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

Determinación De La Salud Del Pastizal Durante La Temporada Seca En El Rancho Los Ángeles, Coahuila, México.

Por:
LUZ MARÍA CARBAJAL FLORES

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener El Título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

DETERMINACIÓN DE LA SALUD DEL PASTIZAL DURANTE LA TEMPORADA SECA EN EL RANCHO LOS ANGELES COAHUILA MÉXICO

Por:

LUZ MARIA CARBAJAL FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité Asesor:

DR. JOSE JAVIER OCHOA ESPINOZA
Asesor Principal

DR. JOSE ANTONIO HERNANDEZ HERRERA
Coasesor

DR. PERPETUO ALVAREZ VAZQUEZ
Coasesor

M.C. PEDRO CARRILLO LOPEZ
Coordinador de la División de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Octubre 2026

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre de 2026

Declaración de No Plagio

Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2026

DECLARO QUE:

El autor quien es el responsable directo del trabajo de investigación titulado: "**Determinación de la salud del pastizal durante la temporada seca en el Rancho Los Ángeles, Coahuila, México**", 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 declaró que este trabajo es original.

LUZ MARÍA CARBAJAL FLORES

Pasante

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a **Dios**, quien es el centro de mi vida, por todas las maravillas que ha puesto en mi camino, por los aprendizajes y las situaciones que me han impulsado a ser mejor ser humano. Agradezco especialmente su misericordia, que me permite tener y apreciar todo aquello que quizás no merezco.

A **mis padres**, mi amor incondicional, les agradezco profundamente por darme la oportunidad de hacer todo aquello que ellos no tuvieron la posibilidad de realizar. Su sacrificio y amor han sido fundamentales para el cumplimiento de esta carrera.

Al **Dr. Javier Ochoa**, le extiendo mi gratitud por las horas de trabajo dedicadas y por los conocimientos que me proporcionó para la elaboración de este trabajo.

Al **Dr. José Antonio**, le expreso mi más sincero agradecimiento por su apoyo y paciencia durante la redacción de esta tesis. Su orientación me ayudó en la elaboración de esta investigación.

A mis queridos amigos **Juliana, Gabrie, David y Yarit**, les agradezco por su bonita amistad durante estos años. Su compañía ha hecho de esta etapa algo inolvidable.

A **Patricia Pérez**, le agradezco por todo el cariño que me brindó durante mi estancia en Saltillo y a su familia por el cobijo que me ofrecieron en su hogar. Su generosidad y afecto me han hecho sentir parte de su familia.

DEDICATORIA

A mi madre la **Sra. Florencia Flores Escamilla**, como un pequeño regalo por todo lo que me ha dado en esta vida, por ser quien me cobija a diario a pesar de la distancia y quien me permitió salir de mi zona de confort para conocer cosas nuevas de la vida. Valoro cada uno de los esfuerzos y sacrificios que hiciste para darme todo aquello que tú no tuviste y que quizá deseabas. Te amo

A mi padre el **Sr. Rutilo Carbajal Mendoza**, este logro es para ti papá, te lo dedico por todas las horas de trabajo que hiciste para poder ayudarme económicamente durante toda mi preparación académica. Has sido un hombre ejemplar tanto para mí como para mi mamá, recordando así la frase "La familia pequeña vive mejor".

A mi abuelo el **Sr. Felipe Flores Ramírez** Q.E.P.D sé que estarías muy orgullo de mí por haber estudiado “Raya la frontera”. Te extraño.

A mi perrito Quesito, te regalo este logro por la compañía que les diste a mis padres durante mi ausencia en estos años. Te quiero mucho enano.

ÍNIDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN…… 1

1.1. Justificación……. 2

1.2.Objetivos…… 3

1.2.1. Objetivo General……... 3

1.2.2. Objetivos Particulares…… 3

1.3.Hipótesis…… 3

II. REVISIÓN DE LITERATURA…… 4

2.1. Pastizales en México y Norteamérica…… 4

2.1.1. Distribución y descripción de los pastizales en México…… 4

2.1.2. Amenazas a los pastizales…… 5

2.2.Importancia de la evaluación ecosistémica……... 6

2.2.1. Tipos de evaluación ecosistémica……. 6

2.2.2. Sitios ecológicos…… 7

2.2.3. Salud del pastizal…… 7

2.3.Protocolo para la identificación de los indicadores de la salud del pastizal…… 8

2.3.1. Atributo de estabilidad del suelo/sitio…… 8

2.3.2. Atributo de funcionalidad hidrológica……... 9

2.3.3. Atributo de integridad biótica…… 9

2.4.Perrito de la pradera como componente esencial en el ecosistema pastizal…… 10

2.4.1. Taxonomía y estatus de conservación…… 10

2.4.2. Papel del perrito en la salud del pastizal…… 10

2.5.Antecedentes de investigación de pastizales en Rancho Los Ángeles…... 12

III. MATERIALES Y MÉTODOS…….. 14

3.1.Área de estudio……... 14

3.2.Clima……... 16

3.3.Vegetación……... 17

3.4.Hidrología…… 17

3.5.Geología…….. 19

3.6.Edafología……... 19
3.7.Selección de sitios ecológicos……. 20
3.8.Variables a evaluar…….. 21
3.8.1. Estabilidad del suelo……... 22
3.8.2. Integridad biótica…… 23
3.8.3. Indicadores comunes de ES-FH-IB……. 26
3.9.Análisis de la información……... 30
3.10. Análisis estadístico…….. 30
IV. RESULTADOS……... 31
4.1.Estabilidad del suelo…… 31
4.2.Integridad biótica……. 34
4.3.Indicadores comunes……... 40
V. DISCUSIÓN…… 43
VI. CONCLUSIÓN…… 46
VII. LITERATURA CITADA…… 47
VIII. ANEXOS……. 54

ÍNIDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción y superficie de la vegetación en el Rancho Los Ángeles de acuerdo a INEGI (2018)……. 18
Cuadro 2. Rango de clases para la evaluación de estabilidad del suelo……. 27
Cuadro 3. Clases de efervescencia y criterios de asignación ante la aplicación de reactivo para detectar carbonatos…… 29
Cuadro 4. Pruebas estadísticas aplicadas por indicador……. 31
Cuadro 5. Valores promedio y desviación estándar de los principales indicadores de ES en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el Rancho Los Ángeles……... 33
Cuadro 6. Dominancia de grupos funcionales basada en la riqueza de especies... 36
Cuadro 7. Porcentaje de mortandad de plantas…….. 36
Cuadro 8. Valores promedio y desviación estándar de los principales indicadores de IB en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el Rancho Los Ángeles……..……... 37
Cuadro 9. Porcentaje de ocurrencia y valor de salud del pastizal en el grupo funcional dominante de las hierbas, con expresión reproductiva específica en la temporada seca de 2023 en el Rancho Los Ángeles…… 39
Cuadro 10. Valores promedio y desviación estándar de los indicadores comunes que integran los tres atributos de la salud del pastizal en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el Rancho Los Ángeles…….. 42

ÍNIDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la República Mexicana y detalle de localización del área de estudio…….. 14
Figura 2. Polígono de Rancho Experimental Los Ángeles……. 15
Figura 3. División y ubicación de los potreros y principales tipos de vegetación en el Rancho Los Ángeles…… 15
Figura 4. Comportamiento quincenal de la sequía en el municipio de Saltillo, Coahuila de enero de 2021 a diciembre de 2023…….. 16
Figura 5. Mapa de los tipos de vegetación predominantes en el Rancho Los Ángeles……. 18
Figura 6. Mapa de cuerpos de agua y arroyos en el Rancho Los Ángeles……. 18
Figura 7. Localización general del acuífero Saltillo Sur……. 19
Figura 8. Mapa de material geológico en el Rancho Los Ángeles…….. 20
Figura 9. Mapa edafológico del Rancho Los Ángeles…… 20
Figura 10. Mapa de áreas de muestreo…… 21
Figura 11. Esquema de los sitios de evaluación de la salud del pastizal establecidos de manera permanente en Rancho Los Ángeles…….. 29
Figura 12. Comportamiento de cuatro indicadores relacionados a los atributos de ES y FH durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el Rancho Los Ángeles……. 31
Figura 13. Comportamiento de los indicadores 1,2,3 y 4 de ES y FH con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023 en el Rancho Los Ángeles……... 33
Figura 14. Comportamiento de los indicadores 5,6,7 y 10 de ES y FH con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023 en el Rancho Los Ángeles……... 33
Figura 15. Comportamiento de cuatro indicadores relacionados a los atributos de IB durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el Rancho Los Ángeles…….. 34

Figura 16. Comportamiento de los indicadores: 12 (grupos funcionales) y 13 (mortandad de plantas) con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023, en el Rancho Los Ángeles…….. 37
Figura 17. Comportamiento de los indicadores 14,15 y 16 con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023 en el Rancho Los Ángeles……. 37
Figura 18. Comportamiento del vigor reproductivo (17) en el grupo funcional dominante de las hierbas durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el Rancho Los Ángeles……... 39
Figura 19. Comportamiento de los indicadores comunes de la salud del pastizal durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el Rancho Los Ángeles…….. 40
Figura 20. Comportamiento de los indicadores comunes de la salud del pastizal durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el Rancho Los Ángeles…….. 42

RESUMEN

Los pastizales no solo sostienen la alimentación del ganado, sino también juegan un papel fundamental en la conservación del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y el mantenimiento de la biodiversidad. Evaluar y entender este ecosistema es crucial para desarrollar estrategias de manejo que promuevan su sostenibilidad y resiliencia frente a las perturbaciones ambientales. El presente trabajo de investigación se centra en la determinación de la salud del pastizal durante la temporada seca en el Rancho Los Ángeles, ubicado en Coahuila, México, además contribuye a la creciente necesidad de conservar y gestionar adecuadamente los pastizales, dada su importancia económica y ecológica. El objetivo principal fue evaluar los atributos de la salud del pastizal en sitios de referencia con la presencia y ausencia de colonias de perrito de la pradera, un componente esencial del ecosistema pastizal de esta región del País. Para ello, se establecieron sitios de referencia en el Rancho Los Ángeles y se compararon los atributos de estabilidad del suelo, funcionalidad hidrológica e integridad biótica en tres sitios con diferentes historiales de manejo. Los resultados obtenidos revelan que, de acuerdo con la escala de evaluación para la salud de los pastizales, el sitio potrero seis (P6) se encuentra en riesgo, presentando los porcentajes más altos en indicadores negativos como suelo desnudo y movimiento de mantillo, lo que indica vulnerabilidad a la erosión y disminución en la capacidad de retención de agua; en contraste, el sitio sin presencia de colonias de perrito (P19) fue determinado como saludable en términos de los indicadores de estabilidad del suelo, evidenciando una mejor capacidad para resistir perturbaciones; finalmente, el P19A (con colonias activas y bajo uso para pastoreo de ganado bovino) se encuentra en riesgo en cuanto a los indicadores de integridad biótica, mostrando una menor diversidad de especies vegetales. En conclusión, este estudio no solo contribuye al entendimiento de los factores que determinan la salud de los pastizales, sino que también proporciona datos cuantitativos y cualitativos cruciales para la toma de decisiones de manejo en los pastizales.

