho "Los Ángeles", Saltillo, Coahuila

Por:

**EMILIANO ELIZONDO VILLARREAL**

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Aprobada por:



Dr. Jose Javier Ochoa Espinoza  
Asesor principal



Dr. Juan Antonio Encina Dominguez  
Coasesor



Dr. Jose Antonio Hernandez Herrera  
Coasesor



Dr. Perpetuo Alvarez Vasquez  
Coasesor



M.C. Pedro Carrillo Lopez  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2025

## Declaración de No Plagio

Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre de 2025

### DECLARO QUE:

El autor quien es el responsable directo del trabajo de investigación titulado: **"Evaluación de los cambios en la estructura y diversidad de un pastizal natural posterior a una quema prescrita en el rancho Los Ángeles Saltillo, Coahuila"**, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citar; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



EMILIANO ELIZONDO VILLARREAL

## **Agradecimientos**

### **A Dios**

Porque soy tu creación y sé que siempre me escuchas cuando te pido que hables y obres por medio de mí, quiero ser cada día mejor y aprender a amar, servir a ti y a todo lo que has creado, daré lo mejor de mí para cuidar y preservar esos hermosos paisajes y criaturas que con amor hiciste.

### **A mis padres**

Hugo Alfonso Elizondo Sosa, Elia Margarita de Jesús Villarreal Arredondo.

Por creer en mí y apoyarme incondicionalmente, son mi mayor ejemplo de perseverancia y fortaleza.

### **A mis hermanos**

Hugo, Bruno y Abril, que han sido mis compañeros de vida y son mi inspiración diaria.

### **A mis abuelos**

Armando, Graciela, Rodolfo e Isabel, los amo y siempre he pensado que llevo algo de cada uno de ustedes, a quienes les merezco gran respeto y amor, me hacen ser fuerte con solo pensar en ustedes, su esfuerzo y trabajo no han sido en vano, haré lo mejor de mí para representarlos dignamente, les ama su nieto.

### **A mi familia**

Llevo con orgullo los apellidos Elizondo Villarreal, pensar en ponerlos en alto siempre me alienta a no desistir, a todos mis tíos, tías, primos, primas y en todos, que si los nombro no acabaría, pero son parte de mí y siempre los llevo en mis pensamientos, gracias.

### **A buen amigo**

Oscar Armando Rodríguez Rodríguez, te adelantaste negro, pero siempre pensé que esto no era solo para mí, lo hago por los dos, tus ganas de luchar me inspiraron incontables veces, te llevo siempre conmigo, amigo.

### **Dr. José Javier Ochoa Espinoza**

Agradezco su apoyo y amistad, sé que no solo me llevé un profesor con el que alguna vez tuve clase, ni un asesor de tesis, me llevé un amigo, gracias.

### **Dr. Juan Antonio Encina Domínguez**

Gracias por hacerme creer en mí mismo y siempre apoyarme, agradezco su amistad y todos los consejos que siempre me dio.

### **A mis buenos amigos**

Les agradezco el demostrarme su solidaridad y apoyo, al final como dicen, las risas nunca faltaron, sé que serán buenos colegas y ya son excelentes seres humanos, nunca olviden que ser buena persona es primordial.

### **A las personas que hicieron mi experimento posible**

Dr. Javier Ochoa, Dr. Juan Encina, Dr. Vázquez Aldape, Dr. Andrés Nájera, brigadas de CONAFOR y SEMARNAT y a todo el personal de apoyo y voluntariado que sin su apoyo y disposición esta tesis no tendría lugar.

### **A mi Alma Terra Mater**

Por ser mi segundo hogar y brindarme tantas emociones y alegrías, siempre pensando en ser buen estudiante y profesionista, pero mejor persona.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo General	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.1.3 Hipótesis	14
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>15</b>
2.1 Importancia de los Pastizales para la Ganadería	15
2.1.1 Conceptualización de Terrenos de Pastoreo	15
2.1.2 Importancia Económica de los Zacatales	16
2.1.3 Rehabilitación de los Pastizales como Herramienta en la Ganadería	18
<b>2.2 Uso del Fuego para la Rehabilitación de Pastizales</b>	<b>19</b>
2.2.1 Ambientes Dependientes del Fuego	19
2.2.2 Régimen de Fuego en Pastizales	20
2.2.3 Utilidad de las Quemadas Prescritas	21
2.2.4 Métricas Ecológicas para el Manejo del Fuego	22
2.3 Técnicas de Rehabilitación Mecánica	23
2.3.1 Implementos Usados en la Rehabilitación Mecánica	23
2.3.2 Innovación Tecnológica para Rehabilitación de Ecosistemas	26
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1 Localización del Área de Estudio	27
3.2 Clima	28
3.3 Hidrología	30
3.4 Geología y Edafología	31
3.5 Vegetación	32
3.6 Descripción de la Unidad de Quema	33
3.6.1 Planificación y Ejecución de la Quema Prescrita	35
3.6.2 Modelo de Combustible	36
3.6.3 Descripción de Tratamientos Utilizados	36
3.6.4 Variables a Evaluar	38
3.7 Análisis de la información	40
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>41</b>
4.1 Efectividad de la quema.	41
4.2 Cobertura Vegetal.	42
4.3 Riqueza.	47
4.4 Diversidad.	53
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>VI. IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA</b>	<b>58</b>
<b>VII. ANEXOS</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cronología de las evaluaciones de los tratamientos de la QP de marzo de 2024	40
Cuadro 2. Especies con mayor dominancia (cobertura) por tratamiento y evaluación, ponderando de mayor a menor.	48
Cuadro 3. Valores de riqueza de especies estimados mediante el índice Chao-1 para tres tratamientos de rehabilitación de pastizales en el Rancho Los Ángeles	52
Cuadro 4. Valores de equitatividad obtenidos durante el experimento en las cuatro evaluaciones para los tres tratamientos.	55
Cuadro 5. Especies presentes en el grupo funcional de los arbustos	67
Cuadro 6. Especies presentes en el grupo funcional de las herbáceas	68
Cuadro 7. Especie presente en el grupo funcional de las cactáceas	68
Cuadro 8. Especies presentes en el grupo funcional de los zacates	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Localización del área de estudio en el sureste de Coahuila.	28
Figura 2. Comportamiento de la sequía un año previo a la quema prescrita, desde febrero de 2023 hasta marzo 2024	30
Figura 3. Mapa de comportamiento del agua y cuerpos de agua.	31
Figura 4. Tipos de suelos y geología del área del potrero 10 en Rancho Los Ángeles.	32
Figura 5. Tipos de vegetación representativos del rancho Los Ángeles	33
Figura 6. Unidad de quema sobre zacatal en el potrero 10	34
Figura 7. Ubicación general de los tratamientos en el área de estudio	38
Figura 8. Proporción de la severidad del fuego en la unidad de quema	41
Figura 9. Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal y área quemada en un período de 182 días con la aplicación de un tratamiento de quema prescrita (TQ) en el Rancho Los Ángeles.	43
Figura 10. Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal y área quemada en un período de 182 días con la aplicación de un tratamiento de quema prescrita y rodillo aireador (TQ+R) en el Rancho Los Ángeles.	44
Figura 11. Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal en un período de 157 días con la aplicación de un tratamiento de rodillo aireador (TR) en el Rancho Los Ángeles.	45
Figura 12. Curva de rarefacciones para TQ en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles	48
Figura 13. Curva de rarefacciones para TQ+R en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles	49
Figura 14. Curva de rarefacciones para TR en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles	49
Figura 15. Valores de biodiversidad de Shannon para TQ con IC (95%).	52
Figura 16. Valores de biodiversidad de Shannon para TQ+R con IC (95%).	53
Figura 17. Valores de biodiversidad de Shannon para TR con IC (95%).	53

## RESUMEN

Los pastizales son ecosistemas que han evolucionado con el fuego, la sequía y el pastoreo, lo que nos lleva a pensar que más que afectar, el fuego, lo puede beneficiar cuando es aplicado correctamente. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tratamientos combinados de rehabilitación de pastizal tales como rodillo aireador (R) y quema prescrita (QP) en la riqueza, diversidad y cobertura de un pastizal mediano abierto en el Rancho Los Ángeles. La QP se realizó en la última parte del invierno de 2023-2024, y en una superficie aproximada de cinco hectáreas, se hicieron evaluaciones de combustibles, comportamiento meteorológico, colecta de especies presentes, acciones de seguridad como brechas y quema de líneas negras, con el apoyo de voluntarios, brigadas locales de combate de incendios forestales. Se evaluaron tres tratamientos (TQ, TQ+R y TR), dentro de un período de 182 días se registraron los cambios en la cobertura, diversidad y riqueza en cada tratamiento. Se comprobó que TQ+R promovió en mayor medida un aumento en la cobertura vegetal a razón de un 70%, mientras que TQ estimuló un aumento en el número de especies de 9 a 19 durante las evaluaciones, mientras que para diversidad el tratamiento TR estimuló más la diversidad obteniendo un valor de -2.61 con el índice de Shannon, por lo que consideramos que TQ+R aplicado a finales del invierno, con las condiciones específicas del año en que se realizó el experimento, de acuerdo a lo medido y observado, resultó el tratamiento que más incentivo la mejora del ecosistema en términos de resiliencia. Este documento es de utilidad para estudiantes, docentes y personas interesadas en la rehabilitación de pastizales mediante métodos pírnicos y mecánicos. Asimismo, busca generar conciencia sobre la importancia del manejo adecuado para evitar su degradación y promover soluciones que contribuyan a la conservación de estos ecosistemas y de los servicios que brindan a la sociedad.

**Palabras clave:** Pastizal, diversidad de especies, quema prescrita, rodillo aireador.

## ABSTRACT

Grasslands are ecosystems that have evolved alongside fire, drought, and grazing, which suggests that fire, rather than being detrimental, can be beneficial when applied appropriately. The objective of this study was to evaluate the effect of combined grassland rehabilitation treatments—such as an aerator roller (R) and prescribed burning (PB)—on species richness, diversity, and cover in a medium open grassland at *Rancho “Los Ángeles”*. The prescribed burn was conducted during the late winter of 2023–2024 over an approximate area of five hectares. Prior to burning, assessments of fuel loads, weather behavior, species collection, and safety actions—such as firebreak construction and blackline burning—were carried out with support from volunteers and local forest firefighting brigades. Three treatments were evaluated (PB, PB+R, and R) over a 182-day period, documenting changes in vegetation cover, diversity, and richness for each treatment. Results indicated that PB+R promoted the greatest increase in vegetation cover, with a 70% rise. In contrast, PB alone stimulated an increase in the number of species, from 9 to 19 throughout the evaluation period. Regarding diversity, treatment R produced the highest diversity, with a Shannon index value of  $-2.61$ . Based on these measurements and observations, we conclude that PB+R, applied at the end of winter under the specific conditions of the study year, was the treatment that most effectively enhanced ecosystem resilience. This thesis is intended for students, faculty, and individuals interested in grassland rehabilitation using different methods (pyric and mechanical). It also aims to raise awareness about the fact that proper management could eliminate the need for rehabilitation efforts. Nevertheless, it is part of human development, and thus a challenge that must be addressed—not by focusing on the problem, but on the solution and on how to positively influence society so that these ecosystems persist and continue providing the ecosystem services that have long benefited the world.

**Keywords:** Grassland, prescribed burning, aerator roller.

## I. INTRODUCCIÓN

La importancia de los pastizales radica en que son fuente de forraje en la ganadería extensiva, hábitat para la fauna silvestre y procuran servicios ambientales como la recarga de mantos acuíferos, además de formar paisajes dinámicos que proveen recreación y belleza escénica (Pergola *et al.* 2024). Sin embargo, debido al sobreuso y la explotación de los recursos naturales, especialistas en el tema han desarrollado e implementado diversas técnicas de rehabilitación y restauración de pastizales, pero existe las preguntas si es factible y efectivo para el ecosistema y para los pobladores

A escala continental, los pastizales se distribuyen en diversas regiones geográficas. En América destacan las planicies centrales de Norteamérica, las cuales han evolucionado bajo la influencia de dos factores clave: la presencia histórica de grandes poblaciones de bisontes, su papel ecológico ha sido reemplazado en gran medida por el ganado bovino y la dinámica del pastoreo. Si bien la actividad de estos herbívoros puede generar beneficios, también puede ocasionar impactos negativos en el ecosistema. (Allred *et al.* ,2011; Jurado *et al.*, 2021) y el pastoreo, el cual es un proceso dinámico que interactúa con paisajes complejos que puede dar como resultado patrones de uso, sobrepastoreo y cambios en el ecosistema.

A nivel nacional y de acuerdo con la SEMARNAT (2025) en México cerca del 45% del suelo ha sido degradado por algún tipo de proceso, en ecosistemas naturales o manejados, ya sea por degradación química, erosión eólica, hídrica y física, lo cual ha resultado en un cambio en la dinámica y función de los pastizales. En los pastizales del norte de México se presentan distintos grados de degradación que pueden ser atendidos lo mismo con técnicas mecánicas, la implementación de quemas prescritas, pero también con el descanso, contemplando estas herramientas de restauración, Valko y Deak (2016) concluyen que el uso de quemas prescritas puede tener impactos positivos para la conservación de los ecosistemas. De igual forma, los pastizales han requerido del fuego para su evolución; por ello, cualquier alteración en el régimen de incendios puede provocar cambios en la distribución de las especies dentro de este mismo hábitat (Beal-Neves *et al.* ,2024).

En México, el uso del fuego en pastizales es aún incipiente, por lo que muchos administradores de recursos naturales no están plenamente familiarizados con la normativa vigente, los procedimientos técnicos ni la influencia de las variables meteorológicas en su comportamiento (Kobziar *et al.*, 2024); Algunos ejemplos del uso del fuego prescrito se han documentado en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, donde su aplicación permitió modificar el estrato arbustivo bajo el dosel, con el propósito de promover cambios en la diversidad de plantas con flor e incrementar las poblaciones de aves polinizadoras, como los colibríes (Quijano *et al.* 2025), En el norte de México, particularmente en el estado de Coahuila, se han aplicado quemas prescritas en áreas de matorral con el fin de ampliar la zona de desplazamiento de grandes herbívoros, como los bisontes, con lo que se disminuyó la cobertura vegetal excesivamente densa y mejorar la accesibilidad del hábitat para los bisontes (Ochoa *et al.* 2017), estos escenarios de manejo involucran la toma de decisiones para el manejo de la biodiversidad a través de la manipulación de componentes mediante la herramienta del fuego, donde las quemas prescritas toman importancia como tema de rehabilitación, al tratar de incrementar la riqueza, diversidad y cobertura.

La degradación de un ecosistema puede ser visible o no, si es visible, lo que se degrada es la estructura y si es invisible, muy probablemente lo que se está degradando es una proceso o función (Francis *et al.* 2021), un ejemplo de degradación estructural es el desplazamiento de especies nativas de gramíneas, ahora sustituidas por matorrales o especies invasivas, como lo reportado por Molvar *et al.*, (2024) en el oeste de Estados Unidos con la especie *Bromus tectorum*; por otro lado, otro ejemplo de la degradación combinada entre lo estructural y lo funcional es el cambio en el régimen del fuego en los pastizales (Smit *et al.*, 2024).

Una vez que se aplica cualquier método de rehabilitación o restauración de pastizales, la elección del indicador o parámetro de cambio debe ser el adecuado, nos permitirá saber qué tan efectivo fue el tratamiento, el porcentaje de cobertura vegetal nos indica la estabilidad de un grupo en específico dentro de la población, mientras que el número de especies (riqueza) y su presencia o ausencia puede ser indicativo de un impacto positivo o negativo derivado de un disturbio.

Por otro lado, la diversidad y la riqueza son parámetros ecológicos que nos indican el balance entre especies y su número en un espacio determinado, por ello son importantes porque nos indican la salud en general del ecosistema y/o que tan propenso está de un cambio en su dinámica o funcionalidad, la diversidad y riqueza puede ser un buen indicador de precipitación efectiva, un buen ciclo de nutrientes o simplemente al desplazamiento de especies que no resistieron algún disturbio o que no se adaptaron, pero al mismo tiempo hay que pensar en qué especies se adaptan mejor a nuestra meta de rehabilitación (Fedor y Zvarikova, 2019)

En este estudio se evaluaron los indicadores del pastizal con el propósito de identificar qué técnica de rehabilitación es más adecuada para favorecer el incremento de la cobertura vegetal y analizar las variables ecológicas de respuesta como la diversidad y la riqueza de especies, considerando el contexto local. Asimismo, se plantea el uso del fuego como una herramienta potencial en la rehabilitación de pastizales, integrando la evaluación de factores bióticos y abióticos para orientar decisiones que beneficien al ecosistema. Los resultados de este trabajo serán de utilidad para tomadores de decisiones, estudiantes y cualquier persona interesada en el empleo de quemadas prescritas como estrategia de manejo.

## **1.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de tratamientos combinados de rehabilitación de pastizal como la quema prescrita y el rodillo aireador sobre la riqueza, diversidad y cobertura de un pastizal mediano abierto en el Rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar cambios en la diversidad, riqueza y cobertura desde el invierno tardío al otoño temprano en los diferentes tratamientos aplicados;
- Documentar el efecto del fuego a través de una quema prescrita y su combinación con rodillo aireador sobre las variables evaluadas.
- Documentar el efecto del rodillo aireador sobre las variables evaluadas.

### **1.1.3 Hipótesis**

- El uso de rodillo aireador y quema prescrita no presenta un incremento en el porcentaje de cobertura vegetal mayor que el observado con los demás tratamientos aplicados.
- La quema prescrita no presenta un incremento en la riqueza y diversidad de especies vegetales mayor que el observado con los demás tratamientos aplicados.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia de los Pastizales para la Ganadería

#### 2.1.1 Conceptualización de Terrenos de Pastoreo

A nivel global existen diversas maneras de conceptualizar los terrenos de pastoreo y puede variar según sea el continente, país o región, pero es necesario definir términos que se puedan usar a nivel global para un mejor entendimiento entre la sociedad y en general de los usuarios de estos. Uno de los términos más usados en la literatura es pastizales la cual la podemos definir como áreas con limitaciones físicas que las hacen no aptas para cultivos, pero sí como tierras de pastoreo, gracias a sus recursos vegetales tales como arbustos, árboles, zacates y otras plantas nativas (Kelly *et al.*, 2024). La Sociedad Americana de Manejo de Pastizales (Society for Range Management) define a los pastizales (*rangelands* en inglés) como el tipo de terreno cuya vegetación potencial nativa está compuesta por pastos, plantas similares a los pastos, hierbas o arbustos, y se maneja como un ecosistema natural. Si se introducen plantas, se gestionan de manera similar. Las tierras de pastoreo incluyen praderas naturales, sabanas, matorrales, muchos desiertos, tundras, comunidades alpinas, pantanos y praderas húmedas (SRM, 1998).