Palabras clave: Estabilidad del suelo, Integridad biótica, Perrito de la pradera, Salud del pastizal.

ABSTRACT

Rangelands not only support livestock and wildlife feeding but also play a fundamental role in soil conservation, water cycling balance, and maintenance of biodiversity. Assessing and understanding such ecosystem is crucial to developing management strategies that promote its sustainability and resilience against environmental disturbances. The present research work focuses on rangeland health evaluation during the dry season in Los Angeles Ranch, located in Coahuila, Mexico. Moreover, it contributes to the growing need for grassland conservation and suitable management, given its ecological and economic relevance. The main objective was to evaluate the rangeland health attributes in reference sites with and without the presence of prairie dog colonies, a key component of the grassland ecosystem. To achieve this, a set of reference sites was established in Los Angeles Ranch, and the attributes of soil stability, hydrological functionality, and biotic integrity were compared in three sites with different management backgrounds. According to the rangeland health scale, the results revealed that the site named pasture six (P6) is at risk, showing higher percentages in negative indicators such as bare ground, and litter movement, projecting vulnerability to erosion and a reduction in the capacity of water retention. In contrast, the site without prairie dog colonies (P19) was rated as healthy in terms of soil stability indicators, performing better in its capacity to endure disturbance. Finally, P19A (presence of active colonies and low livestock grazing) is at risk, considering the biotic integrity indicators, showing the lowest species diversity. In conclusion, this research not only contributes to the understanding of the determinant factors of rangeland health but also provides crucial quantitative and qualitative data for better management decisions in grasslands.

Key words: Biotic integrity, Prairie dog, Rangeland health, Soils stability.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de pastizales cubren aproximadamente 70% de la superficie total del planeta (Holechek *et al*., 2004), es el conjunto de vegetación donde las gramíneas constituyen las plantas predominantes y más representativas del ecosistema. Los pastizales representan un recurso importante para la alimentación del ganado doméstico que se encuentra en libre pastoreo, así como para diversas especies de fauna silvestre. Por esta razón, gran parte de las áreas ocupadas por este tipo de vegetación se destinan al pastoreo y aprovechamiento de los animales. (Rzedowski, 1978). En la mayoría de los casos, los pastizales naturales en México no alcanzan su máximo potencial debido a la falta de organización y técnicas adecuadas de manejo. Entre los principales factores que afectan la conservación de los pastizales se encuentran el pastoreo excesivo, la pérdida y división de su hábitat, así como la expansión de especies arbustivas (Torrella *et al.,* 2005). Estos problemas impiden la propagación de las gramíneas deseadas por los animales; además, contribuye a la reducción de la cobertura vegetal en el suelo, exponiéndose a los efectos negativos de la erosión (Chartier y Rostagno, 2006). Otro de los principales desafíos para los pastizales es la presencia recurrente de sequías, entendidas como fenómenos climáticos que ocasionan una disminución en la disponibilidad de agua por debajo de los niveles habituales (Organización Meteorológica Mundial; OMM, 2006). Por lo anterior, es fundamental abordar estos desafíos para promover un manejo sostenible de los pastizales naturales, garantizando un rendimiento y una preservación adecuada de los recursos naturales.

De acuerdo con Yamallel *et al. (*2014) la ganadería extensiva sufre de baja productividad en los pastizales y áreas de pastoreo (agostaderos) debido al inadecuado manejo de la capacidad de carga; por lo cual son abandonadas dando pie a la aparición de especies consideradas como invasoras e indeseables para los animales. Existen métodos para evaluar el estado de los pastizales, entre los cuales se encuentra el criterio de condición, nos permite determinar el estado actual de la comunidad vegetal de un área, considerando los efectos generados por las alteraciones y las prácticas de manejo implementadas. (Wilson y Tupper, 1982). La condición de los pastizales debe evaluarse mediante métodos

sencillos, económicos y consistentes, que permitan estimar la disponibilidad de forraje y la carga animal. Tradicionalmente, se determina comparando la composición y estructura de la vegetación bajo diferentes prácticas de manejo (Kunst *et al*., 2007).

Otro método de evaluación es la tendencia, según Pellant *et al*. (2005) consiste en analizar cómo ha cambiado la vegetación y el suelo con el paso del tiempo, comparando su estado actual con las condiciones anteriores y con su posible evolución hacia el clímax histórico. Para Ruyle y Dyess (2010), la tendencia se refiere a la dirección que presenta el cambio de una característica a través del tiempo, como consecuencia de las prácticas de manejo realizadas. Bonham (2013) citado por Cabrejo (2017) señala que, para determinar la tendencia de manera objetiva, es necesario realizar un monitoreo durante un periodo prolongado. Sin embargo, también existen métodos subjetivos que permiten estimarla en un momento determinado.

Al paso de los años han aparecido nuevos términos, el concepto de salud del pastizal fue introducido a mediados del siglo XX en América del Norte (Stevens *et al.,* 2004). Las evaluaciones actuales de la salud de los pastizales se basan en 17 indicadores organizados en tres categorías de función del ecosistema: 1) estabilidad del suelo y del sitio, 2) función hidrológica y 3) integridad de la comunidad biótica (Briske *et al.,* 2005). La evaluación cualitativa se ha introducido como una guía adecuada para que los administradores de pastizales evalúen los efectos de sus prácticas.

1.1 Justificación

La importancia de este trabajo radica en que todas las evaluaciones previas de pastizales en el rancho experimental Los Ángeles se han basado en el criterio de condición. Factores como el sobrepastoreo, la sequía y la erosión, inducidos por la acción humana y la naturaleza, han provocado una degradación del ecosistema del pastizal con el paso del tiempo. Por ello, es fundamental realizar una evaluación actualizada de la salud del pastizal que proporcione datos completos y representativos obtenidos en campo. Además, esta evaluación es técnicamente factible de realizar por cualquier persona capacitada en la metodología.

Adicionalmente el establecimiento de sitios referenciales permanentes, servirá como modelo técnico para las dependencias e instituciones de investigación en las zonas áridas de México, para conocer tendencias y establecer otros sitios referenciales en el estado de Coahuila y México con presencia de zacatales de composición y estructura similares.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar los atributos de la salud del pastizal en sitios de referencia con presencia y ausencia de colonias de perrito de la pradera, durante la temporada seca dentro de los ecosistemas de zacatal mediano abierto en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles.

1.2.2 Objetivos particulares

- Establecer sitios de referencia para la evaluación de la salud del pastizal que sean medibles a largo plazo.
- Comparar los atributos de estabilidad del suelo (ES), funcionalidad hidrológica (FH), e integridad biótica (IB), en tres sitios referenciales con diferentes historiales de manejo basado en intensidad de pastoreo y la presencia o ausencia de perrito de la pradera.
- Contar con una línea base con datos cuantitativos y referencias cualitativas de la salud del pastizal que permitan orientar la toma de decisiones de manejo.

1.3 Hipótesis

Los valores de los atributos de integridad biotica (IB) y estabilidad del suelo (ES) presenta una escala negativa en el potrero 6 en comparacion con los potreros 19 y 19A

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pastizales en México y Norteamérica

Los pastizales o zacatales se distribuyen por todos los continentes, desde el Ecuador hasta los polos y co-evolucionaron con los herbívoros que los habitan, estas vastas extensiones de vegetación representan los recursos alimenticios fundamentales a nivel global pues la humanidad ha dependido de ellos para su supervivencia desde que nuestros ancestros más antiguos se aventuraron en las extensas sabanas, dando inicio a un nuevo modo de vida (Stebbins, 1974). Según Pellant (2020) los pastizales son tierras en las que la vegetación autóctona (clímax o potencial natural) está conformada principalmente por gramíneas, plantas herbáceas y arbustos, y se maneja como un ecosistema natural capaz de proporcionar diversos productos y servicios ambientales, tales como actividades recreativas al aire libre, alimento para ganado, hábitat para fauna silvestre, agua limpia para consumo o agricultura, suministros alimenticios, plantas de uso medicinal entre otros.

La región de los pastizales centrales de Norteamérica se extiende desde el bosque caducifolio del Este de Estados Unidos hasta las Montañas Rocallosas al Oeste del mismo, y al norte desde los estados de Alberta y Saskatchewan en Canadá hasta los estados de Zacatecas y Aguascalientes, abarca una amplia variedad de condiciones climáticas con rangos de precipitación desde 260 hasta más de 1200 mm y la temperatura promedio anual con variaciones amplias (Sala *et al.,* 1988). Ecológica y económicamente los pastizales de Norteamérica constituyen sitios clave para la producción animal y para la vida silvestre.

2.1.1 Distribución y descripción de los pastizales en México

Los pastizales en México ocupan alrededor del 6% del territorio nacional, donde 162,789.09 km² son clasificados como potencial y 97,493.19 km² como actual, donde el 40.11% se ha perdido y un 38.92% está deteriorado (INEGI, 2017). A escala nacional, se calcula que entre la década de 1970 y el año 2000 se registró una disminución aproximada del 18 % en la superficie de pastizales naturales (Velázquez *et al.,* 2002). Esta situación afecta directamente tanto a los recursos naturales del país como a los bienes y servicios

que dependen de los pastizales, entre ellos la disponibilidad de agua superficial y subterránea, así como la conservación de la fauna silvestre (Hoth *et al*., 2011).

Según la guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación serie VI del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) indica que los pastizales en México se clasifican en tres tipos: pastizal natural, pastizal halófilo y pastizal gipsófilo. En México, los pastizales naturales se distribuyen principalmente a lo largo de la Sierra Madre Occidental, desde Sonora y Chihuahua hasta el noreste de Jalisco y algunas áreas de Guanajuato. En estas regiones son comunes las heladas anuales y, en las zonas elevadas de Chihuahua y Sonora, las nevadas. Las temperaturas pueden variar desde mínimas extremas de -20 °C hasta máximas cercanas a 45 °C durante los meses más cálidos. La precipitación anual oscila entre 300 y 600 mm, con un periodo seco que comprende de seis a nueve meses.

Los pastizales halófilos se distribuyen desde Chihuahua y Coahuila hasta regiones de Jalisco, Michoacán, el Valle de México, Puebla y Tlaxcala, además de algunas zonas de las planicies costeras del norte del país. Estos pastizales se desarrollan generalmente en suelos con un pH de entre 7 y 8.5 y presentan una precipitación media anual que oscila entre 200 y 600 mm (INEGI, 2017).

El pastizal gipsófilo es una comunidad vegetal dominada por gramíneas que se desarrolla principalmente en suelos con altas concentraciones de yeso. Se encuentra distribuido en la región árida oriental del Altiplano, desde Coahuila y el este de Chihuahua hasta San Luis Potosí. Estos suelos suelen presentar un pH cercano a 8 y bajos niveles de materia orgánica. Entre las especies que pueden encontrarse en este tipo de pastizal destaca *Bouteloua c.* (navajita yesosa) y *Sporobolus n.* (zacate de yeso) (INEGI, 2017).

2.1.2 Amenazas a los pastizales

Los pastizales de México han sufrido importantes transformaciones originadas principalmente al cambio de uso de suelo que se ha presentado desde la época precolombina, teniendo reducciones por su conversión a la agricultura en los últimos 50 años (Ibarra-Montoya *et al.,* 2011). Otra amenaza relevante es el uso excesivo de los pastizales, particularmente el sobrepastoreo. Cuando la carga animal supera la capacidad

del terreno, puede provocar el deterioro de la vegetación y la degradación del ecosistema, afectando el hábitat de otras especies, alterando las cadenas alimentarias y reduciendo la biodiversidad (Holechek *et al.*, 2004); la sequía es uno de los fenómenos meteorológicos extremos que afectan a los pastizales, presentándose condiciones secas aproximadamente en tres de cada cinco años. Puede ocurrir de manera estacional, anual o durante varios años consecutivos, con diferentes niveles de frecuencia y severidad. En estos ecosistemas, se considera sequía cuando un periodo prolongado registra precipitaciones inferiores al 75 % del promedio anual. Además de la disminución de la humedad del suelo, este fenómeno suele estar acompañado de baja humedad ambiental, temperaturas elevadas y vientos intensos, condiciones que limitan el crecimiento de la vegetación (González *et al.,* 2010). Los procesos relacionados con la pérdida de cobertura vegetal se deben en gran medida al cambio de uso de suelo, degradación, e intensificación en el uso o extracción de recursos naturales (Lambin, 1997).

2.2 Importancia de la evaluación ecosistémica

2.2.1 Tipos de evaluación ecosistémica

La evaluación ecosistémica se relaciona con los bienes y servicios que los sistemas naturales proporcionan y que pueden influir de manera directa o indirecta en la sociedad. Estos servicios tienen principalmente un origen ecológico, derivado de los procesos y funciones de los ecosistemas que permiten su disponibilidad, y otro de carácter sociocultural, en el cual las personas generan una demanda y desarrollan formas de aprovechar dichos recursos para satisfacer sus necesidades y las de su comunidad (Cerda *et al.,* 2017).

Así pues, la evaluación con enfoque socio-cultural incluye la percepción social de las comunidades o usuarios acerca de factores como la capacidad productiva de las tierras (Ravhuhali *et al.*, 2020), los marcos conceptuales de indicadores antropogénicos para la toma de decisiones (Oba, 2012), e inclusive el desarrollo de arquetipos dependientes de las aspiraciones de los productores o poseedores de la tierra, aunado a la dependencia de la tecnología y del dinero para lograr sostenibilidad en el largo plazo (Hartel *et al*., 2018).

Algunos de los indicadores ecológicos más utilizados en las evaluaciones de ecosistemas son los índices de biodiversidad y la riqueza de especies. Sin embargo, estos indicadores

no siempre reflejan la capacidad de una comunidad natural para recuperarse de un disturbio (Chillo *et al.,* 2011), otros análisis ecológicos pueden ser de alta complejidad y requiere de un nivel de conocimiento especializado de tecnologías de vanguardia, lo que hacen al modelo de evaluación de difícil aplicación en el día a día del productor o manejador de pastizales (Rajabov, 2009); es por ello que la propuesta de la evaluación basada en el estado de salud de la comunidad vegetal planteada por Pyke *et al.* (2002) y de la capacidad especifica de un sitio para conservar los recursos y procesos que se derivan del suelo y que además sea de una aplicabilidad técnica dinámica, un modelo de evaluación que debe ser más difundido y mejor entendido, por los administradores y por los dueños de las tierras.

2.2.2 Sitio ecológico

Un sitio ecológico es un tipo distintivo de suelo o paisaje con características físicas y climatológicas específicas que lo diferencian de otros tipos de tierra. Esta distinción se basa en su capacidad para producir una clase y cantidad particulares de vegetación y otros recursos relacionados con su uso actual (Grupo de Trabajo Sobre Unidad y Conceptos, 1995; Brown, 2010)**.**

El uso del concepto de sitio ecológico se ha incrementado en los últimos 20 años y se han desarrollado elementos complementarios para su aplicación práctica, como lo son la propia descripción de los sitios ecológicos mediante una metodología estándar, y el desarrollo de modelos de estado y transición, pero sobre todo la existencia, procesamiento y manejo de información ecológica y espacial que permita tomar decisiones acerca del uso del sitio en los diferentes plazos de tiempo y de espacio (Heller *et al*., 2022; Williams *et al.*, 2016) en los que el o los tomadores de decisiones se vean involucrados.

2.2.3 Salud del pastizal

La salud de los pastizales se relaciona con el nivel de equilibrio y conservación que presentan elementos como el suelo, la vegetación, el agua y el aire, así como con el adecuado funcionamiento de los procesos ecológicos del ecosistema (Pyke *et al.,* 2002). Para Adams *et al* (2009) la salud del pastizal se refiere a la capacidad de estos ecosistemas para cumplir funciones esenciales. Además de considerar la condición de la vegetación, incorpora indicadores relacionados con los procesos ecológicos, como la integridad

biológica, el funcionamiento hidrológico y la estabilidad del suelo, los cuales se comparan con un estándar establecido en la descripción ecológica del sitio.

2.3 Protocolo para la interpretación de los indicadores de la salud del pastizal

El protocolo comúnmente utilizado para evaluar los pastizales en Estados Unidos de América es la Interpretación de Indicadores de la Salud de los Pastizales (IIRH), por sus siglas en inglés (Pellant *et al.* 2005; Pyke 2002), donde se consideran 17 indicadores para calificar 3 atributos de la salud de los pastizales. Los atributos clasificados como parte de las evaluaciones son: la estabilidad del suelo y del sitio (ES), la funcionalidad hidrológica (FH) y la integridad biótica (IB) que se describen a continuación:

2.3.1 Atributo de Estabilidad del suelo/sitio

Es la capacidad de un área para evitar la pérdida de nutrientes y materia orgánica del suelo causada por el viento o el agua, así como para recuperar esta capacidad después de haber sido afectada (Pellant *et al*., 2005; Pyke 2002). Printz *et al*. (2014) mencionan que el atributo de estabilidad del suelo está relacionado con numerosos indicadores de la salud del pastizal, estableciendo así cuatro principios básicos: el primero consiste en utilizar la diversidad de las plantas para aumentar la diversidad del suelo, el segundo en manejar los suelos alterándolos lo menos posible, el tercero mantener el crecimiento de las plantas durante todo el año para nutrir el suelo y el cuarto, mantener el suelo lo más cubierto posible (Karlen *et al.,* 1997). La pérdida o degradación de la superficie del suelo, la resistencia de la superficie a la erosión y la capa de compactación pueden mejorarse aplicando el segundo principio en el campo.

Otra alternativa que se podría implementar para regenerar la estabilidad del suelo es el uso de hongos micorrízicos arbusculares, ya que el micelio producido de forma externa atrapa y enlaza partículas (González *et al.,* 2004). Mehta y sus colaboradores (1960) destacan la significativa contribución de los microorganismos, los cuales desempeñan un papel crucial en la síntesis de polisacáridos y otros materiales de aspecto pegajoso, que son resistentes a la disolución en agua, proporcionando así estabilidad al suelo a lo largo de un extenso período de tiempo.

2.3.2 Atributo de Funcionalidad hidrológica

Es la capacidad de un área para capturar, almacenar y liberar de manera segura el agua de lluvia, escorrentía y deshielo. También implica la resistencia ante una disminución y la capacidad de recuperarla. Williams *et al.* (2016) subrayan que uno de los principales problemas de los pastizales es la expansión de arbustos y especies leñosas, que favorece la ocurrencia de incendios y aumenta la escorrentía y la erosión del suelo. Como consecuencia, disminuyen la infiltración del agua y la recarga de los acuíferos. El escurrimiento superficial puede generarse principalmente de dos formas: cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo o cuando este se encuentra saturado y ya no puede absorber más agua (Dijkema *et al.,* 2018); por consiguiente, los autores sugieren que una comprensión más profunda de los procesos hidrológicos y de erosión serviría como una herramienta poderosa para mitigar la pérdida de agua y suelo,

2.3.3 Atributo de Integridad biótica

Es la capacidad de la comunidad biótica para favorecer los procesos ecológicos dentro de los límites naturales de variabilidad esperados en un sitio, así como adaptarse a la disminución de estos procesos cuando se producen cambios o alteraciones. Esta comunidad abarca una amplia gama de organismos, que incluyen plantas (tanto vasculares como no vasculares), animales, insectos y microorganismos presentes en la superficie del suelo como en el subsuelo. Schmitter (2006) explica que para medir la integridad biótica de un ecosistema se tienen que considerar aspectos importantes del sitio como la estructura, composición, funciones y riqueza, con el fin de determinar si existen especies que pudieran invadir el sitio.