Cualquier ecosistema que proporcione forraje aprovechable por algún animal puede ser categorizado como pastizal, existen más términos usados dentro de este esquema en México, se ha adecuado un término para describir un tipo de ecosistema donde predominan las gramíneas, ya sea de porte bajo, mediano o alto, amacollado o no, el cual es “Zacatal” que proviene de la palabra Náhuatl, Zacatl y hace referencia a pasto, hierba o forraje (Encina *et al.*, 2020). Otros términos usados son: pastura, pradera, pastura anual, pastura cultivada, pastura permanente, pastura temporal (Allen *et al.* 2001), en Sudamérica se les conoce también como punas y pampas (Zelaya *et al.* ,2016).

Al respecto de la terminología no académica, la legislación del estado de Coahuila en materia de ganadería (Ley Ganadera del Estado de Coahuila de Zaragoza) refiere de manera textual en su Artículo 5, Numeral V a las tierras de pastoreo como agostaderos: “*superficie de terreno con vegetación natural destinada a la alimentación por pastoreo, reproducción y protección del ganado y la fauna silvestre*” (Ley Ganadera de Coahuila, 2020), este es el concepto oficial que se usa para efectos de Ley en México.

### **2.1.2 Importancia Económica de los Zacatales**

Los zacatales o pastizales han sido parte fundamental en el desarrollo de la economía y desarrollo de grandes partes del mundo, siendo una pieza importante en el sector primario, es donde empieza la cadena de producción de bovinos, ovinos y caprinos, así como la fauna silvestre con fines de aprovechamiento y conservación, entonces es imposible pensar en el desarrollo económico sin todo el trasfondo que este tiene hasta llevarnos a un zacatal, los servicios ecosistémicos son variados, la producción de carne, recursos maderables, aprovechamiento de agua, recreación, todos estos en gran medida provenientes de los pastizales (Liu *et al.*, 2022).

Por mucho tiempo el enfoque productivo de los pastizales ha tenido un mayor enfoque en producción de kilos en base a la producción animal, mas no como producir más forraje nativo de una manera sostenible y en un suelo saludable, como consecuencia nos encontramos con zacatales degradados al punto de no retorno o posible no retorno y que han cambiado en función y estructura (Shen *et al.*, 2025), la necesidad de conservación ha hecho que lo mismo la iniciativa privada, los gobiernos y demás organismos alrededor del mundo busquen mitigar el impacto ambiental causado a lo largo de los años, dando a cambio compensaciones económicas a productores que están dispuestos a implementar técnicas de rehabilitación y conservación de los recursos naturales Dong *et al.*, (2024), siendo este otro tipo de percepción económica no antes pensada, aunado a las prácticas convencionales de ganadería o explotación de recursos naturales, podemos entender que la importancia de este tipo de ecosistemas es mayúscula.

De acuerdo con Rojas *et al.* (2025), la producción ganadera en México genera empleo e ingresos que contribuyen al desarrollo económico nacional y proporcionan seguridad

alimentaria y subsistencia a millones de hogares. En 2022, la producción nacional de carne de vacuno fue superior a los dos millones de toneladas, con un valor cercano a los \$163 millones de pesos, mientras que la producción de caprinos y ovinos se estimó en \$6,525,483.78 millones de pesos para el año 2014 a nivel nacional (Agroproductividad, 2018), sin embargo, las estimaciones de la productividad económica de los pastizales, como kilogramos o toneladas producidas por hectárea son escasas, Soca *et al.*, (2024); recientemente se ha empezado a dar un mayor énfasis al uso de indicadores económicos derivados de los productos o servicios de los pastizales, dentro de los que destacan servicios ambientales como la captura de carbono, o la diversidad, Shu *et al.*, (2023). La metodología de estimación económica más extendida para los servicios ecosistémicos de los pastizales fue la evaluación del valor de tales servicios, la cual asigna un coeficiente equivalente a cada categoría de uso del suelo por unidad de área, de acuerdo con lo reportado por Xie *et al.*, (2003) y Costanza *et al.*, (1997). A esta le siguen los métodos de estimación "indirecta", como el enfoque de equivalencia de recursos, según el cual las estimaciones económicas de los servicios ecosistémicos se realizan mediante la cuantificación de la compensación a los agricultores por la pérdida del recurso ambiental. Esta categoría incluye los pagos por servicios ecosistémicos, los esquemas agroambientales y las compensaciones ecológicas, todas ellas estrategias de balance compensatorio, las cuales se consideran indirectas porque la estimación de los servicios ecosistémicos derivados de estas se cuantificó, tomando como referencia el monto de la compensación ecológica recibida por los agricultores que implementan medidas para aumentar los servicios del ecosistema o evitar su disminución.

Una buena gestión y manejo de pastizales nos va a dar como resultado servicios ecosistémicos más resilientes y productivos, como la producción de forraje, ya sea para la ganadería y producción de heno, recursos maderables, captación de agua a los mantos acuíferos, captura de carbono, mitigación del cambio climático y evitar la erosión, cuidar nuestro suelo se va a convertir en una prioridad con resultados económicos y sociales, no solo ecológico (Bengtsson *et al.*, 2019).

### **2.1.3 Rehabilitación de los Pastizales como Herramienta en la Ganadería**

Las principales fuentes de alimento en la ganadería extensiva son las plantas que crecen en los pastizales, en sus estratos vegetativos, con las prácticas culturales aplicadas en la ganadería convencional, estos ecosistemas han sufrido sobreapacentamiento, que ha causado una baja producción y desplazamiento de especies nativas de gramíneas, lo que se traduce en baja producción pecuaria (Boval y Dixon, 2012). En toda operación productiva la base es la economía y en orden para lograr un retorno están establecidas metas y objetivos, parte de esto debería de ser la rehabilitación de pastizales, que puede realizarse de muchas maneras, mecánica, pírca, manual, química; aunque no siempre posible, ya sea por limitaciones económicas o de capital humano, deberían de incluirse en el plan de trabajo de cualquier rancho (Flores *et al.*, 2014).

Desde una percepción ecológica y de restauración y cuidado de medio ambiente, el suelo, los recursos vegetales de alimentación como el pasto y todas las estructuras y organismos presentes en él, nos dará como resultado una mayor duración o perpetuidad del mismo, además de poder satisfacer las necesidades del mercado, se podrá hacer uso por más tiempo de este recurso tan importante (Lyons *et al.*, 2023) Si se gestiona mediante pastoreo rotacional en pastizales productivos, los animales en pastoreo tendrán suficiente alimento para un aumento de peso considerable (Dillon *et al.* 2020; Rowntree *et al.*, 2020).

Autores como, Palmer y Stewart (2020), comentan que el enfoque de rehabilitar, va a nacer de una necesidad y va a depender de los intereses tanto de producción como de conservación y económicos, el diagnóstico del predio será el factor más importante para buscar la mejor manera de implementar algún tipo de técnica de rehabilitación, ya sea mecánica, manual, pírca o química y las condiciones propias del ecosistema y meteorológicas, época del año, capacidad económica, capital humano, definirá cuál método de rehabilitación implementar, además de pensar en la continuidad de la operación a nivel familiar, rehabilitar es algo que es necesario para las generaciones futuras. Para poder entender mejor el término de rehabilitación ecológica es necesario también abordarlo desde el ámbito socioeconómico y ecológico, así como su relación

con la ciencia y política, tomar en cuenta estos temas nos dará una idea más clara del objetivo que queramos perseguir, beneficiando a todo lo involucrado, este enfoque nos dará una serie de opciones en cuanto a estrategia y toma de decisiones (Wyant, 1995).

## **2.2 Uso del Fuego para la Rehabilitación de Pastizales**

### **2.2.1 Ambientes Dependientes del Fuego**

Los incendios naturales son fundamentales para mantener ciclos vitales en plantas y ecosistemas dependientes de ellos y de alguna manera influyen también la vida de los animales silvestres que ocupan estos hábitats, ya que por siglos el fuego ha sido uno de los elementos de la naturaleza de la cual el ser humano ha sido testigo, desde los grandes incendios naturales hasta su domesticación, aprovechándose como fuente de luz y calor, es parte de la evolución humana (McLauchlan *et al.*, 2020). De acuerdo con *The Nature Conservancy* en su artículo “El fuego, Los ecosistemas y la Gente” (TNC, 2004), 46% de la superficie terrestre está constituida por hábitats dependientes del fuego o influidos por éste, lo cual nos dice que aproximadamente la mitad de la superficie terrestre de alguna manera depende del fuego para subsistir de la misma manera en la que lo ha hecho, sin tener algún cambio en el régimen del fuego el cual desencadenaría un cambio total o parcial en las especies presentes, y por ende un cambio en el comportamiento del fuego, hablando de frecuencia, intensidad, resistencia y capacidad de recuperación. Dentro de los hábitats que dependen del fuego para su regeneración o mantenimiento se cuentan a los pastizales, sabanas, bosques, palmares y matorrales que se extiende de manera global (Nájera, 2013).

Algunas plantas han cambiado su forma y estructura debido a su exposición y adaptación regular al fuego, por ejemplo, desarrollaron cortezas más gruesas, conos que solo se abren con el calor y un crecimiento bajo y denso cuando son jóvenes, estas características les ayudan no solo a sobrevivir a los incendios, sino también a que su reproducción se mantenga ya que es una forma de escarificación que garantiza la germinación y por lo tanto su reproducción, además que estas especies coadyuvan a que el fuego se propague con más facilidad, ya que muchas de estas plantas son

inflamables y se queman con facilidad, lo que es beneficio y promueve renovación en ambientes donde esto es necesario (He *et al.* 2016; Myers, 2006).

### **2.2.2 Régimen de Fuego en Pastizales**

Una manera de interpretar los regímenes del fuego es entendiendo la presencia de fuego en un espacio y tiempo determinados, tomando en cuenta su frecuencia, intensidad y rol dentro del ecosistema y existen atributos para estos que pueden ser energéticos como la intensidad, severidad y tipo de fuego, o atributos temporales como la frecuencia y estacionalidad y por último atributos espaciales que incluyen el tamaño y configuración espacial del área en la que ocurrió el fuego (Boshoff, 2024; Plumanns-Pouton *et al.*, 2025). De acuerdo con Zouhar (2021), los regímenes históricos de incendios en los pastizales y ecosistemas de pradera de las llanuras del centro de América del Norte se caracterizan por incendios frecuentes, con intervalos de recurrencia que van de uno a 35 años.

Los beneficios de la ocurrencia de incendios frecuentes en ambientes dependientes del fuego es que ayudan a eliminar la hojarasca acumulada, estimulan la producción de pastos nativos e impiden el establecimiento y la expansión de plantas indeseables, así mismo, los incendios se presentan en intervalos más largos en áreas con topografía quebradas o irregulares en comparación con áreas de topografía plana, considerando también que los incendios en pastizales consumen la mayor parte o toda la biomasa (Salidyga *et al.*, 2022).

Los incendios naturales tienen como fuente de ignición natural los rayos o descargas eléctricas y como fuente artificial algunas actividades humanas, dependiendo de las condiciones ambientales locales y la ubicación geográfica las temporadas de incendios pueden variar, pero para el noreste de México la ventana de ocurrencia de incendios más frecuente abarca desde finales de la primavera hasta el verano (CONAFOR, 2025); en una escala temporal mayor a la de un año, McLauchlan *et al.*, (2020) registraron que dentro del periodo de 1970 a 2013, la ventana anual de ocurrencia de incendios en muchas partes del mundo aumentó, lo que apunta a modificar los regímenes de manera sensible. Cuando se incluye el factor severidad, encontramos que cuando esta es mixta,

es decir que dentro de la misma superficie afectada por el incendio hay áreas de alta, mediana y baja severidad, estos son más probables donde hay presencia de arbustos y durante la temporada de crecimiento pueden ser más irregulares que los de la temporada inactiva debido a la mayor variabilidad en la humedad del combustible (Salidyga *et al.* 2022)

Por otro lado, la configuración del área quemada en un incendio también está influida por la intensidad de pastoreo, como en el caso de grandes ungulados como el bisonte que pueden alterar la continuidad del combustible y generar incendios más fragmentados (Siegel *et al.*, 2022). Estos pastizales, que alguna vez fueron en gran parte continuos, han sido fragmentados y alterados por el asentamiento humano, y la mayor parte del terreno se ha convertido en tierras de cultivo y pastoreo. Por lo tanto, los regímenes históricos de incendios ya no funcionan, aunque muchos pastizales se manejan con quemas prescritas frecuentes en primavera.

De acuerdo a Hantson *et al.* (2024) y McLauchlan *et al.* (2020) el cambio climático ha provocado que los regímenes de ocurrencia de fuego hayan cambiado y generan fuegos más intensos y frecuentes donde antes no eran tan severos, también se puede presenciar un aumento en la temperatura lo que ocasiona que los tiempos sugeridos para quemas prescritas se modifiquen, junto con otros factores ambientales como vientos más frecuentes y rápidos que propician la quema de combustible como lo son forrajes secos o en estado de oxidación; de manera global la incidencia de fuegos más intensos y severos ha aumentado en un 62% en promedio y la época apta para quemas prescritas ha aumentado de un 19 a un 27% desde 1979 a la fecha.

### **2.2.3 Utilidad de las Quemias Prescritas**

Las quemias prescritas pueden ser herramientas útiles cuando eliminan o reducen la vegetación indeseable y fomentan el crecimiento y la dominancia de plantas deseables, sin hacer que la comunidad sea vulnerable a componentes físicos o biológicos no deseados del ecosistema (por ejemplo, erosión del suelo, suelos hidrofóbicos, plantas invasoras), la tolerancia y susceptibilidad al fuego dependen de sí toda la planta es

consumida por el fuego y de si puede volver a crecer después del incendio (Pyke *et al.* 2010).

Las quemas prescritas suelen regular la intensidad del fuego mediante el control de las fechas de ignición (estacionalidad de los incendios), siendo la frecuencia del fuego, otro componente temporal del régimen de incendios, también puede ayudar a evaluar la susceptibilidad o a proponer opciones de manejo para usar el fuego como una herramienta de restauración, ya sea para aumentar o disminuir las especies vegetales dentro de una comunidad (Hashida *et al.* 2025).

Al utilizar el fuego como una herramienta de manejo, es fundamental considerar y ajustar aspectos clave del régimen de fuego, como el momento del año en que se aplica (estacionalidad), el tipo de terreno donde se realiza (por ejemplo, usar pendientes ascendentes para una propagación más rápida o descendentes para una más lenta), y la intensidad del fuego. También es esencial conocer con antelación dónde se encuentran las yemas perennes de las plantas en relación con el suelo y el tipo de fuego que se usará. Además, es importante tener en cuenta cuánto tiempo pueden durar las semillas y qué capacidad de dispersión tienen tanto las especies deseadas como las no deseadas dentro del ecosistema (Fesomade y Walker, 2025).

#### **2.2.4 Métricas Ecológicas para el Manejo del Fuego**

Es posible definir métricas ecológicas enfocadas en el tema del fuego como las características del fuego que se pueden medir y que sirven para entender cómo afectan al medio ambiente. Estas métricas ayudan a analizar distintos aspectos del comportamiento del fuego, como su intensidad, frecuencia o duración. Al estudiar estos datos, es posible conocer mejor cómo los incendios influyen en los ecosistemas. En pocas palabras, estas mediciones permiten describir los patrones del fuego y sus consecuencias ecológicas. Es una herramienta clave para evaluar el impacto ambiental del fuego. Gracias a ellas, se pueden tomar decisiones más informadas en temas de conservación y manejo de ecosistemas dependientes del fuego (Plumanns-Pouton *et al.* 2025).

Las métricas ecológicas que se usen dependerá del tema a tratar, habrá variación si se quiere medir la respuesta del fuego ya sea en bosques, pastizales, matorrales, etc.; y en base a eso se tienen que definir. Pueden medirse de manera individual (individuo), población (conjunto de individuos de la misma especie) y comunidad (conjunto de poblaciones de distintas especies que interactúan en un mismo espacio y tiempo). Estas métricas reflejan la relación entre el fuego y la biodiversidad, una combinación de información sobre la forma de vida, la longevidad de las semillas, la ubicación de las yemas perennes y la vulnerabilidad proporciona suficiente información para predecir cómo pueden responder las plantas a incendios de distintos tipos y hacer una mejor gestión a futuro para la aplicación del fuego y las métricas a evaluar. A veces, las plantas evitan morir por el fuego porque están en estado de latencia durante las temporadas normales de incendios y sus yemas perennes están ubicadas en lugares donde están protegidas de temperaturas letales. Alternativamente, las semillas pueden haberse dispersado previamente y haber encontrado sitios seguros frente a temperaturas letales (Pyke *et al.* 2010).

Ejemplo de métricas ecológicas para la gestión del fuego son la cobertura (porcentaje), diversidad (índice de Shannon), riqueza (número de especies), respuesta de una especie, tiempo de rebrote, número de individuos de una especie antes y después del fuego, número de hojas presente antes y después de la exposición al fuego, presencia de fauna, presencia de coleópteros, medición de elementos en el suelo, etc. Basados en conocimientos y datos actuales y confirmados por el conocimiento empírico es como hay que gestionar el fuego (Haslem *et al.* 2024).

## **2.3 Técnicas de Rehabilitación Mecánica**

### **2.3.1 Implementos Usados en la Rehabilitación Mecánica**

El control mecánico en pastizales se define como “el uso de herramientas para remover o destruir material vegetal por encima y/o por debajo del suelo” (Padilla *et al.* 2009). Existen numerosas formas de tratar los pastizales mecánicamente, y muchas consideraciones, por ejemplo, las especies presentes, la capacidad de rebrote de estas, el clima, la topografía, la profundidad y el tipo de suelo entre otros aspectos que deben evaluarse para elegir el método de control adecuado.

La forma de control mecánico más apropiada para una situación en particular depende del uso actual e intenciones futuras para el terreno o los objetivos de mejora del suelo, las características de la vegetación (por ejemplo, su capacidad de rebrote), la superficie del área a tratar (directamente relacionada con el costo), la disponibilidad de equipo, las características del suelo, presencia de rocas, la topografía, las condiciones climáticas antes, durante y después del tratamiento (Padilla *et al.* 2009).