En un estudio realizado en el estado de Zacatecas para evaluar la salud de los pastizales, se encontró una afectación considerable en el atributo de integridad biótica (IB). Los indicadores relacionados con la resistencia y pérdida de la superficie del suelo, así como la compactación, los grupos funcionales y estructurales, la mortalidad de plantas, la cantidad de mantillo, la producción anual, la presencia de especies invasoras y el vigor reproductivo, presentaron valores bajos. Esto fue originado por el sobrepastoreo presente en todos los terrenos evaluados, lo cual resulta en una disminución de la cobertura vegetal

y afecta negativamente a las especies de plantas más preferidas o palatables para el ganado que pasta libremente en estas áreas (Echavarría *et al.,* 2015).

2.4 Perrito de la pradera como componente esencial en el ecosistema pastizal

2.4.1 Taxonomía y estatus de conservación

De acuerdo a Ceballos y Pacheco (2001) el perrito de la pradera cola blanca (*Cynomys mexicanus)* es un roedor diurno que pertenece a la familia *Sciuridae*, especie fundamental para las interacciones entre organismos dentro del ecosistema de las praderas. Se considera endémica del Altiplano mexicano y presenta una distribución limitada a los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Esta especie es característica de los pastizales bajos con presencia de pastos y hierbas anuales, aunque también habita valles y zonas intermontanas. Viven en grupos llamados colonias y pueden llegar a ocupar áreas desde una hectárea, hasta más de 5,000 hectáreas. La alimentación de estos roedores consta principalmente de hojas, tallos y raíces de pastos, hierbas y brotes de arbustos.

Este mamífero es endémico de México y se encuentra catalogada como una especie en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). La Comisión Nacional Forestal ha impulsado la conservación del hábitat de *C. mexicanus* mediante programas de pago por servicios ambientales. Estas iniciativas buscan fomentar entre la población acciones orientadas a la protección del perrito de las praderas, especie que además representa una fuente potencial de alimento para el águila real (Pineda-Pérez *et al.,* 2018).

2.4.2 Papel del perrito en la salud del pastizal

Es considerada una especie clave para la conservación de su hábitat, proporcionan una mejor oxigenación en el suelo y aumentan la recarga de los mantos acuíferos. Sus heces aportan nitrógeno, beneficia la incorporación de la materia orgánica al suelo, aumenta la disponibilidad de alimento y proporciona una mayor calidad de forraje. Además, crea un hábitat adecuado para distintas especies como las aves y polinizadores. Forman parte de la cadena trófica teniendo al coyote y al águila real como sus principales depredadores (Ochoa, 2021).

La adaptación del perrito de la pradera con su habitad le ha dado una estrecha relación con el pastizal, resultando en una dependencia mutua para su supervivencia, donde los pastizales proporcionan las condiciones óptimas para el establecimiento de sus colonias, también constituyen una parte crucial de la dieta del perrito. A su vez, este desempeña un papel vital en la dinámica y conservación de los pastizales (López, 2016)

De acuerdo con Koford (1961) sobre la relación del perrito de la pradera con las plantas y el suelo, explica que las actividades realizadas por los perritos en los pastizales ocurren generalmente en suelos con una textura que varía de fina a media. Las actividades tienen un impacto notable, contribuyendo al aporte de materia orgánica al suelo a través de sus excreciones y restos de cadáveres. Los montículos resultantes de estas excavaciones conservan la humedad, lo que propicia el crecimiento de vegetación. Además, la creación de agujeros profundos facilita la aeración del suelo y la infiltración del agua; otra actividad importante se lleva a cabo cuando despojan a los arbustos de sus ramas y brotes, contribuyen a mantener la vegetación a niveles bajos, lo que beneficia a otros animales de menor tamaño, como el conejo de las llanuras.

La presencia del perrito de las praderas es fundamental para el funcionamiento del ecosistema, ya que promueven el crecimiento de pastos nativos y regulan la proliferación de especies arbustivas invasoras. Además, sirven como fuente de alimento para diversas especies, lo que contribuye a fomentar la biodiversidad tanto vegetal como animal en el entorno (Ceballos *et al.,* 1999). Considerando que la ganadería es la actividad económica compatible con la presencia del perrito llanero mexicano. Zaragoza *et al.* (2022) recomiendan implementar la división del pastizal del Llano La Soledad en potreros, pues ayudará a controlar el pastoreo y regular la intensidad del consumo de forraje en la zona.

La actividad agrícola ha seguido una tendencia de crecimiento desordenado, lo que ha generado una condición deficiente en el zacatal y ha fragmentado el hábitat de la fauna. Esta situación podría desencadenar un desequilibrio en el ecosistema que haría extremadamente difícil la supervivencia del perrito llanero mexicano (Hernández *et al.,* 2012). El *C. mexicanus,* es una especie que ha habitado los ambientes semidesérticos de forma nativa durante miles de años, por lo tanto, su eventual desaparición tendría

consecuencias significativas en los pastizales, afectando la superficie de pastizales gipsófilos y propiciando cambios en las asociaciones vegetales, así como la invasión de otras especies por el desplazamiento de material vegetal, facilitado por diversos medios, incluyendo el tránsito del ganado vacuno (González, 2011).

2.5 Antecedentes de investigación de pastizales en Rancho Los Ángeles

La investigación en esta unidad experimental ha sido rica y diversa, recientemente Enríquez (2022) se realizó un estudio en el Rancho Los Ángeles para analizar el efecto del pastoreo sobre la estructura y composición de especies del pastizal. Se identificaron 78 especies pertenecientes a 61 géneros y 22 familias. Las familias con mayor representación fueron Poaceae (51.2 %), Acanthaceae (11.5 %) y Asteraceae (9.3 %), que en conjunto constituyeron el 72 % de la flora registrada. En otro estudio enfocado en los efectos de una especie de gramínea, Juanes-Márquez (2023) estudió dos áreas agrícolas abandonadas dentro del mismo rancho, de 40 y 60 ha, la finalidad de esta investigación fue realizar una caracterización del banco de semillas posterior al establecimiento del zacate picoso (*Amelichloa clandestina*), la densidad de las especies encontradas en el zacatal, presentan diferencias significativas, los resultados mostraron que la mayor densidad se presentó en *A. clandestina* seguida de *Euphorbia serrula* y las especies como *Dyssodia papposa*, *Erodium cicutarium*, *Eruca vesicaria*, *Pseudognaphalium roseum* y *Sonchus oleraceus*, presentaron densidades bajas.

Se encontró un estudio llevado a cabo por Pineda-Pérez *et al.,* (2018) sobre la población del perrito de la pradera en Coahuila, México, donde arrojó resultados significativos en cuanto a la distribución de colonias en el predio. Según los hallazgos, los lugares con mayor concentración de colonias fueron el ejido El Cercado y el Rancho Los Ángeles, cada uno albergando un total de seis colonias. En otro estudio con el propósito de evaluar la composición de especies de plantas y la producción de material vegetativo del pastizal habitado por perrito llanero en comparación con áreas sin presencia de esta especie, los resultados revelaron que no existía una diferencia significativa en la producción de materia seca entre las dos áreas evaluadas (Velázquez-Flores, 2020).

Paz-Nolasco (2023) realizó una investigación sobre la influencia del perrito en la estructura y diversidad del zacatal, los resultados revelaron que la presencia de los

roedores condujo a valores altos en el índice de diversidad, mientras que en ausencia de estos se observaron valores bajos.

A partir del antecedente expuesto, se puede afirmar que la investigación en el rancho Los Ángeles ha incluido históricamente el estudio de la relación entre la comunidad vegetal y la biodiversidad, así como la importancia de valorar y conservar al perrito de la pradera, una especie en riesgo según la normatividad mexicana. Sin embargo, es importante destacar que los factores abióticos han sido abordados solo de manera parcial. El presente trabajo de investigación propone una solución técnico-científica que busca llenar este vacío de información.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El Rancho Experimental Ganadero “Los Ángeles” se ubica al sureste de Coahuila, aproximadamente a 48 km al sur de Saltillo. Se encuentra entre las coordenadas 25° 04’ y 25° 08’ latitud Norte y 100° 58’ y 101° 03’ longitud Oeste, colindando con los ejidos Carneros, Tanque de Emergencia, La Hedionda y El Cercado. Su acceso es por la carretera Saltillo–Concepción del Oro, Zacatecas, tomando un camino hacia el oriente en el kilómetro 318.5. La altitud del rancho oscila entre 2,100 y 2,400 m s. n. m. y cuenta con una superficie aproximada de 6,704 ha, dividida en 20 áreas para su manejo. El territorio está conformado principalmente por valles (55 %), seguido de sierra (35 %) y lomeríos (10 %) (Medina, 1972) (Figura 3).



Figura 1. Mapa de la República Mexicana y detalle de localización del área de estudio

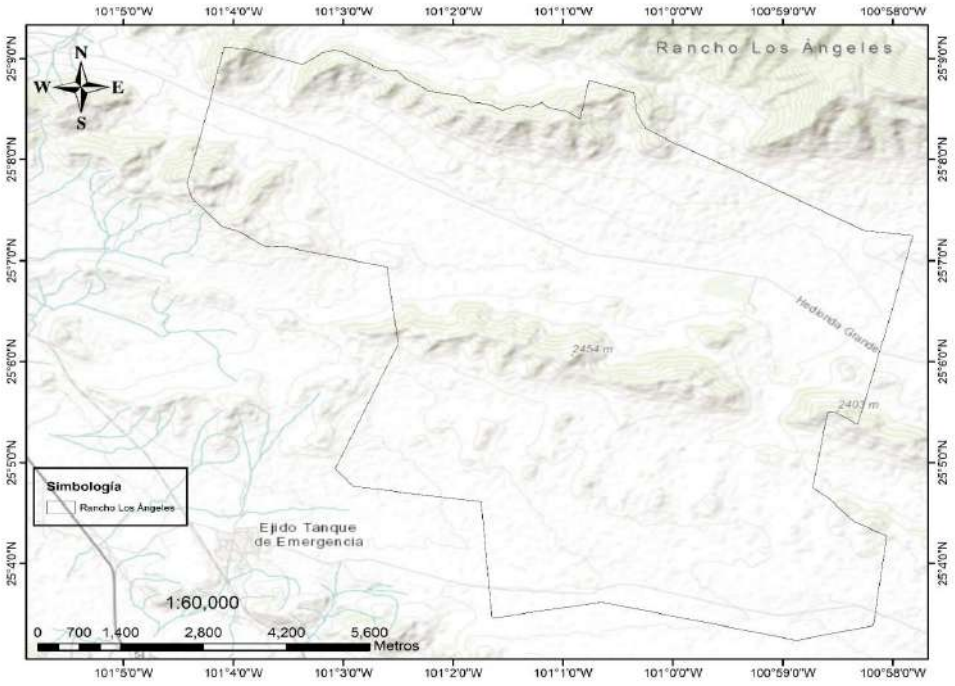


Figura 2. Polígono del Rancho Experimental Los Ángeles

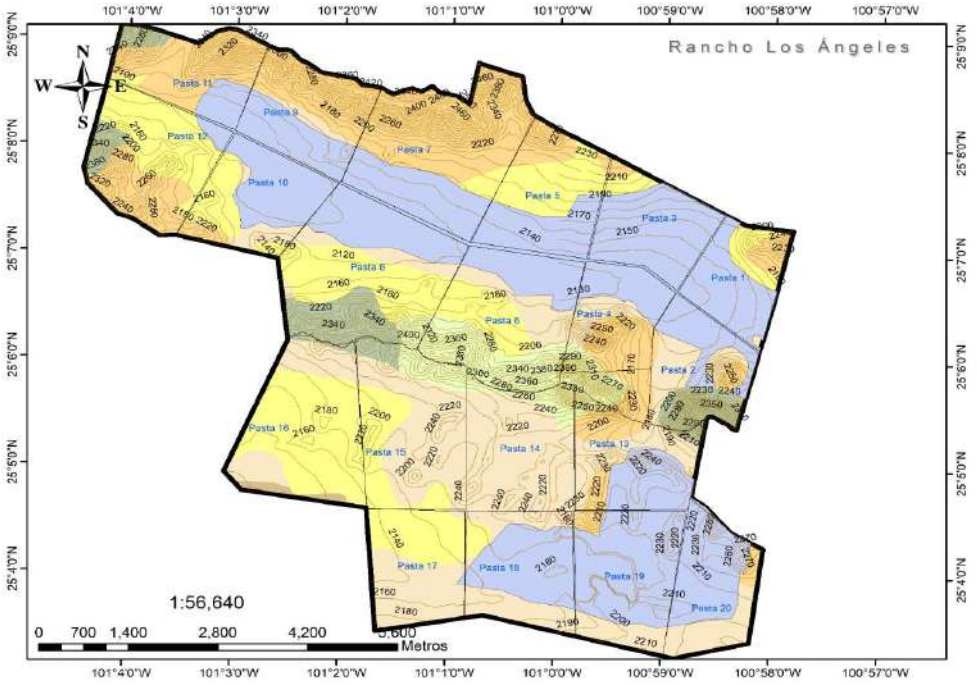


Figura 3. División y ubicación de los potreros y principales tipos de vegetación en el Rancho Los Ángeles

3.2 Clima

El clima del lugar, de acuerdo con Peel *et al.* (2007), es B (árido), W (desierto), h (caliente), con una temperatura media anual de 18 a 22º C respectivamente, una precipitación anual promedio de alrededor de 350 mm de lluvia, siendo septiembre el mes más lluvioso. No obstante, la sequía constituye uno de los principales factores que condicionan el aprovechamiento de las áreas de pastoreo y su capacidad de producción. En la Figura 4 se presentan datos registrados en el monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional (2023) entre 2021 y 2023, donde la sequía se clasifica en cuatro niveles de acuerdo a la duración del fenómeno y hasta la presentación de un nuevo evento de lluvia, la clasificación es: SS, sin sequia; D0, anormalmente seco; D1, sequia moderada; D2, sequía severa y D3, sequía extrema., El periodo que presentó sequía extrema (D3) ocurrió entre los meses de marzo y mayo del 2021, período en el que los datos presentan frecuentemente para esta área una sequía moderada (D1), esta situación ha provocado daños en cultivos y pastizales, además de incrementar el riesgo de incendios y generar una disminución en los niveles de agua de ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos. Durante 2023 predominó una sequía severa (D2), que ocasionó pérdidas en cultivos y pastos, escasez de agua, mayor riesgo de incendios y restricciones en su uso.

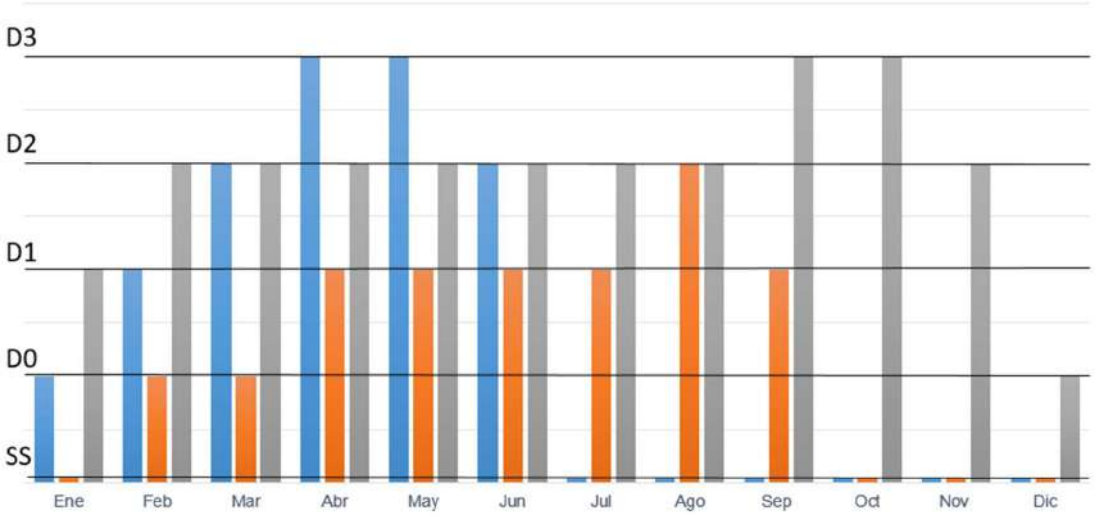


Figura 4. Comportamiento quincenal de la sequía en el municipio de Saltillo Coahuila de enero de 2021 a diciembre de 2023

Fuente: Creación propia con datos del monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional

3.3 Vegetación

Según el INEGI (2018), el Rancho Los Ángeles cuenta con seis tipos de vegetación, siendo el pastizal inducido el de mayor superficie (Cuadro 1; Figura 5), este pastizal es el equivalente al reconocido como pastizal o zacatal mediano abierto de clasificaciones anteriores y sistemas productivos por Comisión Técnica Consultiva para la determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 2002); después del pastizal el matorral desértico en sus dos clasificaciones concentra aproximadamente el 47% de la superficie.

Cuadro 1. Descripción y superficie de la vegetación en el Rancho Los Ángeles de acuerdo a INEGI (2018)

Descripción	***Clave***	***Superficie en hectáreas***	***Superficie en porcentaje***
Agricultura de temporal anual	TA	25.20	0.34 %
Bosque de pino	BP	306.52	4.23 %
Matorral desértico micrófilo	MDM	1,828.85	25.26 %
Matorral desértico rosetófilo	MDR	1,599.35	22.09 %
Pastizal inducido	PI	3,116.81	43.06 %
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	VSa/BP	361.29	4.99 %

3.4 Hidrología

El área de estudio sólo presenta corrientes intermitentes, las cuales se forman en la época de mayor precipitación (Figura 6). El nivel freático es de aproximadamente 190 metros de profundidad (Vásquez, 1973, citado por Elizondo, 1997). El área de estudio forma parte del acuífero Saltillo Sur (figura 7), identificado con la clave 0521 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA (2020). Este acuífero colinda al norte con La Paila, General Cepeda-Sauceda, Cañón del Derramadero y Región Manzanera–Zapalinamé; al oeste con Región Lagunera, todos ubicados en Coahuila. Hacia el este limita con los acuíferos Navidad Potosí-Raíces y El Peñuelo-San José el Palmar, en Nuevo León, mientras que al sur colinda con Cedros, Guadalupe Garzarón y El Salvador, pertenecientes a Zacatecas.

La administración del acuífero corresponde al Organismo de Cuencas Centrales del Norte, bajo la jurisdicción territorial de la Dirección Local de la CONAGUA en Coahuila.