Algunas de las herramientas mecánicas más comúnmente utilizadas para manejar vegetación o arbustos en pastizales son los desraizadores, las trituradoras, las cadenas, los áridos de raíces y el rodillo aireador, que a continuación se describen de manera breve:

**Desraizadores (Grubbers).** - Se utilizan cuchillas afiladas, a menudo en forma de “U”, acopladas a un tractor, cargador frontal o excavadora (según las necesidades y el área de tratamiento), para cortar las raíces de los arbustos bajo el suelo. La profundidad y ubicación del corte en el sistema radicular varían según la especie del arbusto. El desraizado es generalmente efectivo para controlar y/o eliminar especies que rebrotan (por ejemplo, mezquite y gatuño) en áreas con hasta 100 a 250 árboles por acre (Wiedemann, 1997). Se debe considerar el tamaño de la máquina y el tipo de neumáticos (por ejemplo, caucho, orugas, todoterreno) durante la planificación, tomando en cuenta el tamaño y tipo del arbusto, costo por acre, tipos de suelo y recursos culturales sensibles.

**Trituradoras (Masticators).** - La trituración es una técnica común en el manejo de bosques, matorrales y áreas arbustivas, consiste en triturar, moler o picar árboles/arbustos con accesorios especializados, generalmente acoplados a minicargadores (skid steer) o excavadoras. El material triturado cae al suelo y puede ayudar a mejorar la salud y fertilidad del suelo mediante la descomposición, especialmente en ambientes húmedos. En ecosistemas propensos a incendios, la trituración se utiliza para reducir combustibles verticales y ralentizar la propagación del fuego. Este método no es efectivo para especies de arbustos que rebrotan como el mezquite, huizache y táscate (Frost y Rutherford, s. f.)

**Cadenas (Chains).** - El uso de cadenas (por ejemplo, de ancla o Ely) para modificar la vegetación de pastizales se llama “chaining”. Consiste en arrastrar una gran cadena, usualmente una sección de cadena de ancla marina, entre dos tractores. La vegetación es arrancada de raíz o quebrada al nivel del suelo. Es más efectivo con arbustos y árboles, ya que el material herbáceo se regenera rápidamente tras el tratamiento. El encadenado ofrece resultados rápidos y permite tratar grandes áreas a un costo relativamente bajo, aunque causa una perturbación significativa del suelo, lo que puede llevar a compactación o erosión. Las especies que rebrotan pueden requerir tratamientos adicionales con herbicidas o fuego para eliminarlas completamente (Cain, 1972).

**Arados de raíces (Root Plows).**- Un arado de raíces es una cuchilla en forma de “V”, de alta resistencia, que se arrastra detrás de un tractor para cortar las raíces de árboles/arbustos por debajo de la zona de yemas. Puede controlar hasta el 90 % de las plantas objetivo si se usa correctamente, Jaynes *et al.* (1968), (es decir, a la profundidad adecuada y en la época del año apropiada). Desafortunadamente, también mata la mayoría de las plantas herbáceas presentes, especialmente en zonas de alta densidad arbórea. El arado selectivo puede utilizarse para moldear la vegetación, mejorar el hábitat de vida silvestre y aumentar los usos múltiples del pastizal en suelos fértiles.

**Rodillo aireador.**- Un rodillo para rehabilitación de pastizales, también conocido como rodillo para praderas, es una herramienta agrícola utilizada para emparejar irregularidades en el terreno, compactar ligeramente el suelo con el fin de mejorar la germinación de las semillas, optimizar la distribución de la humedad y reducir el riesgo de compactación cuando se emplea sobre suelo seco ya que su función principal es aplanar el terreno y asegurar un buen contacto entre la semilla y el suelo especialmente después de labores como el rastrillado o la siembra lo que contribuye a restaurar pastizales dañados y favorece un crecimiento vegetal saludable (Medina-Guillém *et al.* 2017; Rivera-Sanez *et al.* 2017).

### **2.3.2 Innovación Tecnológica para Rehabilitación de Ecosistemas**

Sin una intervención humana efectiva y escalable, hasta el 95 % de los ecosistemas a nivel mundial podrían experimentar degradación inducida por actividades humanas para el año 2050. Esta proyección resalta la necesidad urgente de llevar a cabo acciones de restauración ecológica masivas e inmediatas, con el objetivo de mitigar la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los ecosistemas. En este contexto, es fundamental que los manejadores de pastizales recurran a las herramientas más modernas, eficaces y eficientes disponibles. Los drones, o vehículos aéreos no tripulados, ya han demostrado ser instrumentos valiosos en los sectores ambiental, forestal y agrícola; sin embargo, su integración en la práctica de la restauración ecológica sigue siendo limitada (Robinson *et al.* 2022).

Anderson *et al.* (2025) comentan que los drones se emplean en diversos contextos de restauración, que van desde la cartografía de hábitats y la gestión de incendios forestales, hasta la supervisión de la eficacia de las intervenciones restaurativas. Además, muchas de sus aplicaciones en disciplinas afines pueden adaptarse y aplicarse a proyectos de restauración ecológica, no obstante, su implementación dependerá del contexto específico, y es necesario enfrentar una serie de limitaciones técnicas y operativas, adicionalmente, estos dispositivos tienen un gran potencial para optimizar tanto la investigación como la práctica de la restauración en todas las fases de un proyecto, lo cual resulta esencial para alcanzar los objetivos planteados (Robinson *et al.* 2022).

## **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Localización del Área de Estudio**

El estudio se realizó en el Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles, ubicado al sureste en el estado de Coahuila (Figura 1), tiene una superficie de 6,184 hectáreas. La

superficie total está constituida aproximadamente por 35% de sierra, 10% de lomeríos y 55% de valles (Serrato, 1982). El uso actual del suelo es la producción extensiva de ganado bovino. El acceso al rancho se realiza por la carretera federal No. 54 Saltillo-Zacatecas. En el kilómetro 318.5 entronca el camino con dirección oriente, en el kilómetro 4 de este camino inicia el rancho, en el kilómetro 14 se localiza el casco del mismo. La altitud varía desde 2100 m en los valles hasta 2400 m en la parte alta de la Sierra.



**Figura 1.** Localización del área de estudio en el sureste de Coahuila.

### 3.2 Clima

El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García *et al.* (1997), es BS1 k w (e'), que corresponde a un clima semiárido, templado con verano fresco largo, lluvias en verano, con canícula (temporada seca corta en la época de lluvias) y muy extremo. La temperatura media anual es de 13.4°C, con un rango de 18 a 22°C y una precipitación anual de 350 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso. Sin embargo, la

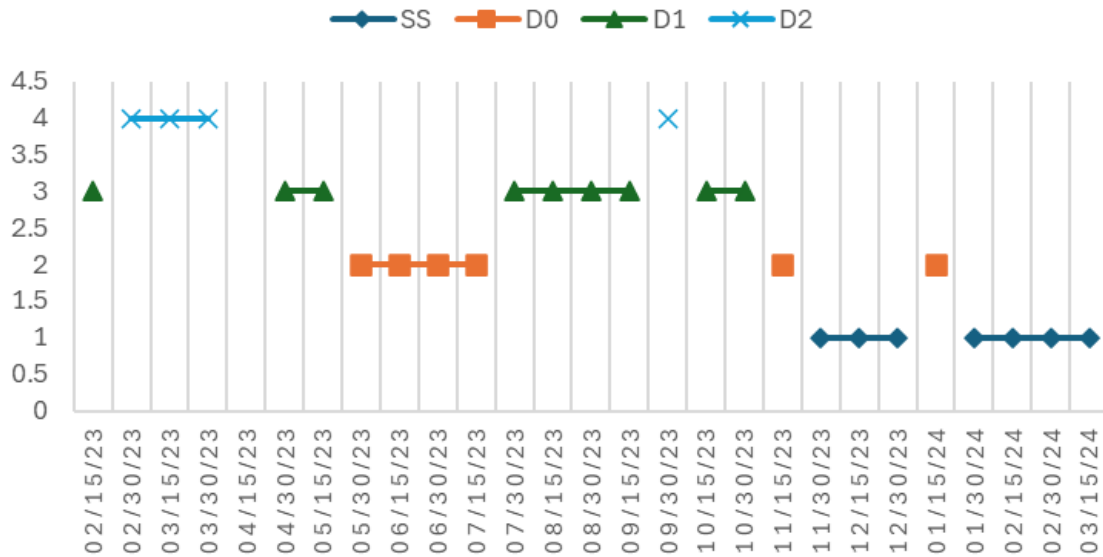
presencia de sequía se presenta de forma cotidiana del mes de octubre a mayo, y es uno de los factores que determinan el uso de los terrenos de pastoreo y en gran medida su capacidad productiva.

Según el Servicio Meteorológico Nacional y la CONAGUA (2023), el monitoreo de sequía en México durante el periodo de febrero de 2023 a marzo de 2024 mostró la siguiente distribución:

- Sin sequía (SS): 26.9%, observado principalmente desde la última quincena de noviembre de 2023 hasta la primera de marzo de 2024.
- Anormalmente seco (D0): 23%, con presencia entre la última quincena de mayo y la primera de julio de 2023, reapareciendo en noviembre de 2023 y en la primera quincena de enero de 2024.
- Sequía moderada (D1): 34.6%, registrada en múltiples periodos entre febrero y octubre de 2023.
- Sequía severa (D2): 15.3%, presente en febrero y marzo de 2023, y nuevamente en la segunda quincena de septiembre del mismo año.

En conjunto, el periodo mostró una alta variabilidad en condiciones de humedad, predominando los niveles D0 y D1.

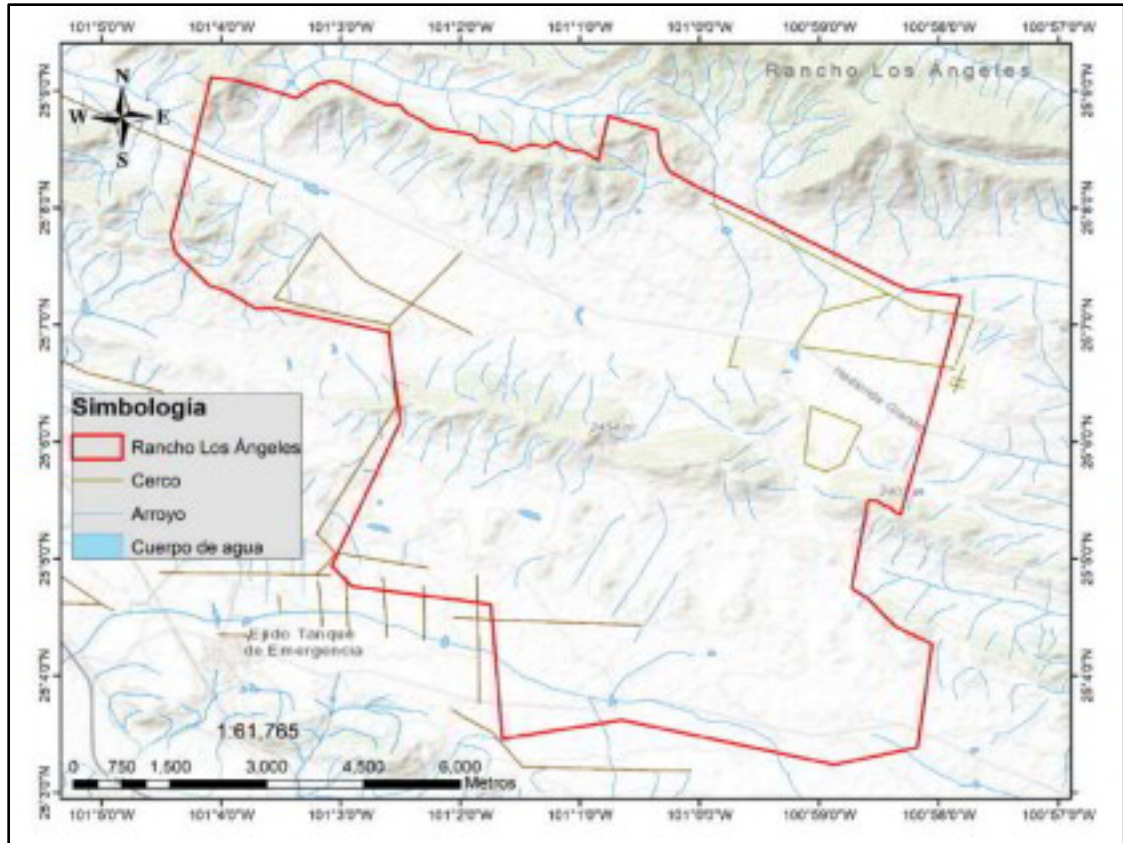
Para programar la quema, la comparación entre 2023 y 2024 —particularmente en febrero y la primera quincena de marzo— muestra un cambio notable en las condiciones de sequía. Mientras que en 2023 predominaban condiciones de sequía moderada y severa, en 2024 estas mismas fechas se caracterizaron por estados anormalmente secos y, en mayor medida, sin sequía. Este cambio influyó directamente en la intensidad y severidad de la quema prescrita (QP) (Figura 2).



**Figura 2.** Comportamiento de la sequía un año previo a la quema prescrita, desde febrero de 2023 hasta marzo 2024

### 3.3 Hidrología

El área que comprende el rancho no es tocada por ninguna corriente superficial permanente y solo presenta corrientes intermitentes, las cuales se forman y conducen el agua en la época de mayor precipitación (Figura 2). El nivel freático es 190 m de profundidad (Vázquez, 1973). Perteneciente al acuífero Saltillo Sur, definido con la clave 0521 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA (2020). Limita al norte con los acuíferos La Paila, General Cepeda-Sauceda, Cañón del Derramadero y Región Manzanera–Zapalinamé, al oeste con el acuífero principal Región Lagunera, todos pertenecientes al estado de Coahuila de Zaragoza; al este con los acuíferos Navidad- Potosí-Raíces y El Peñuelo-San José el Palmar, pertenecientes al estado de Nuevo León; y al Sur con los acuíferos Cedros, Guadalupe Garzarón y El Salvador, pertenecientes al estado de Zacatecas.

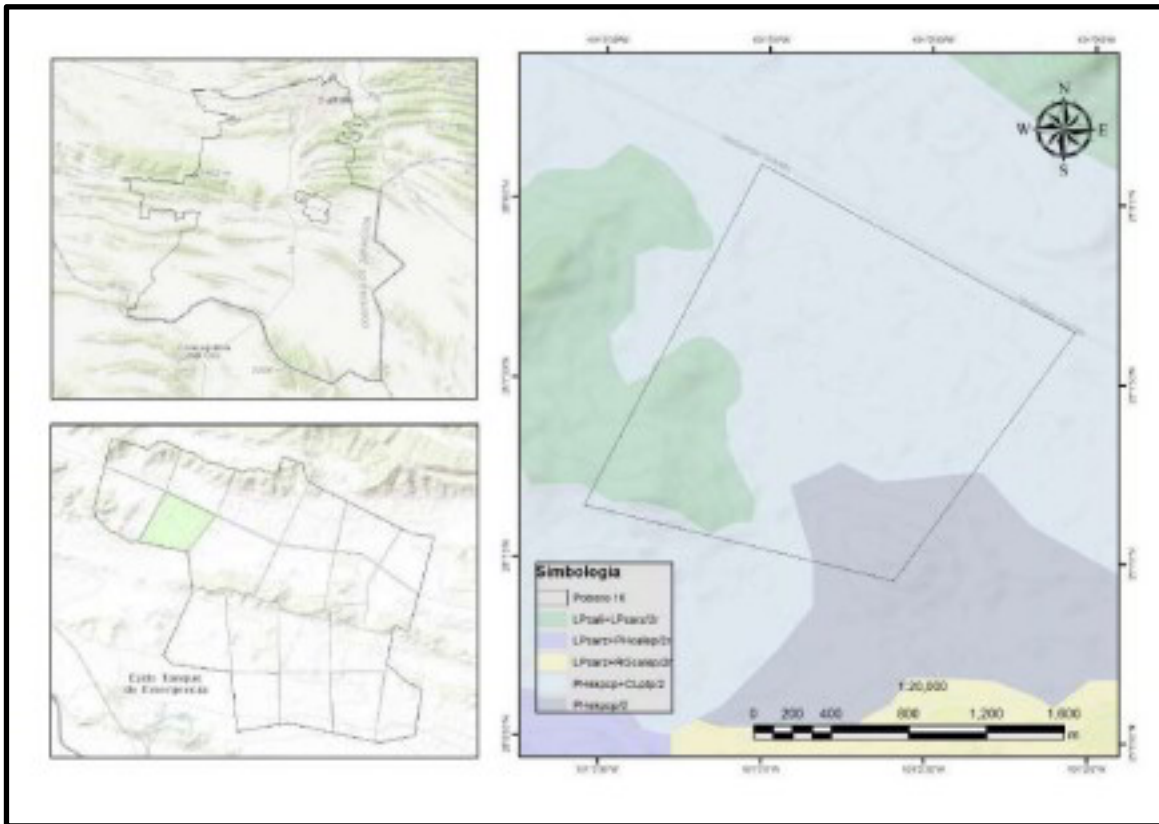


**Figura 3.** Mapa de comportamiento del agua y cuerpos de agua.

### 3.4 Geología y Edafología

Los suelos en estos sistemas cumplen funciones ecológicas clave, como el almacenamiento de carbono, la regulación del ciclo hídrico y el soporte de la biodiversidad vegetal, por ello, es fundamental analizar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en pastizales, y compararlas con las de otros ecosistemas, este análisis comparativo permite entender mejor cómo responden los suelos al uso y manejo, y cuáles prácticas pueden favorecer o deteriorar su calidad, reconocer tanto los beneficios como los posibles impactos negativos del manejo del suelo en pastizales es esencial para diseñar estrategias que promuevan su conservación y productividad a largo plazo, una gestión sostenible del territorio comienza con el conocimiento detallado de los suelos en ecosistemas como los pastizales (Kanianska & Kizekova, 2025).

De acuerdo a la publicación de Implan Saltillo (2020), para el municipio de Saltillo, Coahuila, feozem tiene una presencia de apenas el 9% del total de la extensión territorial de municipio, en cambio Leptosol cubre un 34.6%, el área de estudio donde se realizó el experimento, está dominada por el tipo de suelo feozem el cual es uno de los más representativos de los pastizales y leptosol en áreas con lomeríos y serranías (INEGI, 2025).