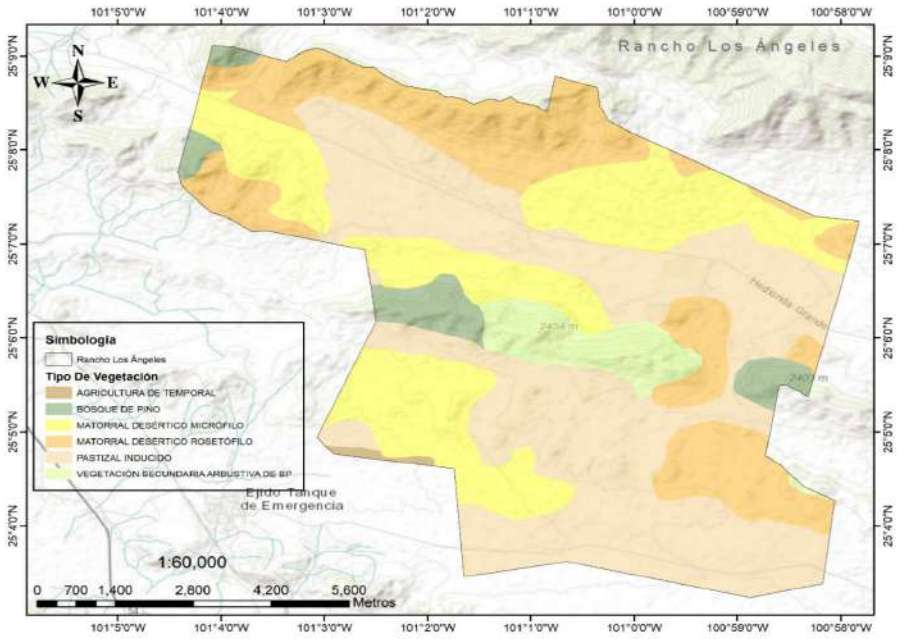


Figura 5. Mapa de los tipos de vegetación predominantes en el Rancho Los Ángeles



Figura 6. Mapa con cuerpos de agua y arroyos en el Rancho Los Ángeles

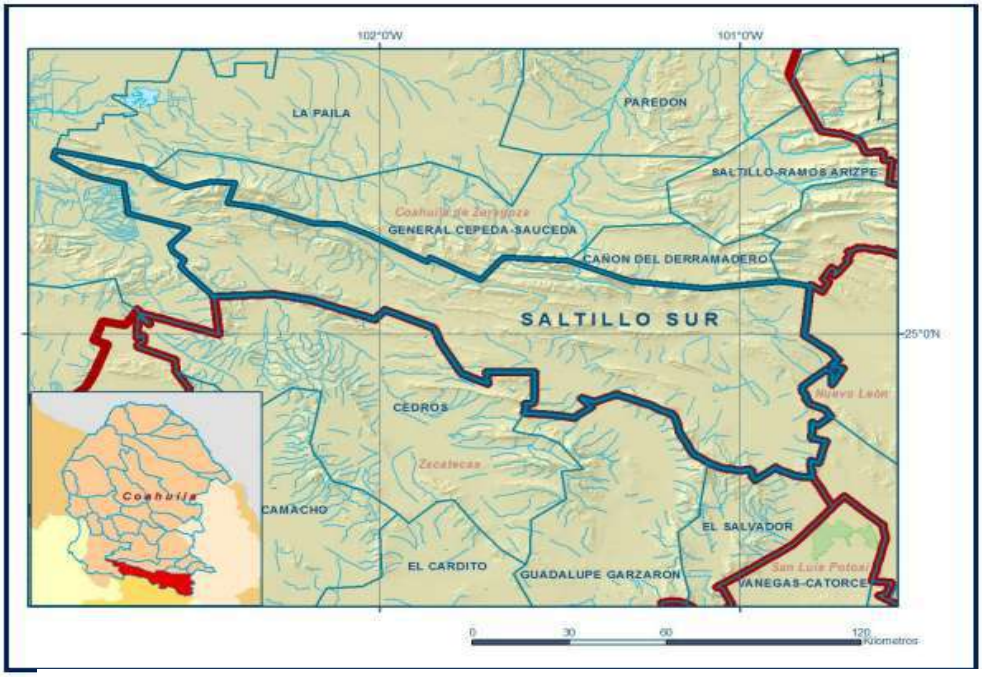


Figura 7. Localización general del acuífero Saltillo Sur

Fuente: CONAGUA 2020

3.5 Geología

Según los datos geológicos vectoriales de la Serie I del INEGI (1988), se observa la presencia de material Aluvial en las áreas bajas, donde el pastizal y las colonias de perritos predominan (Figura 8). En las zonas montañosas y elevadas, se encuentra roca caliza. El conglomerado solo se encuentra en los cuatro últimos potreros (17, 18, 19 y 20), mientras que la Lutita está presente exclusivamente en el potrero 2.

3.6 Edafología

Según la carta edafológica Agua Nueva G14-C43 del INEGI (1976), se identifica predominantemente el tipo de suelo Phaeozem, como se muestra en la Figura 9. Los Leptosoles, por otro lado, son característicos de las áreas montañosas y de mayor pendiente. En cuanto al Kastanozem, generalmente son zonas planas con presencia de áreas con pastizales. Es importante destacar que estos suelos proporcionan información valiosa sobre las condiciones edafológicas del rancho, lo que influye directamente en la vegetación y el uso potencial de la tierra.

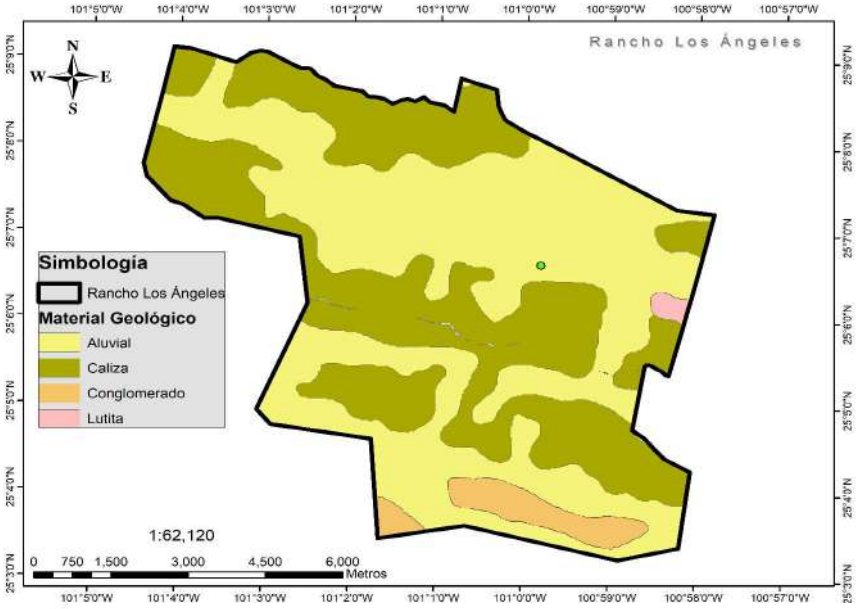


Figura 8. Mapa de material geológico en el Rancho Los Ángeles

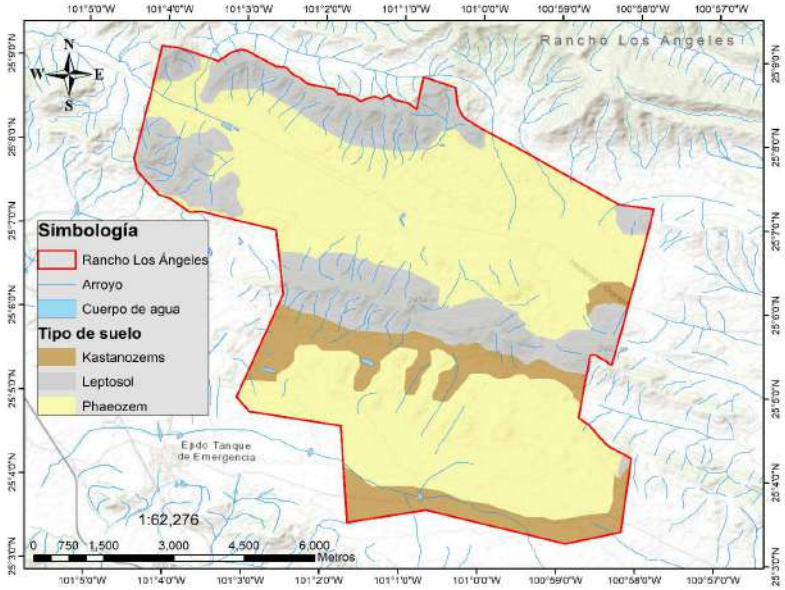


Figura 9. Mapa edafológico del Rancho Los Ángeles

3.7 Selección de sitios ecológicos

Durante el mes de mayo de 2023, se realizaron visitas de reconocimiento para identificar las áreas de muestreo. Se definieron tres áreas (Figura 10) con las siguientes características:

1) Presencia de colonias activas de perrito de la pradera, e historial de pastoreo continuo reciente. Potrero 6 (P6).

2) Presencia de colonias activas de perrito de la pradera, e historial de bajo uso por pastoreo reciente. Potrero 19 (P19A).

3) Ausencia de colonias activas de perrito de la pradera, e historial de bajo uso por pastoreo reciente. Potrero 19 (P19).

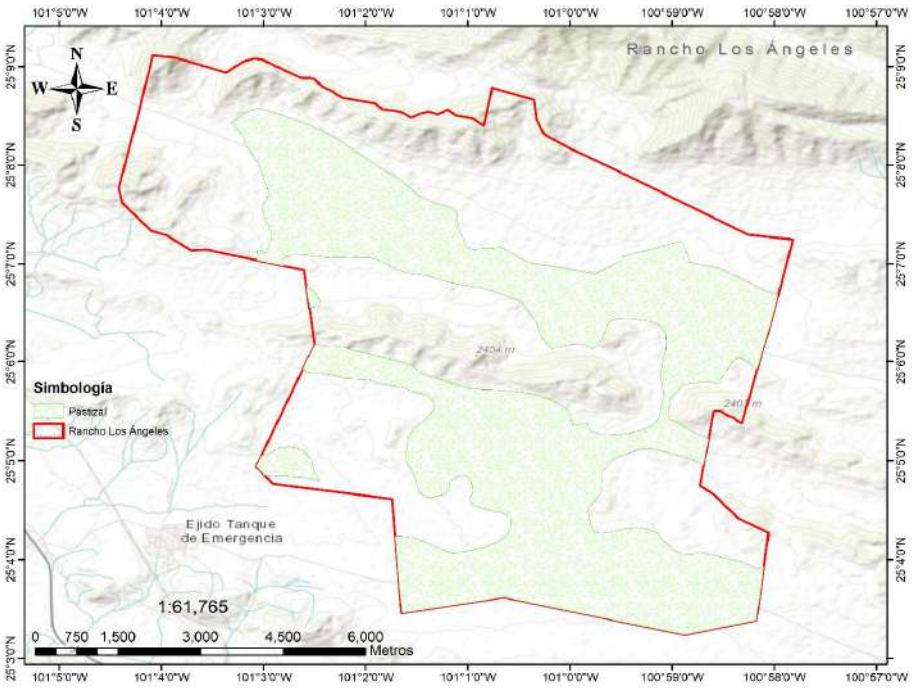


Figura 10. Mapa de áreas de muestreo

Se establecieron los sitios ecológicos de muestreo antes de la presencia de las primeras lluvias, para tener un escenario base de la condición más crítica del pastizal con el historial de sequía previamente descrito, se consultó con el encargado técnico del rancho para conocer el historial de pastoreo en cada uno de las áreas de muestreo seleccionadas.