**Figura 4.** Tipos de suelos y geología del área del potrero 10 en Rancho Los Ángeles.

### 3.5 Vegetación

Al ser un pastizal mediano abierto, en lo general la estructura vegetal se comprende por herbáceas entre ellas gramíneas y en menor proporción por arbustivas o arbóreas, de acuerdo con Jurado-Guerra *et al.* (2025), de los primeros estudios a nivel nacional durante las décadas de 1950 a 1970 indican que los pastizales semiáridos del centro y norte de México se constituían de gramíneas nativas de porte bajo y mediano.

De acuerdo con el INEGI (1983) en la síntesis geográfica para Coahuila, específicamente de la parte sur-este y en base al sistema de topoformas y tipo de suelo podemos encontrar cuatro estratos vegetativos de manera general, como lo son: bosque de pino, chaparral, matorral y pastizales (Figura 5). Sin embargo para esta investigación, la descripción de vegetación sera la de los valles intermontanos o pastizales medianos abiertos.

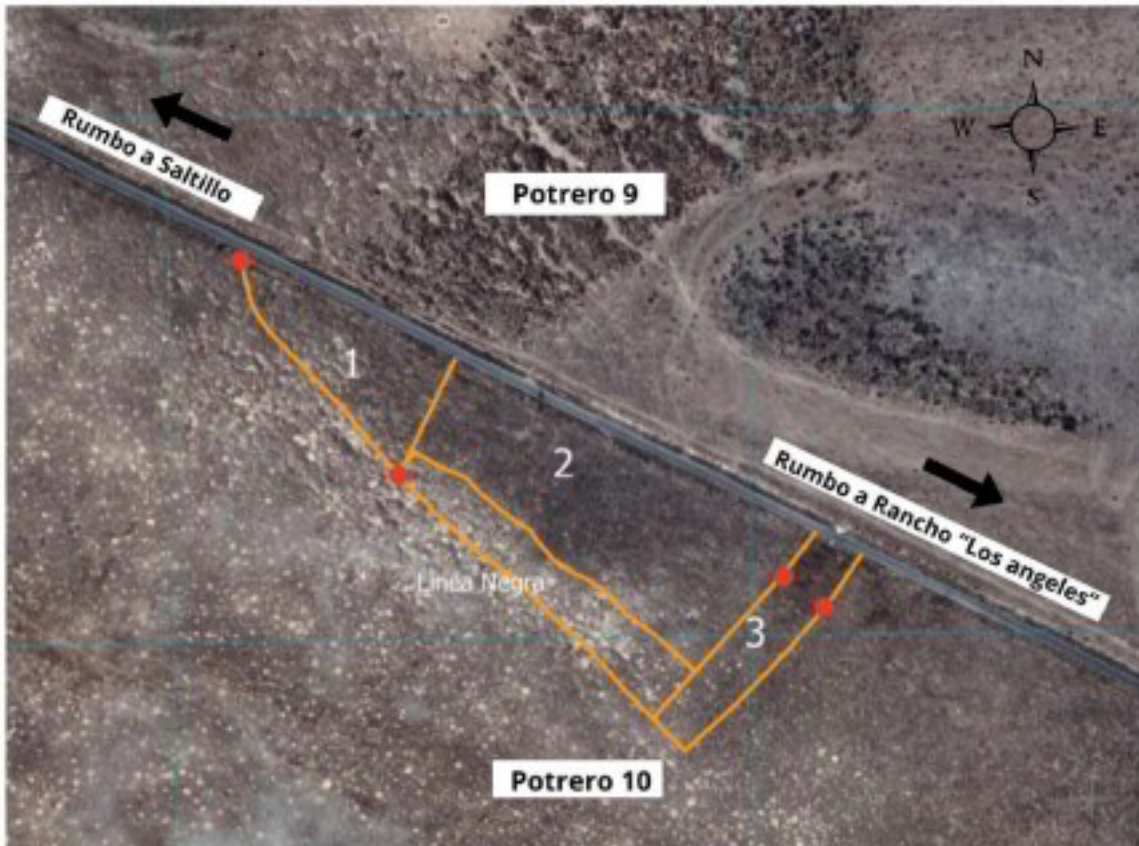


**Figura 5.** Tipos de vegetación representativos del rancho Los Ángeles

Para el potrero 10, las especies vegetales más representativas encontramos al zacate navajita azul (*Bouteloua gracilis*), zacate banderita (*B. curtipendula*), zacate liendrilla (*Muhlenbergia torreyi*) y zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) y por otro lado algunas herbáceas más comunes son, *Dyschoristea linearis*, *Physaria fendleri* y *Zinnia acerosa*, entre otras también existe la presencia de arbustos bajos semileñosos donde la más dominante es la escobilla o suelda (*Buddleja scordioides*)(Cuadro 7).

### 3.6 Descripción de la Unidad de Quema

La ubicación de las unidades de quema fue en el potrero 10, el cual cuenta con una extensión aproximada a las 316 ha (coordenadas de referencia: 25.127676 N, - 101.039113 E). Este potrero se seleccionó por la homogeneidad en la cobertura de zacates, la baja densidad de arbustivas en la mayor parte de su superficie y su cercanía a la carretera, ya que está brinda opciones de reacción previstas en el plan de quema que se presentó a la autoridad correspondiente, la quema se realizó en 5 ha(Figura 6) donde la cobertura de quema del 60% sobre el total esperado y se estimó en 3 ha.



**Figura 6.** Unidad de quema sobre zacatal en el potrero 10

Para una mejor operación de las brigadas durante la quema prescrita, la unidad general se seccionó en tres sub-unidades de quema y un contorno de línea negra. Las subunidades No. 1 y No. 3 funcionaron como áreas de seguridad disponibles para

aplicar cortafuegos en caso de requerirse y la sub-unidad No. 2, fue la de mayor extensión y donde se planificó que el comportamiento del fuego pudiera consumir la mayor parte del combustible disponible.

### **3.6.1 Planificación y Ejecución de la Quema Prescrita**

El proceso de ejecución de una quema prescrita, incluye desde la evaluación previa, la elaboración del plan de quema correspondiente, el seguimiento al trámite de autorización, la operación y ejecución de la misma y en el caso de esta investigación el monitoreo y evaluación subsecuentes de acuerdo con el plan de quema el primer paso consistió en la verificación de la condición general de la unidad de quema con acompañamiento de personal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); se registraron datos meteorológicos para estimar la humedad de los combustibles de una hora de tiempo de retardación, es decir los ligeros, esto se llevó a cabo días previos a la quema y durante la quema.

Para la seguridad de la ejecución de la QP se realizó la construcción de brechas cortafuego de 2 a 3 m de ancho en todo el perímetro de cada una de las unidades, así como los caminos de acceso; utilizando herramientas tradicionales y especializadas para el combate de incendios forestales, como McLeod, Pulaski, rastrillo forestal y pala forestal, adicionalmente se hizo una línea negra, es decir se quemó el contorno de toda la unidad propuesta.

Se identificaron los vértices y se marcaron con listones que cumplen dos funciones: señalar y al mismo tiempo determinar la dirección del viento durante las mediciones en la ejecución de la quema. Se recorrió toda la unidad de quema ubicando posibles riesgos para los participantes y no se detectó fauna nociva durante los días previos de trabajo. Durante la QP, se establecieron señalamientos de rutas de escape y zonas de seguridad para la protección de los participantes en la aplicación del uso del fuego. En el sitio se tomaron datos meteorológicos para referenciar la prescripción considerando una ventana de tiempo de ejecución de la quema, entre las 8:00 y las 10:00 A.M., y el máximo de temperatura en 22°C, la humedad relativa en 21% y la velocidad del viento en 23 km/h como rango máximo, esto de acuerdo con las recomendaciones de los expertos de

CONAFOR en quemas prescritas. La QP se llevó a cabo el 01 de marzo de 2025 con la participación de CONAFOR, la secretaría del medio ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila (SEMA), personal de Protección Civil municipal y alumnos voluntarios de la UAAAN, con una participación de más de 50 personas, quedando el precedente de que esta fue la primera quema organizada conforme a la reglamentación en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles.

### **3.6.2 Modelo de Combustible**

Los modelos de combustible forestal son estructuras de la vegetación también llamada cama de combustible, las cuales permiten ayudar a los manejadores a predecir el comportamiento del fuego definiendo, entre otros parámetros, la velocidad de propagación y la longitud de la flama. De acuerdo con Jardel *et al.* (2018) respecto a los modelos de combustibles generados para México, la cama de combustibles corresponde al tipo de vegetación presente en el área de estudio es:

- Pastizales bajos de zonas semiáridas. - Los pastos son delgados y bajos (<0.6 m de alto), su densidad y la carga de combustibles varían con la cantidad de lluvia en años precedentes a la temporada de incendios; las anomalías de sequía o de lluvia tienen una importancia significativa en la variación interanual de los combustibles. La humedad de extinción es baja.

Previó a la QP, en los meses de enero y febrero se realizaron evaluaciones de la carga de combustibles y fue posible comprobar que la mayoría se clasificó como un combustible ligero con un volumen estimado de 2.58 toneladas por hectárea, con 95% de combustibles ligeros como herbáceas y 5% de combustibles medianos como materiales leñosos producidos por arbustos (Ochoa *et al.* 2024).

### **3.6.3 Descripción de Tratamientos Utilizados**

Se establecieron tres tratamientos y un escenario testigo, en los que se combinaron los métodos de rehabilitación de pastizales que involucran el uso del fuego como lo fue la

QP y un método mecánico, como lo es el uso del RA. Los tratamientos se describen a continuación:

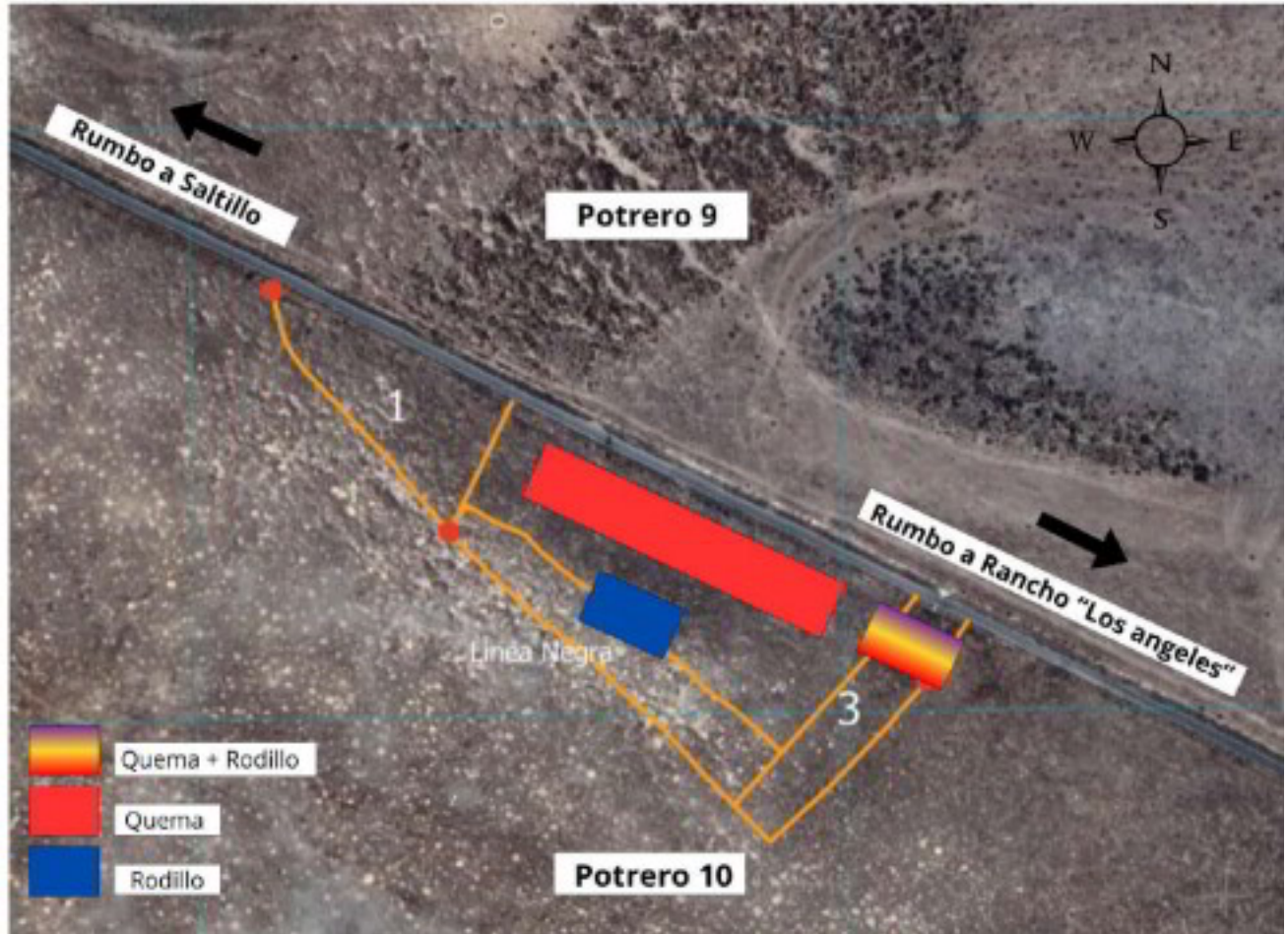
**T0, Tratamiento testigo;** este se tomó como referencia un área fuera de la unidad de quema donde no hubo ningún tipo de disturbio artificial, más que el uso normal del pastoreo que se lleva a cabo en el rancho.

**T1-QP, Quema prescrita;** se refiere a la sección del potrero 10, en la que el fuego tuvo efecto significativo.

**T2-QP+RA, Quema prescrita y rodillo aireador;** este tratamiento se basó en la combinación de dos métodos de rehabilitación de pastizales, una quema prescrita (pírico) y el rodillo aireador (mecánico).

**T3-RA, Rodillo aireador;** este tratamiento consistió en el uso del rodillo aireador como única técnica de rehabilitación.

El área de evaluación de T0 se consideró en los sitios donde la QP no fue efectiva y por lo tanto que no sufrió impactos por el fuego porque fueron las líneas que se evaluaron en febrero. El T1, se ubicó en los cuadrantes que registraron una quema homogénea pero de severidad media a lo largo de la sub-unidad No. 2 y para T2 dentro del área de la QP se ubicó una sección dentro de la sub-unidad No. 3, donde el comportamiento del fuego fue más intenso y en la que también se aplicó un paso con RA para contar con los dos tratamientos combinados, finalmente la ubicación del T3 se delimitó por fuera del polígono de la QP en un área aledaña a la colonia de perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) más próxima (Figura 7).



**Figura 7.** Ubicación general de los tratamientos en el área de estudio

### 3.6.4 Variables a Evaluar

Como se mencionó, la QP se llevó a cabo a finales del invierno y con anterioridad se evaluó la cobertura de la vegetación y la riqueza de especies presentes, que al ser el inicio de la primavera, no manifestó una expresión de biodiversidad muy alta, de hecho muchas especies se encontraban aún secas. Se calendarizaron una serie de evaluaciones para cada tratamiento (Tabla 1) dando seguimiento al desarrollo vegetal por un periodo de entre 155 y 206 días. Se hicieron cuatro evaluaciones en distintas temporadas, evaluando cobertura, diversidad y riqueza en nueve (9) cuadrantes de un metro cuadrado por tratamiento y por temporada.

**Cuadro 1.** Cronología de las evaluaciones de los tratamientos de la QP de marzo de 2024

Tratamiento	Eval. Previa	QP	Eval. 1	Eval. 2	Eval. 3	Eval. 4	Días Totales*
<b>T1-QP</b>	07/02/24	01/03/24	26/03/24	26/05/24	30/06/24	24/09/24	199
<b>T2-QP+RA</b>	07/02/24	01/03/24	26/03/24	18/05/24	08/06/24	24/09/24	206
<b>T3-RA</b>	07/02/24	01/03/24	20/04/24	18/05/24	08/06/24	24/09/24	155

\*Días totales se cuentan a partir de QP

**Efectividad de la QP.** - Se realizaron 10 líneas de puntos o de intersección, Borreli y Oliva (2001) de una longitud de 50 m lineales, con una distribución aleatoria dentro de las sub-unidades de quema. Esta evaluación se llevó a cabo previo a la QP y en la fecha de la evaluación uno, para determinar la severidad del fuego, se adecuo la escala de severidad Keeley (2009), asignando el valor de la unidad a los puntos de muestreo con baja severidad, el valor número dos los de mediana severidad y el número tres a los de alta severidad.

**Cobertura vegetal.** - La técnica consiste en usar un cuadrante de un metro cuadrado para estimar porcentualmente la cobertura vegetal total y por especie de acuerdo al método de (Hulvey *et al.* 2018). La cobertura general se considera típicamente, simplemente porque la cobertura del suelo y la cobertura basal son difíciles de estimar si están cubiertas por otras plantas. Este mismo criterio se utilizó para estimar el porcentaje de área quemada, el cual fue más visible en la evaluación uno y fue disminuyendo su notoriedad en las evaluaciones subsecuentes.

**Riqueza vegetal.** - Se entiende por riqueza al número de especies presentes por unidad de muestreo. Para efectos de este trabajo se cuantifican todas las especies vegetales identificables en cada cuadrante de un metro cuadrado y se llevó el registro por tratamiento y temporada.

**Diversidad de Especies.** - Se usó el índice de Shannon como medida de la expresión de la diversidad vegetal por sitio, este es un índice estadístico de información, lo que

significa que asume que todas las especies están representadas en una muestra y que se muestran de manera aleatoria. En el índice de Shannon,  $p$  es la proporción ( $n/N$ ) de individuos de una especie particular encontrada ( $n$ ) dividida por el número total de individuos encontrados ( $N$ ),  $\ln$  es el logaritmo natural,  $\Sigma$  es la suma de los cálculos y  $s$  es el número de especies (Das *et al.* 2012). Para efectos de este trabajo se cuantificó la dominancia de especies vegetales basada en la cobertura en cada cuadrante de un metro cuadrado y se llevó el registro por tratamiento y temporada.

### **3.7 Análisis de la información**

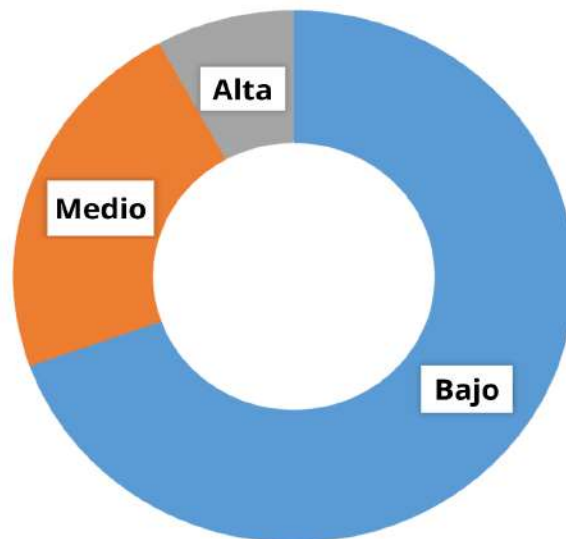
Para determinar la efectividad de la QP se obtuvo el valor promedio de los tres niveles de severidad estimados en las 10 líneas de intersección evaluadas, obteniéndose el valor promedio y valor de la desviación estándar por nivel de severidad y total. La normalidad de los datos se determinó mediante una prueba de Shapiro-Wilk y para conocer los cambios en la cobertura vegetal se llevó a cabo un MANOVA y una prueba *post hoc* de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Para los análisis ecológicos se utilizó el software Past (Hammer *et al.* 2001). El análisis de datos para riqueza se llevó a cabo mediante la elaboración de una curva de acumulación de especies o curva de rarefacciones (Gotelli y Chao, 2013) en la que se distinguió el porcentaje de cobertura por especie y el número de especies presentes por cada evaluación, en contraste con la evaluación previa que fue la medida de referencia para todos los tratamientos; de manera complementaria se calculó el índice de Chao-1 por cada evaluación y tratamiento, este índice indica el número de especies que potencialmente pueden estar representadas por un solo individuo (singletons) o por al menos dos individuos (doubletons) y estima que tan cercano de la realidad estuvo el muestreo. Para estimar la diversidad se utilizó el índice de Shannon y se elaboraron intervalos de confianza al 95% para su interpretación gráfica; para identificar la diferencia en los valores promedio de diversidad se llevó a cabo una prueba de T-student ( $P < 0.05$ ); adicionalmente se estimó el índice de equitatividad la cual expresa la abundancia relativa de diferentes especies dentro de una comunidad, donde entre más alta indica que la distribución es equitativa, si es muy baja quiere decir que alguna especie domina mucho sobre otras.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efectividad de la quema.

De acuerdo con la prescripción, la superficie que se planificó para la QP fue de 5 ha, pero solo se cubrieron 4.4 ha; de esa superficie, el área donde el fuego cumplió la función esperada fue de 1.8 ha. El nivel de severidad que predominó en la quema fue el bajo con 69.15% de la superficie evaluada, seguido de medio con un 22.36% de la superficie total evaluada y por ultimo de alta severidad con un 7.95% de alcance en el total del área evaluada. Lo anterior se debe a que registró un aumento en los eventos de precipitación en los tres meses previos a la QP en relación con el año previo a la QP, también días previos a la quema se registraron eventos de precipitación que afectaron la disponibilidad del combustible de la manera que se tenía contemplado, aunado a esto, el espaciamiento dentro de las comunidades vegetales presente generó un impacto del fuego de manera heterogénea.



**Figura 8.** Proporción de la severidad del fuego en la unidad de quema

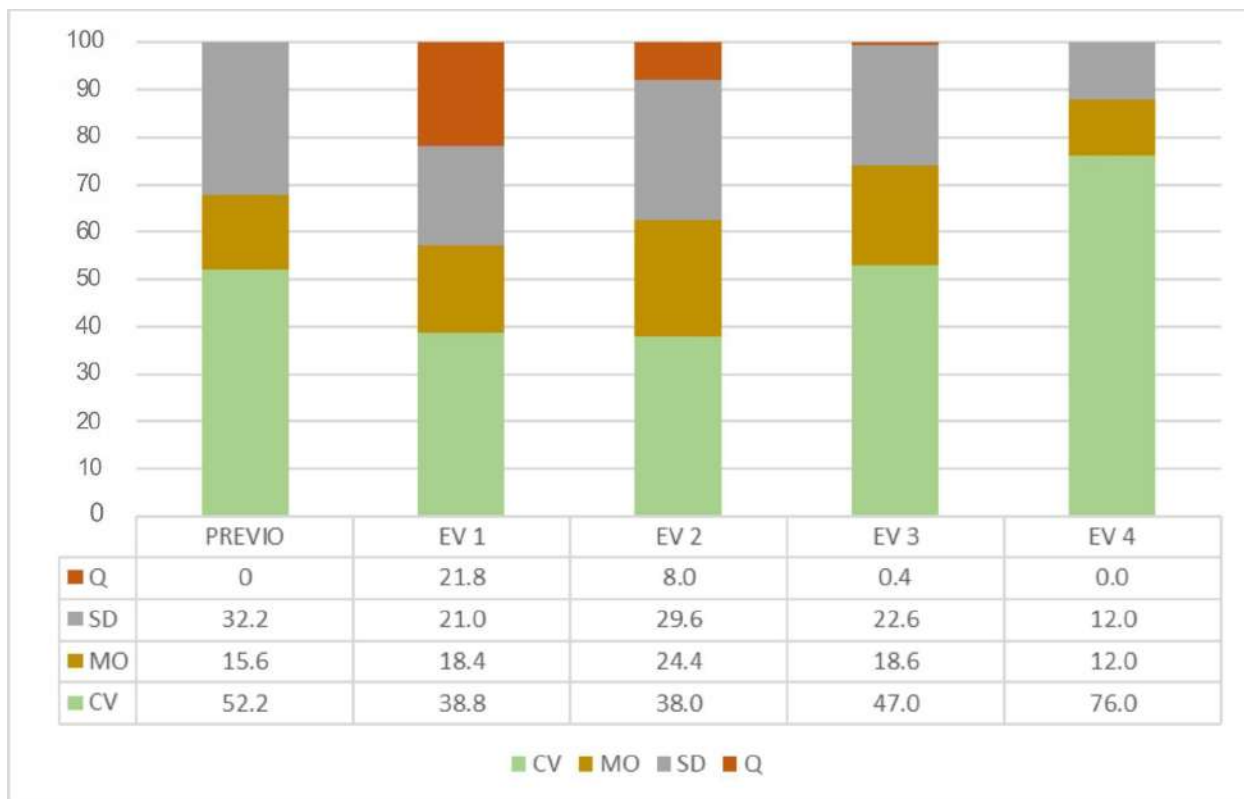
El concepto de severidad del fuego ha sido debatido entre los manejadores de fuego (Keeley, 2009). Es importante definir que lo que se expresa en el presente trabajo se refiere a efectos posteriores a la aplicación del fuego, cuando este se aplica de manera planificada, es decir como una quema prescrita. En ese sentido la severidad manifestada

en la mayor parte del área sujeta a QP obedece a condiciones ambientales previas de humedad que limitaron la severidad.

## **4.2 Cobertura Vegetal.**

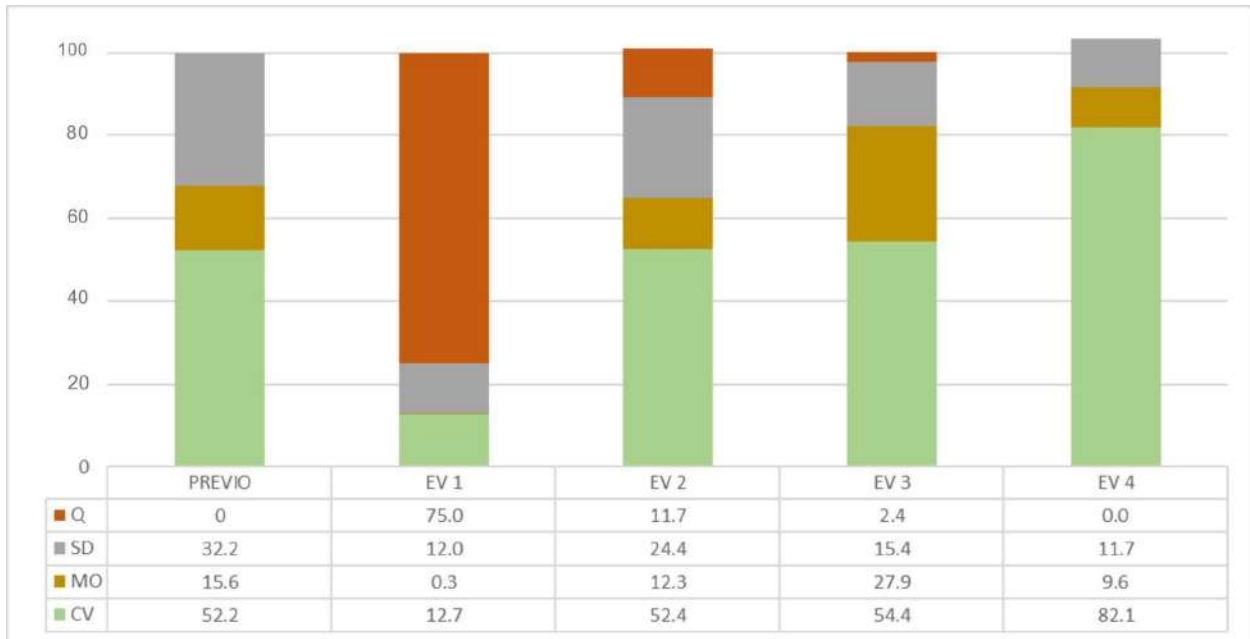
La quema tuvo efecto, con alguno de los tres niveles de severidad previamente descritos, se observó que, en todos los tratamientos, la evaluación inicial (PREVIO) registró consistentemente el mismo valor, fue el punto de comparación. Esta evaluación mostró una cobertura vegetal del 52.2% del total del área estudiada. En el caso del tratamiento TQ (Figura 9), después de la quema prescrita se registró una disminución de la cobertura vegetal cercana al 39% en la primera evaluación, mientras que el área quemada presentó alrededor del 22%. En las evaluaciones subsecuentes (EV2, EV3 y EV4), se observó un incremento progresivo de la cobertura vegetal, alcanzando hasta un 76%. En un periodo de 182 días, esto representó un aumento aproximado del 24%.

La disminución del suelo desnudo y de la materia orgánica indica que el tratamiento TQ fue efectivo para promover el incremento de la cobertura vegetal. La aplicación de la quema prescrita como técnica de rehabilitación favoreció el establecimiento de especies que protegieron el suelo, especialmente cuando se realizó a inicios de la primavera.



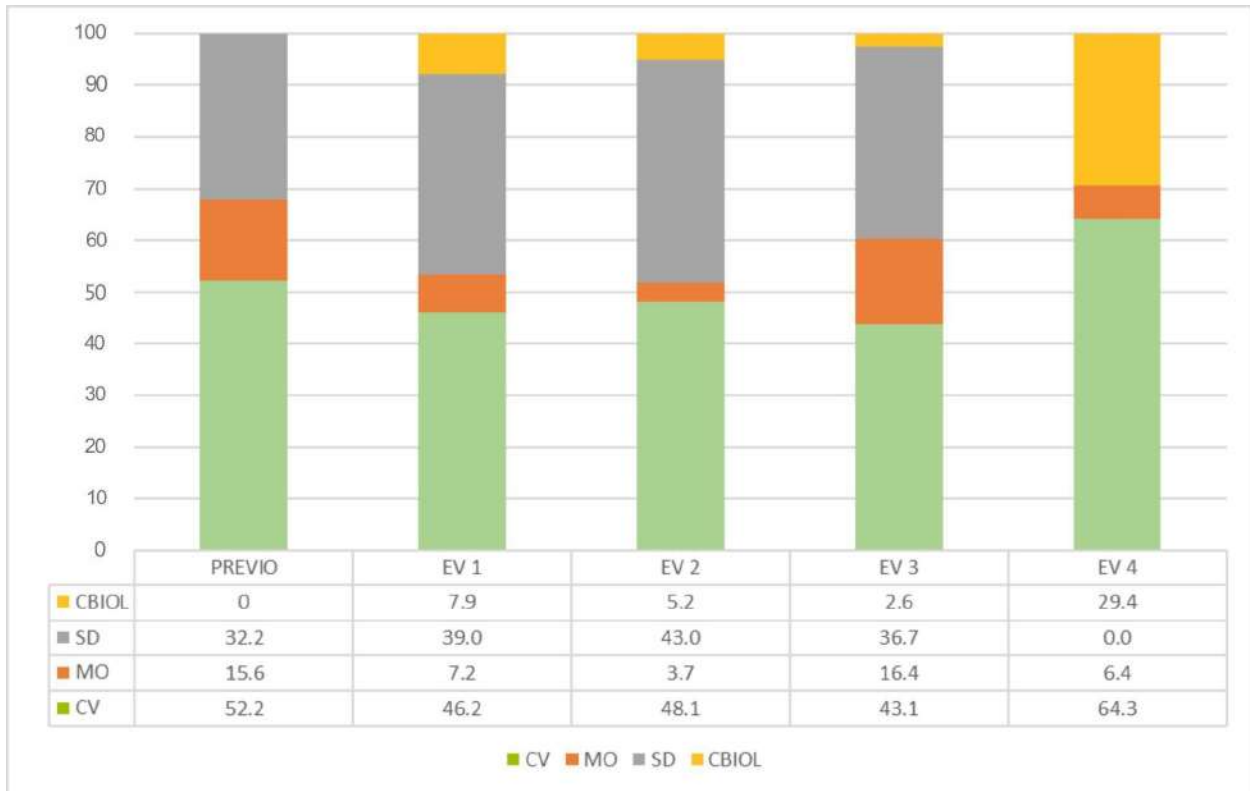
**Figura 9.** Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal y área quemada en un período de 182 días con la aplicación de un tratamiento de quema prescrita (TQ) en el Rancho Los Ángeles.

Por otro lado, cuando a la aplicación de fuego se suma el uso del rodillo aireador (TQ+R), en un área con efecto severo del fuego (Figura 10) se observó que en la EV1 fue la que presentó mayor porcentaje de área quemada mientras que la cobertura vegetal tuvo una disminución del 12.7% para un posterior incremento en la EV4 del 82.1% acumulando un incremento de 70%; lo anterior indica que este tratamiento fue el que resultó más efectivo para aumentar la cobertura vegetal, donde se presentó un aumento porcentual del 30.1% en relación al tratamiento previo.



**Figura 10.** Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal y área quemada en un período de 182 días con la aplicación de un tratamiento de quema prescrita y rodillo aireador (TQ+R) en el Rancho Los Ángeles.

En el tratamiento en el que sólo se utilizó el rodillo aireador (TR; Figura 11), se observó que registró un aumento en la cobertura vegetal de un 12%, de acuerdo a lo observado esto se debe a que no tuvo un disturbio que generará la reducción de la cobertura, de manera contrastante el suelo desnudo desapareció pero aumentó expresado como costra biológica, lo cual indica un impacto negativo en el suelo para la precipitación efectiva y retención de humedad.



**Figura 11.** Distribución porcentual de variables estructurales del pastizal en un período de 157 días con la aplicación de un tratamiento de rodillo aireador (TR) en el Rancho Los Ángeles.

De acuerdo con Ochoa (2006), en el estudio en un pastizal mediano abierto en Janos, Chihuahua, se evaluó en las temporadas de primavera y otoño en las colonias de perrito llanero (*C. ludovicianus*), obtuvo una cobertura vegetal contemplando materia orgánica de 67.7% del total del área muestreada, lo cual coincide con TR, donde se obtuvo una cobertura vegetal total de 64.3% en la cual aparte de haber aplicada la técnica de rehabilitación mecánica de rodillo aireador, existe la influencia de cambios estructurales promovida por el perrito llanero (*C. mexicanus*) presente en el Rancho Los Ángeles.

En otro estudio, Pereira et al. (2019) evaluaron los efectos de la severidad del fuego sobre variables estructurales de la vegetación, como la altura y la cobertura vegetal. Encontraron que el aumento en la cobertura (52%) estuvo asociado a la baja severidad del fuego, debido a que este nivel de impacto no afectó significativamente las propiedades del suelo. Esto permitió una recuperación rápida, registrándose un

incremento significativo en la cobertura apenas 21 días después de la quema. Cabe señalar que estos sitios correspondían a áreas semicultivadas, lo que favoreció una respuesta más acelerada.

En contraste, bajo condiciones similares de baja severidad, pero en un hábitat natural — como en el tratamiento TQ del presente estudio— el incremento en la cobertura vegetal fue de aproximadamente 36% en un periodo de 182 días, reflejando una recuperación más lenta pero consistente, propia de ecosistemas no intervenidos. Finalmente, cuando se comparan los efectos del disturbio inducido a través de tratamientos aplicados Sanaei *et al.* (2017), usaron el pastoreo como agente de disturbio, encontraron una correlación alta (80%) entre el aumento en el porcentaje de la cobertura vegetal y el incremento de la biomasa aérea en arbustos y zacates, si bien en el presente estudio no se evaluó la biomasa, el aumento en la cobertura vegetal, sí manifestó una tendencia proporcional con el aumento en la riqueza de especies como a continuación se aborda.

De manera particular, al analizar la respuesta en la recuperación de la cobertura vegetal por especie y tratamiento, se observó que (Cuadro 1), para TQ hay una sustitución temporal de las especies, fueron dos especies de herbáceas como *Asphodelus fistulosus* (As fi) y *Argemone echinata* (Ar ec), los que representaron el primer lugar de la cobertura; en el caso de TQ+R fueron las gramíneas las que respondieron mejor a este tratamiento, resaltando el zacatón alcalino *Sporobolus airoides* (Sp ai), mientras que la respuesta de las plantas en TR, el cual fue el tratamiento que más asemeja la condición natural del sitio, resaltó la dominancia del zacate navajita azul *Bouteloua gracilis* (Bo gr); la respuesta de especies de zacates a quemas prescritas fue estudiada por Ramírez (2021) en pastizales cortos de la parte central de Estados Unidos, este autor encontró que el fuego incremento significativamente la cobertura de gramíneas y de arbustos pequeños en las áreas incineradas en una quema de verano, aunque la visibilidad de la respuesta se manifestó luego de tres años; en otro estudio dentro de la misma región ecológica, que de hecho se comparte con el rancho Los Ángeles el cual está en el extremo más sureño de esta ecorregión Ansley *et al.*, (2021) analizaron también la respuesta de zacates a lo que ellos llaman fuegos tradicionales que ocurren de manera natural, en ese estudio se confirma que el fuego promueve el aumento en la cobertura de gramíneas y

algunos arbustos, pero poco se aborda para el caso de las hierbas, por lo que es muy impórtate definir el tipo de fuego y la época en la que este ocurre.