3.8 Variables a evaluar

En los sitios de muestreo antes descritos, se evaluaron los tres atributos de la salud del pastizal descritos por Pellant *et al*. (2020) en la versión 5 de la referencia técnica para la interpretación de los indicadores de salud de los Pastizales: Estabilidad del Suelo (ES), Funcionalidad Hidrológica (FH), e Integridad Biótica (IB).

De acuerdo a las condiciones climáticas prevalecientes durante la evaluación de campo (inicios de verano) se evaluaron sólo los indicadores que se expresaron de manera visible respetando los parámetros y ajustando de acuerdo a las particularidades del escenario evaluado. No se evaluaron con métodos cuantitativos los indicadores de canalillos (i1) y cárcavas (i5) que tienen ambos influencia en los atributos de ES y FH. El efecto de la composición y distribución de la comunidad de plantas relativa a la infiltración (i10) que influye sobre la FH, en los tres casos la condicionante de expresión del indicador es la presencia de lluvias y/o escurrimientos, y muy específicamente para la presencia de cárcavas, el porcentaje de pendiente y la posición del sitio con respecto a la altura de la cuenca es determinante y los sitios de evaluación se ubicaron en lugares con pendiente igual o menor al 5%.

En cada sitio se llevó a cabo una evaluación cualitativa, de cada uno de los 17 indicadores se le asignó una calificación basada en diversas categorías: N-S, nula o ligera presencia del indicador; S-M, presencia ligera o moderada de características afines al indicador; M, presencia moderada; M-E, presencia de moderada a extrema y E, expresión extrema o total de alguna característica afín al indicador, se cuantificó la categoría del sito de acuerdo con Pellant *et al. (*2020). Posteriormente para cada indicador, se seleccionaron métodos cuantitativos que permitieran realizar comparaciones estadísticas, y se desarrolló un diseño de muestreo de campo para la recolección de datos (Figura 10).

3.8.1 Estabilidad del suelo.

Para comprender mejor el atributo de ES se puede utilizar 10 indicadores, en este caso se excluyeron de la evaluación cuantitativa los canalillos, cárcavas y erosión eólica. Se identificaron tres indicadores comunes para los tres atributos descritos en la sección 3.8.3.

A continuación, se describen cinco indicadores que influyen tanto en ES como en FH.

1. *Patrones de flujo o escurrimiento* (i2; ES-FH). -El objetivo es identificar si la capacidad de infiltración aumenta o disminuye en función del movimiento del agua. Para ello, se estableció un transecto en banda de 50 metros de largo por 4 metros de ancho, donde se cuantificó el número de patrones de flujo identificables, y se midieron el largo y ancho de cada uno. A partir de esta submuestra, se estimó el porcentaje del área realmente

ocupado por los patrones de flujo. Como parámetro de comparación, se utilizó el porcentaje de la superficie del transecto con presencia de un patrón de flujo.

2. *Pedestales y/o terracetas* (i3; ES-FH). -Los pedestales indican el movimiento del suelo causado por el agua y/o el viento, mientras que las terracetas señalan el movimiento del suelo provocado por el agua. La evaluación se realizó mediante un transecto de línea de puntos de 50 metros, con registros tomados cada metro. Se registró el número de pedestales tocados por la varilla en cada punto. El parámetro de comparación utilizado fue el porcentaje de ocurrencia de pedestales o terracetas en cada transecto.

3. *Suelo desnudo* (i4; ES-FH). –Se evaluó la susceptibilidad del sitio a la erosión acelerada por viento o agua mediante un transecto de línea de puntos de 50 metros, con registros tomados cada metro. En cada punto, se registró el número de espacios completamente desprovistos de vegetación o mantillo que fueron tocados por la varilla. El parámetro de comparación utilizado fue el porcentaje de suelo desnudo en cada transecto.

4. *Erosión eólica y deposición de suelo* (i6; ES). – Se contaron el número de áreas con aparente deposición de suelo dentro del transecto de 200 m^2 y se cuantificó la superficie comparada con el área total de evaluación. Sin embargo, no se registró ningún caso de este tipo de erosión en el área de estudio. A pesar de esto, el indicador no fue excluido.

5. *Movimiento de mantillo* (i7; ES). – Es un indicador de la presencia de erosión hídrica o eólica. Se evaluó mediante un transecto de línea de puntos de 50 metros, con registros tomados cada metro, donde se registró el número de espacios con presencia de mantillo que fueron tocados por la varilla en un punto determinado. El parámetro de comparación es el porcentaje de ocurrencia de mantillo por cada transecto.

3.8.2 Integridad biótica.

Hay nueve indicadores relacionados con el atributo de IB, tres de los cuales son comunes y se describirán en la siguiente sección. Los siguientes indicadores se describen según su evaluación en campo:

1. *Grupos funcionales/estructurales* (i12; IB). – En este indicador el número de especies (riqueza total) dentro de los grupos funcionales tienen un efecto positivo significativo en los procesos del ecosistema. Para su evaluación primero se describió el número de grupos funcionales en cada sitio y se resaltaron lo grupos dominantes y sub dominantes, por ser una evaluación de establecimiento de los sitios no se registraron grupos esperados, esto se llevará a cabo en subsecuentes evaluaciones una vez que se conozca el comportamiento esperado del sitio ecológico.

Adicionalmente, se elaboró una lista de las especies dentro del transecto, donde se registró su forma biológica, se asignó un nivel del vigor, clasificado en: alto (A), medio (M) y bajo (B) de acuerdo a características físicas de la planta como color, presencia de crecimientos nuevos o por lo contrario tallos senescentes, también se registró si expresaba algún estado reproductivo, como la formación de flores o frutos; en resumen como parámetros comparativos para este indicador se cuenta con los valores de riqueza y diversidad por grupo funcional, tendencia del estado de vigor (valor proporcional) y porcentaje de especies o del grupo funcional que presentaban características reproductivas.

2. *Plantas o partes de platas muertas y/o decadentes* (i13; IB). – Si las plantas muertas aumentan, se espera que la integridad disminuya y aumenten las especies indeseables (por ejemplo, malezas o plantas invasoras). La proporción de partes de plantas vivas, muertas y decadentes se evaluó utilizando un cuadrante de 40 x 40 centímetros con 10 sub muestras por cada transecto, las sub muestras fueron ubicadas cada 4 metros en lados intercalados a lo largo de la cinta de 50 metros establecida para evaluaciones.

Para la comparación numérica entre escenarios se generó información del porcentaje estimado de plantas muertas en el total del cuadrante y se cuantificaron por grupo funcional dominante y subdominante el número de plantas muertas, decadentes y vivas, en algunos casos con superficies desprovistas por vegetación se determinó que el registró fue cero.

3. *Cobertura de mantillo* (i14; IB-FH). – La presencia de mantillo mejora la función hidrológica al interceptar las gotas de lluvia, promover la infiltración y reducir la evapotranspiración y la erosión. Se evaluó mediante un transecto de 50 metros, con

registros cada metro, donde se registró el número de áreas con mantillo tocadas por la varilla en cada punto. El parámetro de comparación es el porcentaje de mantillo en cada transecto.

4. *Producción anual* (i15; IB). – Representa la energía capturada por las plantas a través del proceso de fotosíntesis, dadas las condiciones climáticas recientes. Dentro de cada transecto se colectaron cinco muestras de material vegetal o biomasa aérea en un cuadrante de 40 x 40 centímetros, donde se estimó y se registró el porcentaje de material vegetal colectado, posteriormente se ingresó a la estufa de secado a 60° C por 24 horas y se determinó la materia seca en kilogramos por hectárea, una vez que se aplicó el ajuste por el porcentaje colectado. Se obtuvo el promedio de materia seca por hectárea, por sitio ecológico como parámetro de comparación entre escenarios.

5. *Presencia de especies invasoras* (i16; IB). – Las plantas invasoras pueden afectar la composición y abundancia de especies de un ecosistema, la dinámica de la comunidad y los procesos por los cuales la energía y los nutrientes se mueven a través del ecosistema; de acuerdo con Pellant *et al.* (2020) este indicador se pueden incluir también especies nativas con comportamiento invasivo, en algunos casos la gobernadora (*Larrea tridentata*), o el garbancillo (*Astragalus spp*) o plantas deseables que sean introducidas como especies forrajeras o cultivos agrícolas, sin embargo para este estudio se trató de documentar cualquier planta invasora, en cualquier proporción. Las plantas invasoras se cuantificaron mediante la línea de intercepción de puntos y registrando la presencia dentro de la superficie del transecto. El parámetro que se obtuvo para comparación fue el porcentaje promedio de cobertura de especies invasoras

6. *Vigor con énfasis en la capacidad reproductiva de las plantas* (i17; IB). – Es componente clave para garantizar que, cuando se presenten condiciones climáticas favorables, pueda ocurrir un equilibrio en las comunidades de plantas. Este indicador se refleja principalmente en el tamaño de la plata y sus partes en relación con su edad y el entorno local, se deben considerar solo las plantas vivas. Como se indicó para i12, se registró dentro del formato de inventario de especies vegetales si estas expresaban algún estado reproductivo, como la formación de flores o frutos, diferenciándolas por forma

biológica y grupo funcional. Como parámetros comparativos para este indicador se cuenta con el porcentaje de especies que presentaban características reproductivas por sitio ecológico y grupo funcional.