**Cuadro 2.** Especies con mayor dominancia (cobertura) por tratamiento y evaluación, ponderando de mayor a menor.

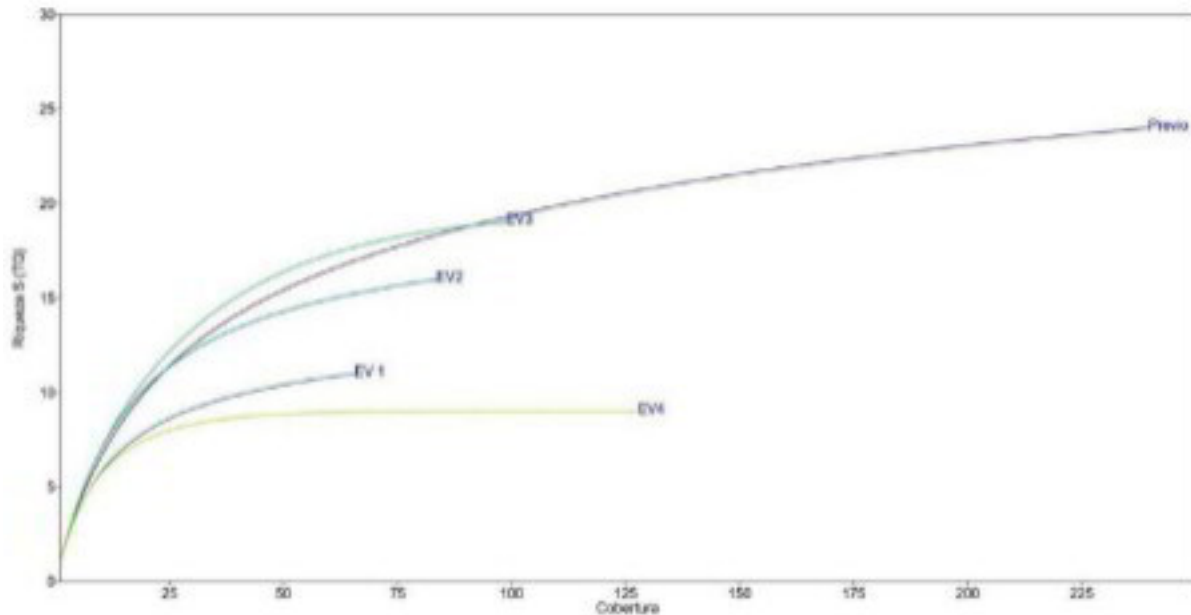
SPP	EV1			EV2			EV3			EV4		
	TQ	TQ+ R	TR	TQ	TQ+ R	TR	TQ	TQ+ R	TR	TQ	TQ+ R	TR
1.-	As fi	Ar ad	Bo gr	Ar ec	Sp ai	Bo gr	Ar ec	Sp ai	Bo gr	As fi	Ph fe	Bo gr
2.-	Ac ph	Ac ph	As fi	Ph fe	Ph fe	Ar ec	Ph fe	Ph fe	Ar ec	Bo gr	Bo cu	Bo ba
3.-	Bo gr	Am de	Am co	Gr sq	Am de	Ho ob	Gr sq	Am de	Ho ob	As br	Am co	As fi

*As fi: Asphodelus fistulosus ,Ac ph: Acalaphya phleoides ,Bo gr: Bouteloua gracilis , Ar ad: Aristida adscencionis ,Am de: Ambrosia deltoidea, Am co: Ambrosia confertifolia , Ar ec: Argemone echinata, Ph fe: Physaria fendleri, Gr sq: Grindelia squarrosa, Sp ai: Sporobolus airoides , Ho ob: Hopia obtusa , As br: Asclepia brachystephana , Bo cu: Bouteloua curtipendula , Bo ba: Bothriochloa barbinodes.*

### 4.3 Riqueza.

De acuerdo con la curva de rarefacciones la cual nos indica el valor de la cobertura máxima acumulada de la especie más dominante (eje x) y el número de especies por cada evaluación (eje y); se observa que para todos los tratamientos el valor de cobertura máximo de la evaluación previa fue de 225%, mientras que el número de especies fue de 24, con estos valores como referencia numérica, se contrastó la riqueza en cada tratamiento. Para TQ, se observa que el incremento en la riqueza fue consistente desde

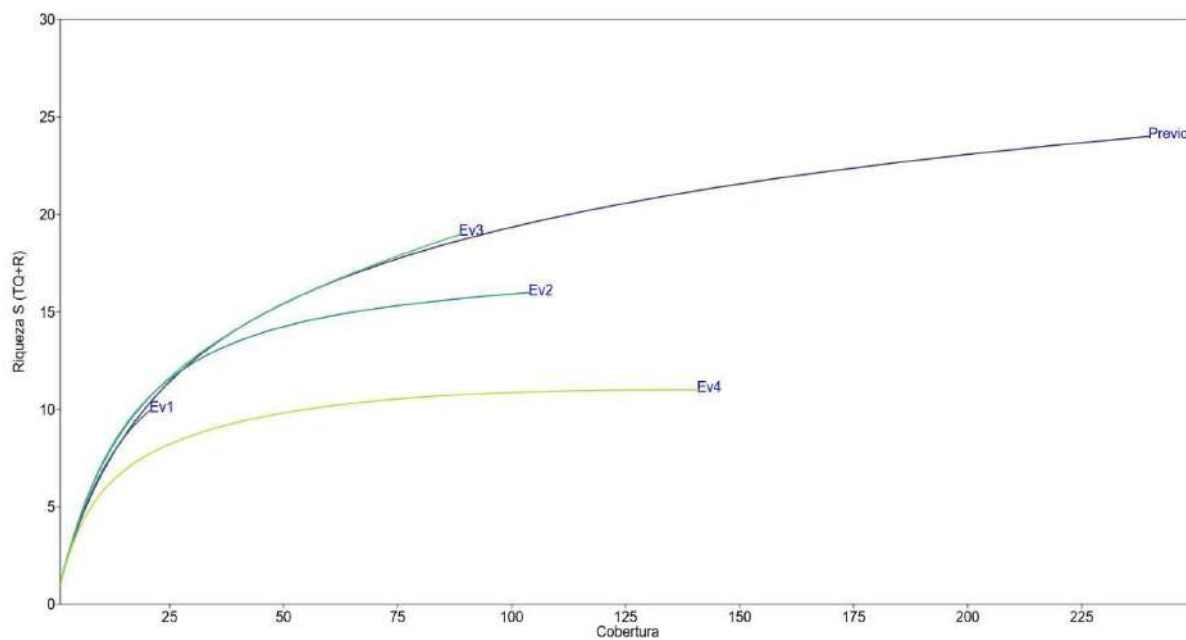
la EV1 hasta EV3 (de 11 a 19 especies), sufriendo un descenso en la EV4 (9 especies; Figura 12), en el mismo sentido la cobertura acumulada de la especie más dominante tuvo un incremento consistente.



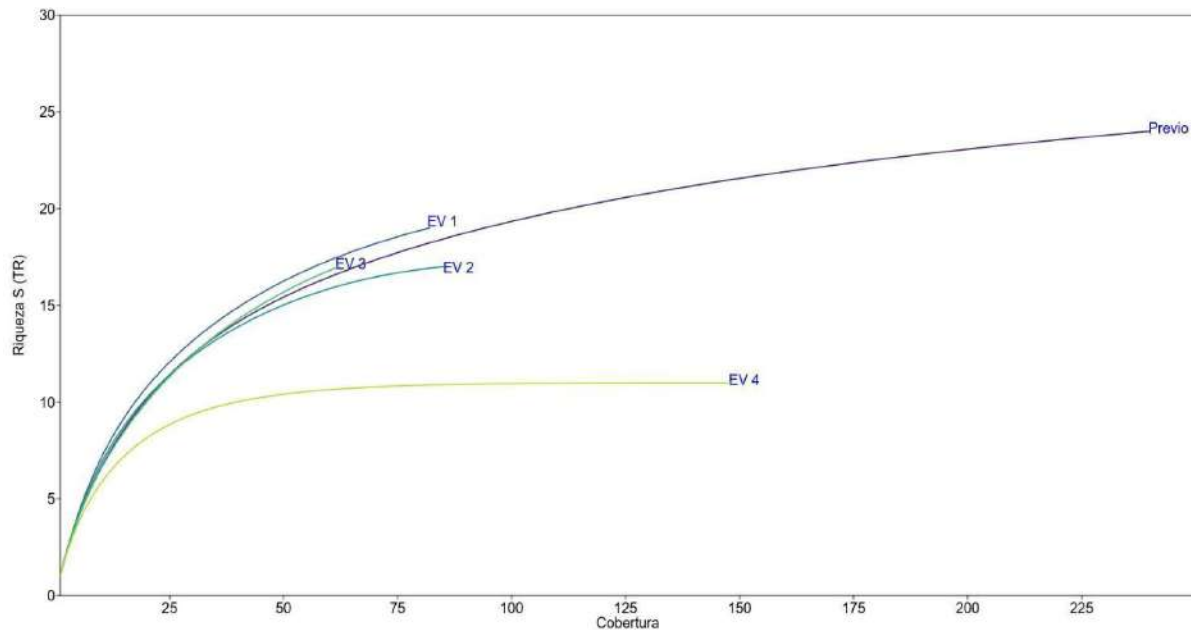
**Figura 12.** Curva de rarefacciones para TQ en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles

Para el tratamiento combinado de TQ+R, hubo una disminución del número de especies más pronunciada en la EV1, tanto en la cobertura acumulada de la especie con mayor dominancia (aproximadamente 24%), como en la riqueza de especies (10 especies), esto fue causado en gran medida a que la severidad de la QP fue mayor en esta área, la riqueza tuvo un crecimiento consistente en las EV2 y EV3 de 16 y 19 especies respectivamente, para después tener un descenso en la EV4 con 11 especies pero un aumento en la cobertura acumulada de la especie más dominante de 140% (Figura 13), lo que indica un desplazamiento de especies y dominancia de una especie en un mayor porcentaje al resto. Para TR, en la EV1 hubo una disminución en riqueza a 19 especies para posteriormente en la EV2 y EV3 disminuir a 17 especies, por último, un descenso a 11 especies en la EV4; en lo relacionado a cobertura vegetal hubo un descenso en la

EV1 y EV3 (80 y 60% respectivamente) con un repunte en la EV2 (90%), para finalizar con porcentaje en la cobertura en la EV4 de 150% (Figura 14).



**Figura 13.** Curva de rarefacciones para TQ+R en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles



**Figura 14.** Curva de rarefacciones para TR en un período de 182 días posterior a una quema prescrita de primavera en el Rancho Los Ángeles

Los resultados presentados indican que el tratamiento que expresó más riqueza fue TR (de 24 a 11 especies) con un promedio de 16 especies por evaluación, sin embargo, de acuerdo a lo observado en campo y coincidente a lo mencionado por Sanaei *et al.*, (2017), donde resalta que una alta cobertura vegetal puede mejorar la riqueza de especies, de ese modo el TQ+R, es el tratamiento más efectivo. Si bien el desempeño en el incremento de cobertura vegetal en base a la gráfica de rarefacción muestra que una especie en TR en la EV4, fue la que mostró un mayor porcentaje (aditivo al número de muestras) el TQ+R es el que proyectó mayores incrementos asociados al número de especies a lo largo del tiempo, lo que coincide con los resultados específicos de cobertura vegetal presentados. De manera complementaria para la interpretación de los valores de riqueza, el índice de Chao-1 (Tabla 3) muestra que en todas la evaluaciones hubo un alto porcentaje de ocurrencia de las especies esperadas en el sitio (>90%), sólo en la evaluación Previa (70.6%) y en la tercera evaluación de TQ+R (71.7%) la ocurrencia de

especies fue menor, esto es importante ya que da certeza estadística a la identificación de las especies vegetales durante el experimento y a los efectos que cada tratamiento específico puede tener en este valor ecológico.

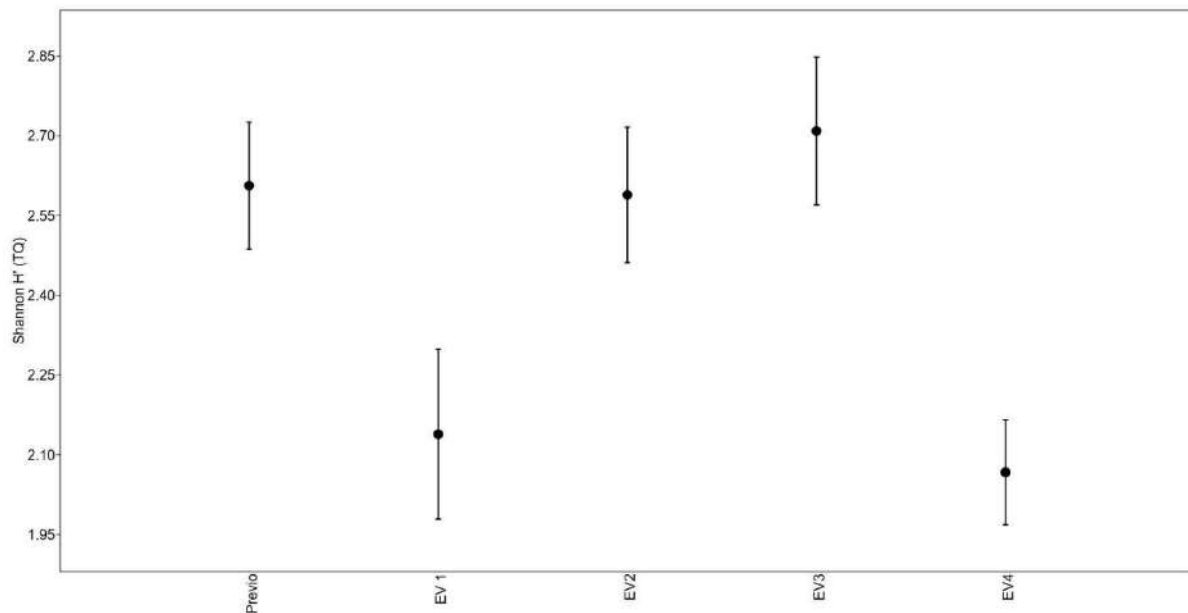
De acuerdo con los estudios realizados por Paz-Nolasco (2023) y Ochoa *et al.*, (2006), para un pastizal mediano abierto con condiciones climáticas áridas y semiáridas, la riqueza puede variar desde 16 hasta 85 especies, para este experimento y en contraste con el estudio realizado por Ochoa (2006), donde el número máximo de especies vegetales fue de 25 durante la temporada de primavera y no hubo un disturbio intencionado, se obtuvo un total de 64 especies vegetales, esto incentivado por el uso de la quema prescrita y rodillo aireador, el cual nos mantiene en el rango de las especies observadas dentro de este tipo de ecosistema de acuerdo a los estudios antes mencionados.

**Cuadro 3.** Valores de riqueza de especies estimados mediante el índice Chao-1 para tres tratamientos de rehabilitación de pastizales en el Rancho Los Ángeles

		<b>PREVIO</b>	<b>EV1</b>	<b>EV2</b>	<b>EV3</b>	<b>EV4</b>
<b>TQ</b>	<b>SPP observadas</b>	24	11	16	19	9.0
	SPP proyectadas	34	11.5	17.0	19.0	9.0
	%	70.6	95.7	94.1	100	100
<b>TQ+R</b>	<b>SPP observadas</b>	24	10	16	19	11
	SPP proyectadas	34	10	16.5	26.5	11
	%	70.6	100	97.0	71.7	100
<b>TR</b>	<b>SPP observadas</b>	24	19	17	17	11
	SPP proyectadas	34	21	17	18.5	11
	%	70.6	90.5	100	91.9	100

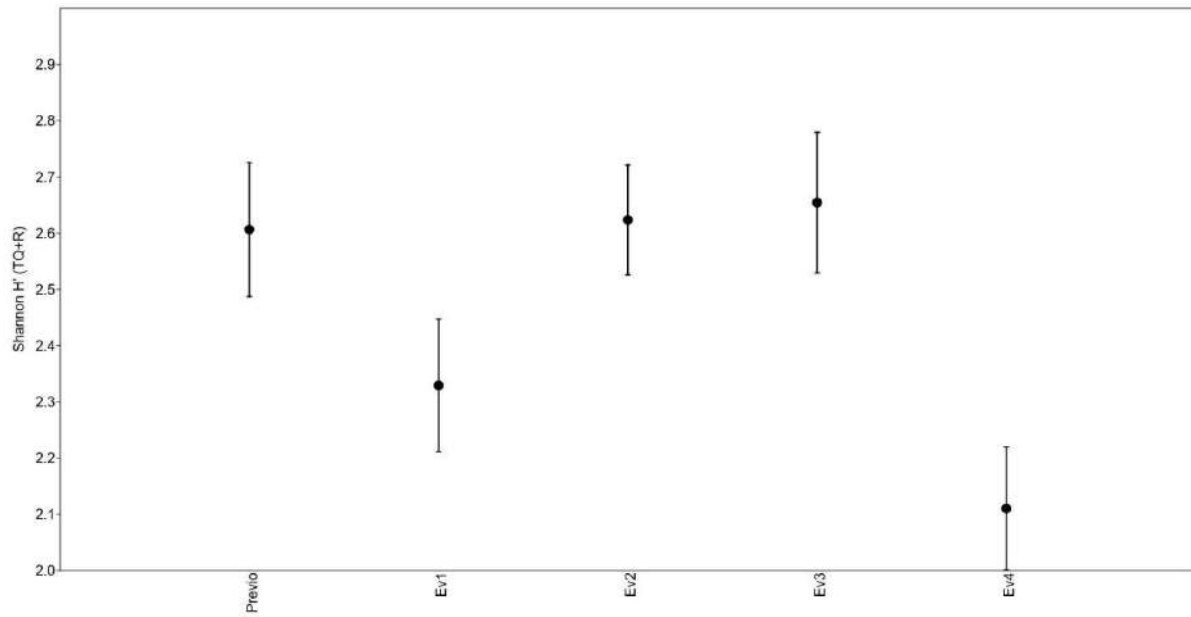
#### 4.4 Diversidad.

Para diversidad en la evaluación previa, todos los tratamientos muestra un valor de -2.56 con un IC del 95%, específicamente para el tratamiento TQ en la EV1 presento un índice de diversidad de 2.065, posteriormente 2.501 en la EV2, EV3 con 2.623 y finalizando con 2.063 para la EV4, los valores significativamente diferentes son ambos extremos de las evaluaciones, EV1 y EV4, esto dado a las condiciones de cada temporada, EV1 con 26 días posteriores a la aplicación de la QP, presento una disminución importante en la diversidad, al igual que la EV4 con 156 días posteriores a la EV1 y con dos cambios estacionales de igual manera tuvo un descenso en el índice de diversidad.

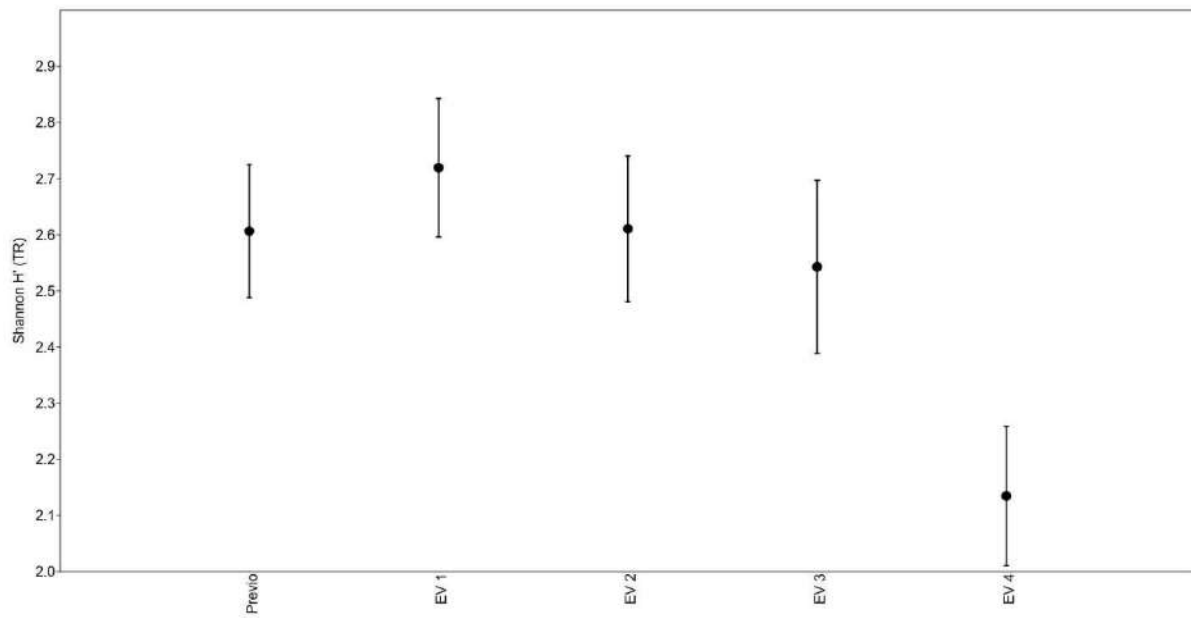


**Figura 15.** Valores de biodiversidad de Shannon para TQ con IC (95%).

Para el tratamiento TQ+R, donde la intensidad en la QP fue mayor, los índices en la diversidad fueron significativamente diferentes en las EV1 y EV4, partiendo del tratamiento previo con un valor de 2.56, en la EV1 de 2.153, posteriormente la EV2 Y EV3 con 2.553 y 2.557 respectivamente para por ultimo tener un valor de 2.075 en la EV4. Para el tratamiento TR, donde los días evaluados totales fueron de 157, hubo una disminución consistente en los valores posterior a la evaluación previa, EV1 con un valor de 2.615, EV2 con un valor de 2.521, EV3 2.421 y EV4 con un valor de 2.101.



**Figura 16.** Valores de biodiversidad de Shannon para TQ+R con IC (95%).



**Figura 17.** Valores de biodiversidad de Shannon para TR con IC (95%).

De acuerdo con el experimento realizado por Paz-Nolasco (2023), en el Rancho Los Ángeles, para un pastizal mediano abierto con presencia de perritos de la pradera el índice de diversidad Shannon fue de -1.83, mientras que Ochoa (2006) obtuvo un valor de -1.73 dentro de colonias, en comparación a estas investigaciones el valor de diversidad obtenido en el presente estudio fue de -2.61 para TR, en contraste con estos autores en el presente estudio se utilizó el rodillo aireador. De acuerdo con Bai (2001), para un pastizal con especies nativas que tuvo la presencia del apacentamiento como fuente de disturbio, el valor de diversidad fue de -1.95, con el uso de QP (TQ y TQ+R), como técnica de rehabilitación de pastizales con la intención de promover una respuesta en las variables ecológicas aquí evaluadas, se obtuvieron valores de -2.06 y -2.07 para TQ y TQ+R, respectivamente, siendo superiores a lo reportado por Bai (2001).

**Cuadro 4.** Valores de equitatividad obtenidos durante el experimento en las cuatro evaluaciones para los tres tratamientos.

PREVIO	0.5388			
TRATAMIENTO	EV1	EV2	EV3	EV4
TQ	0.7168	0.7618	0.7249	0.8513
TQ+R	0.8614	0.8029	0.6788	0.7241
TR	0.7191	0.7321	0.6622	0.7433

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con la primera hipótesis planteada, al respecto de que: *la técnica combinada de rodillo aireador y quema prescrita fue la más efectiva para incrementar el porcentaje de cobertura vegetal en comparación con los demás tratamientos aplicados*, se acepta debido a que fue el tratamiento que obtuvo un mayor incremento porcentual durante las evaluaciones realizadas, el cual fue de 69.4%, comparado con 37.2% para TQ y 18.1% para TR.

Para la hipótesis número dos acerca de que *la técnica de quema prescrita fue la más efectiva para incrementar la riqueza y diversidad de especies vegetales en comparación con los demás tratamientos aplicados*, se acepta, ya que el valor de diversidad en ambos casos donde se usó el fuego el índice de Shannon tendió a ser mayor, el valor promedio de equitatividad es mayor que donde solo se usó el rodillo (TR), mientras que para la riqueza de especies los cambios no son tan notables en ninguno de los escenarios.

## **VI. IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES**

Las implicaciones de manejo derivadas de este trabajo son las siguientes:

- Reconocer el uso del fuego mediante quemas prescritas como una herramienta viable de rehabilitación que contribuye al aprovechamiento sustentable del pastizal.
- Entender que, cuando se aplica de manera adecuada, el fuego puede ser benéfico en ecosistemas dependientes de este, ofreciendo ventajas tanto ecológicas como económicas.
- Considerar que la participación de dependencias gubernamentales encargadas del uso del fuego y del control de incendios forestales puede facilitar el proceso de planeación y ejecución, especialmente desde una perspectiva financiera.

Como parte del aprendizaje obtenido en este experimento, se recomienda tanto a estudiantes como a docentes para adoptar una visión de manejo más integral de los predios, priorizando la salud del ecosistema por encima del ganado doméstico, ya que el bienestar de este último depende directamente del primero. Asimismo, se sugiere a los tomadores de decisiones en los predios capacitarse en temas de rehabilitación y entender las implicaciones que estas acciones conllevan. Finalmente, se invita a las dependencias gubernamentales a fortalecer su interés y compromiso con la rehabilitación y conservación de los recursos naturales, así como fomentar en las nuevas generaciones la importancia de cuidar y mantener los recursos renovables con los que contamos hoy.

## VII. LITERATURA CITADA

Allen, V.G., C. Batello, E.J. Berretta, J. Hodgson, M. Kothmann, X. Li, J. McIvor, J. Milne, C. Morris, A. Peeters y M. Sanderson (2001) An international terminology for grazing lands and grazing animals [Terminología Internacional para Tierras de Pastoreo y Animales en Pastoreo]. Grass and Forage Science, 66, 2-28. <https://www.internationalgrasslands.org/wp-content/uploads/2021/04/Spanish-d8b50.pdf>

- Allred, B. W., S. D. Fuhlendorf, and R. G. Hamilton. 2011. The role of herbivores in Great Plains conservation: comparative ecology of bison and cattle. *Ecosphere* 2(3):art26. [doi:10.1890/ES10-00152.1](https://doi.org/10.1890/ES10-00152.1)
- Beal-Neves, M., Ely, C.V., Duarte, L. et al. Time since fire as a driver of taxonomic and phylogenetic patterns of grassland plant communities. *Sci Rep* 14, 17219 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68188-y>
- Borrelli, P., G. Oliva. 2001 Evaluación de pastizales. Cap. 6. pp 161-182 En: Ganadería Sustentable en la Patagonia Austral. Borrelli, P. y G. Oliva Ed. INTA Reg. Pat. Sur. 269 pp. <https://ppryc.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/12/capitulo-6.pdf>
- Boshoff, D.S., 2024, 'Understanding fire regimes: A biogeographical perspective', *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies* 16(1), a1673. <https://doi.org/10.4102/jamba.v16i1.1673>
- Boval, M., & Dixon, R. M. (2012). The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 6(5), 748–762. [The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.animal.2012.05.001)
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P. J., Smith, H. G., & Lindborg, R. (2019). Grasslands-more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* (Washington, D.C), 10(2), e02582. [Grasslands—more important for ecosystem services than you might think](https://doi.org/10.1002/ecsp.2582)
- CONTRIBUCIÓN DE LA OVINOCULTURA AL SECTOR PECUARIO EN MÉXICO. (2018). *Agro Productividad*, 10(3). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/975>
- CONAGUA, S. (2023). Monitor de sequía en México. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/sequias/monitor-de-sequia-en-mexico>.
- Chaofeng Shen, Jun Zhang, Xi Yang, Juhong Liu, Guodong Han, Effects of grazing on temperate grassland ecosystems: A meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 381, 2025, 109452, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109452>.
- Costanza, R.; Dange, R.; Degroot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 1997,387, 253–260.

Cain, Don. The ely chain. USDOI Bureau of Land Management Handbook (32 p) (1971).  
[https://www.wildlifeprofessional.org/western/transactions/transactions\\_1972\\_15.pdf](https://www.wildlifeprofessional.org/western/transactions/transactions_1972_15.pdf)

## CONAGUA

CONAFOR (2025) Reporte semanal de incendios forestales, coordinación general de conservación y restauración, gerencia de manejo del fuego. Consultado en línea: 14.10.2025  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1028482/Reporte del 01 de enero al 09 de Octubre del 2025.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1028482/Reporte_del_01_de_enero_al_09_de_Octubre_del_2025.pdf)

David Yang Shu, Sarah Deutz, Benedikt Alexander Winter, Nils Baumgärtner, Ludger Leenders, André Bardow, The role of carbon capture and storage to achieve net-zero energy systems: Trade-offs between economics and the environment, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 178, 2023, 113246, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113246>.

Das, Pulak & Joshi, Santosh & Rout, Jayashree & Upreti, DK. (2012). Shannon Diversity Index (H) as an Ecological Indicator of Environmental Pollution - A GIS Approach. Journal of Functional And Environmental Botany. 2. 22. 10.5958/j.2231-1742.2.1.003.

Dillon, J. A., Rotz, C. A. L., & Karsten, H. D. (2020). Management characteristics of northeast US grass-fed beef production systems. Applied Animal Science, 36, 715–730. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-01992>

Driessen, P. M., & Dudal, R. (1991). The Major Soils of the World. Lecture Notes on Their Geography, Formation, Properties and Land Use (310 p). Wageningen: Agricultural University of Wageningen.

El, & Javier, Francisco & Sanez, Rivera & Manuel, José & Cantú, Pérez & Paz, María & Armenta, Montañez & Lavandera, Guilebaldo. (2019). Universidad de Sonora USE OF AERATOR ROLLER ON GRASSLAND RESTORATION IN AGUA PRIETA, SONORA RESUMEN.

Encina-Domínguez, Juan A., Villarreal-Quintanilla, José A., Estrada-Castillón, Eduardo, & Rueda-Moreno, Omar. (2019). Situación actual de la vegetación de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Botanical Sciences, 97(4), 630-648. Epub 04 de febrero de 2020. <https://doi.org/10.17129/botsci.2213>

Frost, R., & Rutherford, A. (s.f.). Mechanical methods. Rangelands Gateway. <https://rangelandsgateway.org/topics/maintaining-improving-rangelands/mechanical-methods>

- Fedor, P. & M, Zvarikova (2019). Conservation ecology: Biodiversity indices Vol 1, 337-346, en: Encyclopedia of ecology, B. Fath Ed. Second edition. Elsevier Towson University, Maryland E.U.A, 663 pp.
- Fesomade, K. I., & Walker, R. A. (2025). Prescribed Fire Smoke: A Review of Composition, Measurement Methods, and Analysis. *Fire*, 8(7), 241. <https://doi.org/10.3390/fire8070241>
- García, E.R., López, T.R. 1997. Rancho demostrativo Los Ángeles Monografía histórica (1930-1995) UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 3-24.
- Haslem, Angie & Radford, James & Bennett, Andrew & Watson, Simon & Chick, Matt & Huang, Jenny & Berry, Laurence & Clarke, Michael. (2024). Measuring the ecological outcomes of fire: metrics to guide fire management. *Fire Ecology*. 20. 10.1186/s42408-024-00333-4.
- Hammer, Oyvind & Harper, David & Ryan, Paul. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4. 1-9.
- He, T., Belcher, C.M., Lamont, B.B. and Lim, S.L. (2016), A 350-million-year legacy of fire adaptation among conifers. *J Ecol*, 104: 352-363.
- Ibarra Flores, F. A., Rivera, M., Moreno Medina, S. M., Denogean Ballesteros, F. G., Martínez Durán, A. B., De La Toba García, V., & Aguilar, V. A. (2014). BENEFICIOS ECONÓMICOS ASOCIADOS CON EL CONTROL DE INVASIONES DE UÑA DE GATO EN EL PASTIZAL MEDIANO ABIERTO DE CANANEA, SONORA, MÉXICO. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34( ), 795-805.
- INEGI. (1983). Síntesis geográfica de Coahuila. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220952/702825220952\\_12.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220952/702825220952_12.pdf)
- INEGI. (s. f.). \*Edafología\*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [\[https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#mapas\]](https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#mapas)(<https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#mapas>)
- INEGI, 2016. ACUERDO por el que se aprueban los Lineamientos para el uso y actualización del Catálogo de Tipos de Vegetación Natural e Inducida de México con fines estadísticos y geográficos. Catálogo de Tipos de Vegetación Natural e Inducida de México. [https://www.snieg.mx/Documentos/Normatividad/Vigente/cat\\_tem\\_gen\\_tipos\\_veg\\_oct2016.pdf](https://www.snieg.mx/Documentos/Normatividad/Vigente/cat_tem_gen_tipos_veg_oct2016.pdf)

- Implan Saltillo. (2020). Atlas de los municipios de la región sureste del estado de Coahuila de Zaragoza 2020. [https://implansalttillo.mx/files\\_publicaciones/archivo\\_publicacion\\_23.pdf](https://implansalttillo.mx/files_publicaciones/archivo_publicacion_23.pdf)
- Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R. D., Luna-Luna, M., & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12, 261–285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>
- Jaynes, C.C., E.D Robison and W.G. McCully. 1968. Root plowing and revegetation on the Rolling and southern High Plains, PR2585:10-14. In: Texas Agr. Exp. Sta. CPR2583-2609.
- Karen Anderson, Felipe Gonzalez, Kevin J Gaston, Drones in ecology: ten years back and forth, *BioScience*, Volume 75, Issue 8, August 2025, Pages 664–680, <https://doi.org/10.1093/biosci/biaf069>
- Kobziar, L.N., Hiers, J.K., Belcher, C.M. *et al.* Principles of fire ecology. *fire ecol* 20, 39 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00272-0>
- Kelly D, Waters-Bayer A, Ulambayar T, Johnsen KI, Magero C & NiamirFuller M. 2024. Pastoralism and rangelands: people and institutions –a glossary of terms. Version 1. International Rangeland Congress in collaboration with Global Alliance for the International Year of Rangelands and Pastoralists. [https://iyrp.info/sites/default/files/2025-01/Glossary\\_pastoralism-rangelands\\_people-institutions-2024.pdf](https://iyrp.info/sites/default/files/2025-01/Glossary_pastoralism-rangelands_people-institutions-2024.pdf)
- Kelly G. Lyons, Péter Török, Julia-Maria Hermann, Kathrin Kiehl, Anita Kirmer, Johannes Kollmann, Gerhard E. Overbeck, Sabine Tischew, Edith B. Allen, Jonathan D. Bakker, Christy Brigham, Elise Buisson, Kerri Crawford, Peter Dunwiddie, Jennifer Finn, Devin Grobert, Karen Hickman, Soizig LE Stradic, Vicky M. Temperton, Challenges and opportunities for grassland restoration: A global perspective of best practices in the era of climate change, *Global Ecology and Conservation*, Volume 46, 2023, e02612, ISSN 2351-9894, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02612>.
- Keeley JE. (2009) Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18, 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Kristin B. Hulvey, Katherine Thomas, Eric Thacker, A Comparison of Two Herbaceous Cover Sampling Methods to Assess Ecosystem Services in High-Shrub Rangelands:

Photography-Based Grid Point Intercept (GPI) Versus Quadrat Sampling, *Rangelands*, Volume 40, Issue 5, 2018, Pages 152-159, ISSN 0190-0528, <https://doi.org/10.1016/j.rala.2018.08.004>.

Karina Zelaya, Jasper van Vliet, Peter H. Verburg Characterization and analysis of farm system changes in the Mar Chiquita basin, Argentina, *Applied Geography*, Volume 68, 2016, Pages 95-103, ISSN 0143-6228, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.02.001>.

Kanianska, R., & Kizeková, M. (2025). Variability of Grassland Soils' Properties in Comparison to Soils of Other Ecosystems. *Agronomy*, 15(3), 713. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030713>

Katherine J. Siegel, Luke Macaulay, Matthew Shapero, Theresa Becchetti, Stephanie Larson, Fadzayi E. Mashiri, Lulu Waks, Laurel Larsen, Van Butsic, Impacts of livestock grazing on the probability of burning in wildfires vary by region and vegetation type in California, *Journal of Environmental Management*, Volume 322, 2022, 116092, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116092>.

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage

Liu, H., Hou, L., Kang, N., Nan, Z., & Huang, J. (2022). The economic value of grassland ecosystem services: A global meta-analysis. *Grassland Research*, 1(1), 63–74. <https://doi.org/10.1002/glr2.12012>

Myers, R.L. (ed.). Estados Unidos de América. 28 pp. The Nature Conservancy. 2006. Convivir con el Fuego Manteniendo los Ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego.

Molvar, E.M., R. Rosentreter, D. Mansfield, and G.M. Anderson. 2024. Cheatgrass invasions: History, causes, consequences, and solutions—Hailey, ID: Western Watersheds Project, 128 pp.

Medina, Romelia & Silva, Israel & González-Rodríguez, H. & Pando-Moreno, Marisela & Kubota, Tetsuya & Gómez-Meza, Marco. (2017). Efectos del rodillo aireador y el fuego en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo en Matorrales de Coahuila, México. *Agrociencia*. 51. 471-485.

Margaret A. Palmer, Graham A. Stewart, Ecosystem restoration is risky ... but we can change that, *One Earth*, Volume 3, Issue 6, 2020, Pages 661-664, ISSN 2590-3322, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.11.019>.

- McLauchlan KK, Higuera PE, Miesel J, et al. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *J Ecol.* 2020; 108: 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
- Nájera, D., A. 2013. El fuego. Bordeando el monte. Secretaria del Medios Ambiente. Saltillo, Coahuila, México. 12 p.
- Nicholas J. Gotelli, Anne Chao, Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data, Editor(s): Simon A Levin, Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition), Academic Press, 2013, Pages 195-211, ISBN 9780123847201, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00424-X>.
- OCHOA ESPINOZA, J. J. (2006). *Dinámica de la salud del pastizal en colonias de perrito de la pradera (Cynomys ludovicianus) en Janos, Chihuahua* (Tesis maestría en ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua). Consultado [https://www.researchgate.net/publication/335227371\\_Dinamica\\_de\\_la\\_salud\\_del\\_p  
astizal\\_en\\_colonias\\_de\\_perrito\\_de\\_la\\_pradera\\_Cynomys\\_ludovicianus\\_en\\_Janos  
\\_Chihuahua](https://www.researchgate.net/publication/335227371_Dinamica_de_la_salud_del_pastizal_en_colonias_de_perrito_de_la_pradera_Cynomys_ludovicianus_en_Janos_Chihuahua)
- Ochoa-Espinoza, Javier & Ayala, César & Estrada, Eduardo & Saldívar, Fernando & Saucedo, José & Jurado, Enrique & ChapaVargas, Leonardo & Melendez-Jaramillo, Edmar & Hernández, Edgardo. (2017). Livestock Effect On Floristic Composition and Vegetation Structure of Two Desert Scrublands In Northwest Coahuila, Mexico. *The Southwestern Naturalist.* 62. 135-142. 10.1894/0038-4909-62.2.135.
- Ochoa E. J.J., P. Álvarez V., R. Vázquez A. y J.A. Carrera T. (2024). Quemas prescritas: Una herramienta para la rehabilitación de pastizales y matorrales de zonas áridas. *Agro-Divulgación*, 4(5). <http://doi.org/10.54767/ad.v4i5.381>
- Plumanns-Pouton, E., McColl-Gausden, S. C., Collins, L., Harvey, B. J., & Krawchuk, M. A. (2025). Fire in focus: Clarifying metrics and terminology for better ecological insight. *Journal of Applied Ecology*, 62, 2111–2119. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70111>
- Pergola, M.; De Falco, E.;Cerrato, M. Grassland Ecosystem Services: Their Economic Evaluation through a Systematic Review. *Land*2024,13, 1143. <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/8/1143>
- Pyke, D. A., Brooks, M. L., & D'Antonio, C. (2010). Fire as a Restoration Tool: A Decision Framework for Predicting the Control or Enhancement of Plants Using Fire. *Restoration Ecology*, 18(3), 274-284. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2010.00658.x>

- Padilla, C., Crespo, G., & Sardiñas, Y. (2009). Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4),351-354.[fecha de Consulta 23 de Septiembre de 2025]. ISSN: 0034-7485. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193014888004>
- Paz Nolasco, J. E (2023). Influencia del perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) en la estructura, diversidad y riqueza de especies en el zacatal semidesértico del Sureste de Coahuila, México. Tesis licenciatura UAAAN. Recupereado de <http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/handle/123456789/49353>
- Peláez, E. & Alvarado, Ernesto & Ríos, Jorge & Castillo, Faviola & Flores-Garnica, José. (2009). Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. Jardel
- P. Soca, M. Do Carmo, I. Paparamborda, V. Figueroa, S. Scarlato, A. Ruggia, S. Dogliotti, M. Claramunt, Review: A hierarchical research model to foster dialog between grazing ecology and beef cow energetics to support ecological intensification of native grassland, *animal*, 2024, 101372, ISSN 1751-7311, <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101372>.
- Quijano-Chacón, G. M., Contreras-Martínez, S., Rosas-Espinoza, V. C., Cárdenas-Hernández, O. G., & Castillo-Navarro, M. F. (2025). Prescribed Fire Effects on Hummingbird Taxonomic and Functional Diversity in Pine–Oak Forests in West-Central Mexico. *Birds*, 6(2), 19. <https://doi.org/10.3390/birds6020019>
- Ramirez, M. P. (2021). Effects of prescribed fire on botanical composition, soil cover, and forage production in Caucasian bluestem-infested rangeland in the Kansas Smoky Hills (Doctoral dissertation).
- Rojas-Juárez, L. A., Jaramillo-Villanueva, J. L., Vargas-López, S., & Cabas-Monje, J. (2024). Competitividad y ventaja comparativa de ganado bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 15(4), 879–897. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i4.6530>
- Rowntree, J. E., Stanley, P. L., Maciel, I. C. F., Thorbecke, M., Rosenzweig, S. T., Hancock, D. W., Guzman, A., & Raven, M. R. (2020). Ecosystem impacts and productive capacity of a multi-species pastured livestock system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 544984. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.544984>
- Robinson, J. M., Harrison, P. A., Mavoja, S., & Breed, M. F. (2022). Existing and emerging uses of drones in restoration ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(9), 1899-1911. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13912>

- Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf)
- Shikui Dong, Yudan Xu, Shuai Li, Hao Shen, Mingyue Yang, Jiannan Xiao, Restoration actions associated with payment for ecosystem services promote the economic returns of alpine grasslands in China, *Journal of Cleaner Production*, Volume 458, 2024, 142439, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142439>.
- Stijn Hantson, Douglas S. Hamilton, Chantelle Burton, Changing fire regimes: Ecosystem impacts in a shifting climate, *One Earth*, Volume 7, Issue 6, 2024, Pages 942-945, ISSN 2590-3322, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.05.021>.
- Smit, I.P.J., Baard, J.A. & van Wilgen, B.W. Fire regimes and management options in mixed grassland-fynbos vegetation, South Africa. *fire ecol* 20, 29 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00262-2>
- Serrato, S.R., J.G. Medina T., R. Vásquez A. 1983. Respuesta del pastizal mediano abierto a diferentes sistemas de pastoreo. Monografía Técnico Científica. Departamento Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 84p.  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47128/Serrato%20S%C3%A1nchez%2C%20Ra%C3%BAI.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Saladyga, T., Palmquist, K.A. & Bacon, C.M. Fire history and vegetation data reveal ecological benefits of recent mixed-severity fires in the Cumberland Mountains, West Virginia, USA. *fire ecol* 18, 19 (2022). <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00143-6>
- SOCIETY FOR RANGE MANAGEMENT (1989) A glossary of terms used in range management, 3rd edn. Glossary Revision Special Committee, Publications Committee. Peter W. Jacoby, Chairman. Society for Range Management. Denver, Colorado, USA: Edison Press.
- TNC/WWF/UICN, El Fuego, los Ecosistemas y la Gente, una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. 2004.
- Valkó, O., Deák, B., Magura, T., Török, P., Kelemen, A., Tóth, K., Horváth, R., Nagy, D. D., Debnár, Z., Zsigrai, G., Kapocsi, I., & Tóthmérész, B. (2016). Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands - A multi-taxa approach. *The Science of the Total Environment*, 572, 1377–1384. [Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands — A multi-taxa approach - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.088)

- Vásquez - A., R., 1973. Plan inicial de manejo de agostaderos en el Rancho Demostrativo Los Angeles. Tesis licenciatura, E.S.A.,A.N., U. de C., Saltillo, Coah.
- Wyant, James & Meganck, Richard & Ham, Sam. (1995). A planning and decision-making framework for ecological restoration. *Environmental Management*. 19. 789-796. 10.1007/BF02471932.
- Wiedemann, H. T. Factors to consider when sculpting brush: mechanical treatment options. *Proceedings of Brush Sculptors Symposium*. 1997. Texas A&M, <https://texnat.tamu.edu/library/symposia/brush-sculptors-innovations-for-tailoring-brushy-rangelands-to-enhance-wildlife-habitat-and-recreational-value/factors-to-consider-when-sculpting-brush-mechanical-methods/>
- Wanyera F., Mutugi C.R., Nadjima D., Gichuki N. (2021), Ecosystem Degradation and Its Implications on Regulating Service. *African Journal of Environment and Natural Science Research* 4(4), 74-87. DOI: 10.52589/AJENSRGCGJ3B8YV.
- Xie, G.; Lu, C.; Xiao, Y. The Economic Evaluation of Grassland Ecosystem Services in Qinghai-Tibet Plateau. *J. Mt. Sci.* 2003,21, 50–55.
- Yukiko Hashida, David J. Lewis, Karen Cummins, Prescribed fires as a climate change adaptation tool, *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 130, 2025, 103081, ISSN 0095-0696, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.103081>.
- Zouhar, Kristin. 2021. Fire regimes of plains grassland and prairie ecosystems. In: *Fire Effects Information System*, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Missoula Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: [www.fs.usda.gov/database/feis/fire\\_regimes/PlainsGrass\\_Prairie/all.html](http://www.fs.usda.gov/database/feis/fire_regimes/PlainsGrass_Prairie/all.html) [2025, August 21].

## VIII. ANEXOS

**Cuadro 5.** Especies presentes en el grupo funcional de los arbustos

Familia	Especie	PREVIO	TQ	TQ+R	TR
Amarantáceas	<i>Krashkeninikovia lanata</i>	X	X		X
Asteraceae	<i>Ambrosia deltoidea</i>	X	X	X	X
Asteraceae	<i>Baccharis pteronoides</i>	X		X	X
Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	X			
Ephedraceae	<i>Ephedra trifurca</i>			X	
Escrofulariáceas	<i>Buddleja scordioides</i>				X

**Cuadro 6.** Especies presentes en el grupo funcional de las herbáceas

Familia	Especie	PREVIO	TQ	TQ+R	TR
Euphorbiaceae	<i>Acalypha phleoides</i>	X	X	X	X
Amaryllidaceae	<i>Allium kunthii</i>	X	X	X	X
Asteraceae	<i>Ambrosia confertiflora</i>	X	X	X	X
Apocynaceae	<i>Asclepias brachystephana</i>	X	X	X	X
Xanthorrhoeaceae	<i>Asphodelus fistulosus</i>	X	X	X	X
Brassicaceae	<i>Brassicaceae spp</i>	X	X		X
Orobanchaceae	<i>Castilleja scorzonerifolia</i>				X
Papaveraceae	<i>Argemone echinata</i>	X	X		X
Asteraceae	<i>Cirsium texanum</i>			X	
Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>				X
Cyperaceae	<i>Carex schiedeana</i>		X		
Acanthaceae	<i>Dyschoriste linearis</i>			X	
Polygonaceae	<i>Eriogonum atrorubens</i>			X	
Asteraceae	<i>Erigeron pubescens</i>			X	
Brassicaceae	<i>Eruca vesicaria</i>			X	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia serrula</i>	X	X	X	X
Onagraceae	<i>Gaura coccinea</i>			X	
Asteraceae	<i>Grindelia squarrosa</i>		X		X
Fabaceae	<i>Hoffmanseggia watsonii</i>				X
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i>				X
Asteraceae	<i>Xanthisma spinulosum</i>	X			
Onagraceae	<i>Oenothera berlandieri</i>	X			

Familia	Especie	PREVIO	TQ	TQ+R	TR
Brassicaceae	<i>Physaria fendleri</i>	X	X	X	X
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	X			
Asteraceae	<i>Psilostrophe gnaphalodes</i>	X			X
Resedaceae	<i>Reseda luteola</i>	X			
Malvaceae	<i>Sida abutilifolia</i>	X			X
Solanaceae	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	X			
Asteraceae	<i>Solidago velutina</i>	X			X
Malvaceae	<i>Sphaeralcea hastulata</i>	X			X
Lamiaceae	<i>Teucrium cubense</i>	X			X
Verbenaceae	<i>Verbena neomexicana</i>			X	
Asteraceae	<i>Zinnia acerosa</i>			X	


**Cuadro 7.** Especies presentes en el grupo funcional de las suculentas

Familia	Especie	PREVIO	TQ	TQ+R	TR
Cactaceae	<i>Mamillaria spp</i>		X		

**Cuadro 8.** Especies presentes en el grupo funcional de los zacates

Familia	Especie	PREVIO	TQ	TQ+R	TR
Poaceae	<i>Achnatherum eminens</i>			X	
Poaceae	<i>Amelichloa clandestina</i>	X	X	X	X
Poaceae	<i>Aristida adscensionis</i>			X	
Poaceae	<i>Aristida purpurea</i>		X	X	
Poaceae	<i>Bothriochloa barbinodis</i>	X	X		X
Poaceae	<i>Bouteloua curtispendula</i>			X	
Poaceae	<i>Bouteloua dactyloides</i>	X			X
Poaceae	<i>Bouteloua gracilis</i>	X	X		X
Poaceae	<i>Bouteloua uniflora</i>	X			X
Poaceae	<i>Bouteloua barbata</i>		X		
Poaceae	<i>Erioneuron avenaceum</i>			X	
Poaceae	<i>Hesperostipa neomexicana</i>		X		X
Poaceae	<i>Hopia obtusa</i>				X
Poaceae	<i>Muhlenbergia phleoides</i>		X		
Poaceae	<i>Muhlenbergia repens</i>		X		
Poaceae	<i>Muhlenbergia torreyi</i>		X		
Poaceae	<i>Nassella leucotricha</i>		X		
Poaceae	<i>Nassella tenuissima</i>			X	
Poaceae	<i>Panicum hallii</i>		X		
Poaceae	<i>Scleropogon brevifolius</i>		X		
Poaceae	<i>Sporobolus airoides</i>	X		X	X

## 7.2 Anexos académicos



### "STRUCTURAL CHANGES IN A SHORTGRASS PRAIRIE AFTER A PRESCRIBED FIRE IN SOUTHERN COAHUILA, MEXICO"


Emiliano Elizondo Villarreal, José Javier Ochoa Espinoza, Juan Antonio Encina Domínguez.  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Natural resources department.

#### Introduction

Fire is one of the main natural elements and has played a crucial role in the evolution of some fire-dependent ecosystems. Grasslands and savannas have been significantly influenced by fire. In southeastern Mexico, there are two primary biomes: the Chihuahuan Desert and the Tamaulipan shrubland. In the former, we can find vegetation structures that are fire-dependent, such as short grasslands. In this region of Mexico, we have limited knowledge about the application of fire, but we are making progress in research. Therefore, our goal is to implement this tool for the benefit of restoration, which justifies our research. We aimed to evaluate the effects of prescribed fire applied in early spring to a short grassland inhabited by an endemic species, the Mexican prairie dog.

#### Methodology

The study area (5 has) was a non-harvest paddock inhabited by Mexican prairie dogs, and it was chosen because of its potential productivity. One of the hypotheses was that if prescribed fire were used, we could expand the colony, allowing this endemic wildlife to prosper—all by improving the grasslands.



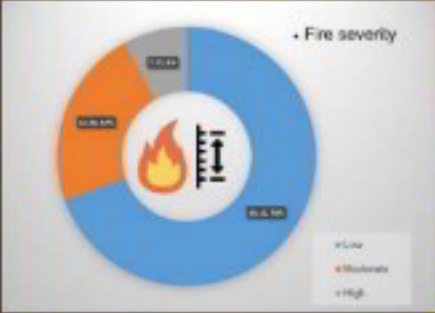
For this prescribed fire, we used fuel model 1, with a rangeland fuel charge of 2.0 tons.

The sampling method we used for this research was the line interception method, where we used 8 straight lines (50 meters each), with 1 point measured at each meter.

The meteorological factors and fire behavior variables were:

- Temperature: 19° C (average)
- Relative humidity: 31.8%
- Wind speed: 14.4 km/h
- HCFM 1 HRT: 6.5%
- Live fuel moisture: 200% MAX-100% MIN

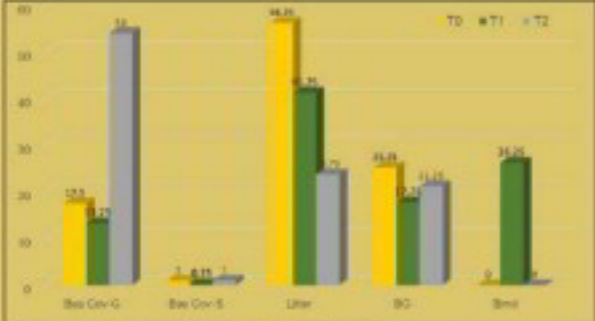
#### Results



• Fire severity

- Low
- Moderate
- High

According to the prescription, 5 hectares were planned for burning, but only 4.4 hectares were covered. Of that area, the actual burned area was 1.8 hectares, due to the climatic conditions present on the day of the burn. The pie chart illustrates the severity of the fire in those 1.8 hectares. Another factor to consider is that we had a rainfall episode the day before the prescribed fire.



• The prescribed fire took place on March 1st.

• We conducted three evaluations: Time 0 (T0, 22 days before the fire), Time 1 (T1, 25 days after the fire), and Time 2 (T2, 160 days after the fire).

• After all three evaluations, we observed an increase in basal grass cover, reaching 54% of the burned area.

#### Conclusion


Based on the results, we can conclude that regardless of the fire severity distribution across the area, there will always be a response reflected in the structure.

After increasing basal grass cover—due to factors such as the prescribed fire, rainfall, and climate conditions—the structure changed, improving the ecosystem for all types of species present on the ranch.


This part of the ranch would participate in multiple cycles, including the mineral cycle, carbon cycle, and water cycle.

With a well-managed grazing system, we can help maintain homeostasis in this ecosystem.

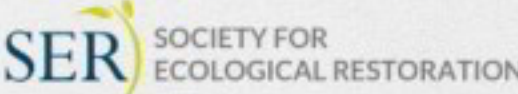
In summary, the research highlighted the potential benefits of using prescribed fire for restoring fire-dependent grasslands and supporting species like the Mexican prairie dog. Through careful management, fire can be an effective tool for enhancing biodiversity and ecosystem health.



IYRP NORTH AMERICA  
International Year of Rangelands and Pastoralists



2026



### 7.3 Anexos fotográficos