3.8.3 Indicadores comunes de ES-FH-IB

Son tres los indicadores que tienen influencia en los tres atributos de la salud del pastizal. A continuación, se describe los métodos de evaluación:

1. Superficie del suelo resistente a la erosión (i8). - Indicador positivo de la resistencia de la superficie del suelo a la erosión, se evalúa cuantitativamente utilizando la prueba de estabilidad del suelo o método de Herrick *et al.* (2017). Dentro de cada se tomaron 18 muestras de suelo, en los casos en los que el suelo era poco estable, se utilizó un atomizador para humedecer el área de la muestra sin compactarla y de manera cuidadosa se resguardó para su posterior análisis, considerando así seis clases (Cuadro 2), definidas de acuerdo al tiempo de disolución en agua y el porcentaje de la muestra que permanece integrado después de un lapso de tiempo de inmersión estandarizado.

Cuadro 2. Rango de clases para la evaluación de estabilidad del suelo

Clase	Criterio	Nivel de estabilidad
1	50% de la integridad estructural se pierde en los primeros 5 segundos; <10% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión, o suelo demasiado inestable para medir ya que se desmorona antes de colocarlo en el agua.	Muy bajo
2	50% de la integridad estructural se pierde entre los primeros 5-30 segundos; <10% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión	Bajo
3	50% de la integridad estructural se pierde entre 30-300 segundos después de la inmersión; <10% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión	Regular-Baja
4	10-25% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión	Regular-Media
5	25-75% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión	Regular-Alta
6	75-100% del suelo permanece después de 5 ciclos de inmersión	Estable

Fuente: Tomado de Herrick *et al* (2017).

2. *Degradación del suelo* (i9). – Se establecen dos tipos de degradación una física y otra química. La degradación física se refiere a la perdida de volumen del suelo sobre todo en el horizonte superficial, este indicador no se evalúo en este trabajo, en el caso de la degradación química se refiere a la modificación (pérdida o ganancia) de algún atributo relacionado a la fertilidad del suelo, para tal efecto se estimó de manera cualitativa la proporción de carbonatos, lo cual nos permite inferir de manera práctica la estructura, si existe bloqueo de algunos nutrientes y la actividad biológica, entre otros atributos, además lo carbonatos reaccionan a los ácidos, produciendo burbujas que representan el desprendimiento de dióxido de carbono (Ovalle *et al*., 2023), donde el grado de la reacción se asume como proporcional al contenido de dióxido de carbono, por lo cual de manera complementaria se estimó el valor de efervescencia de acuerdo a los criterios preestablecidos por Pellant *et al.* (2020) y la nota técnica No. 5-2004 del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos de América (NRCS, 2004; Cuadro 3), considerando también el tiempo de la reacción y la molaridad de la solución reactiva, la cual fue de 3M, en 30 gramos de muestra de suelo tomada a una profundidad de entre 10 y 15 centímetros; se asignó un valor cuantitativo al código de efervescencia proporcional a la potencia de efervescencia para su posterior análisis.

Cuadro 3. Clases de efervescencia y criterios de asignación ante la aplicación de reactivo para detectar carbonatos

Código	Valor	Clase	Criterio
NE	1	No hay efervescencia	No se detectan burbujas; el proceso es lento
VF	2	Muy ligera efervescencia	Se observan pocas burbujas; el proceso es lento
SL	3	Ligera efervescencia	Burbujas claramente observables; tiempo medio entre 30 y 40 segundos
SE	4	Fuerte efervescencia	Burbujas espumosas se observan desde la parte profunda de la muestra; tiempo medio entre 30 y 40 segundos y se mantiene
V	5	Muy fuerte efervescencia	Se forma espuma espesa rápidamente; proceso casi inmediato

Fuente: creación propia con referencias de NRCS (2004) y Pellant *et al.* (2020)

3. *Capa de compactación* (i11). – Indica las restricciones en la infiltración de agua, el crecimiento de plantas y sus raíces y de manera indirecta la actividad en el ciclo de nutrientes. Para esto se realizaron tres excavaciones por cada transecto para medir la profundidad de las raíces principales y el máximo alcance visible de raíces adventicias. Se obtuvo el valor promedio para cada uno de los tres sitios de muestreo referenciales planteados en el experimento. En la Figura 11 se representa el diseño de los sitios de muestreo.

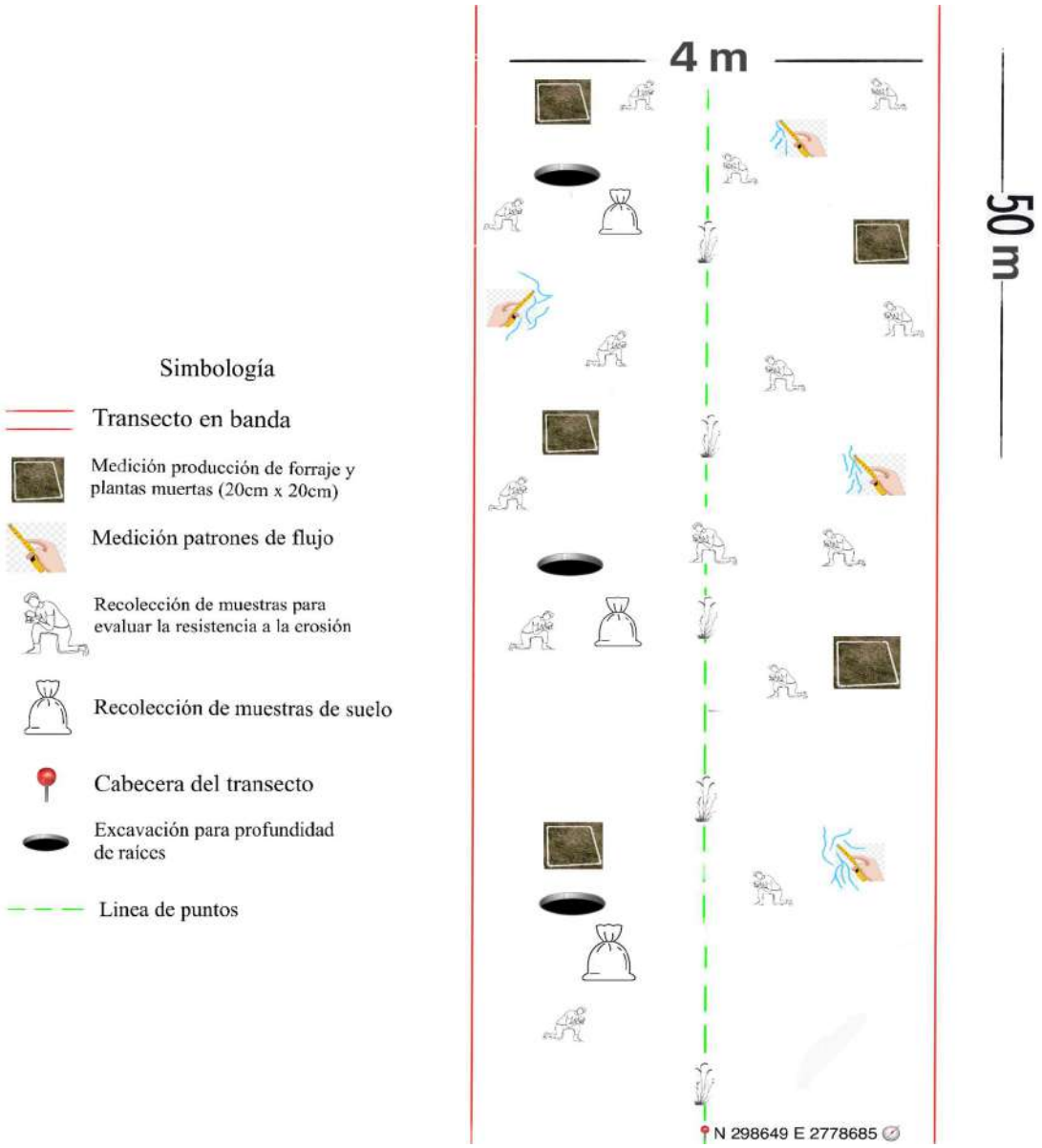


Figura 11. Esquema de los sitios de evaluación de la salud del pastizal establecidos de manera permanente en rancho Los Ángeles

3.9 Análisis de la información

Se realizaron los siguientes procesos:

a) Estandarización de criterios. - Debido a que el principio fundamental de la metodología de Pellat *et al*. (2020) se basa en apreciaciones cuantitativas derivadas de la experiencia de la persona que evalúa, se estableció una escala donde cada valor promedio evaluado cuantitativamente se pondero un valor de frecuencia (entre cero y uno) equivalente al valor promedio calculado del indicador.

3.10 Análisis estadístico

Para evaluar la distribución de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se verificó mediante la prueba de Levene. Cuando se cumplieron ambos supuestos, se realizó un ANOVA de una vía con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, seguido de la prueba de Tukey para identificar diferencias entre grupos. Cuando no se cumplió el supuesto de normalidad, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, complementada con comparaciones post-hoc entre los tratamientos. Los indicadores y las pruebas estadísticas empleadas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Pruebas estadísticas aplicadas por indicador

Indicador	Prueba	Indicador	Prueba
Canalillos	No se presentaron	Elongación raíz principal	ANOVA/Tukey
Patrones de escurrimiento	T-student	Elongación raíz adventicia	ANOVA/Tukey
Pedestales	ANOVA/Tukey	Grupos funcionales	Descriptivo
Suelo desnudo	ANOVA/Tukey	Mortandad total	KW/Contrastes
Cárcavas	No se presentaron	Mortandad GF dominante	ANOVA/Tukey
Erosión eólica	No se presentaron	Mortandad GF sub-dominante	ANOVA/Tukey
Movimiento de mantillo	KW/Contrastes	Cobertura de mantillo	ANOVA/Tukey
Resistencia a la erosión	Descriptivo	Producción anual	KW/Contrastes
Degradación del suelo	KW/Contrastes	Plantas invasoras	No se presentaron
Distribución-Infiltración	No se presentaron	Vigor reproductivo	Descriptivo

GF: grupo funcional; KW. Kruskall-Wallis

IV. RESULTADOS

4.1 Estabilidad del suelo

Se presentan los resultados obtenidos de la información cuantitativa de los tres sitios ecológicos evaluados (P6, P19 y P19A) para cuatro de los ocho indicadores que integran el atributo de ES ya que los indicadores 1, 5, 6 y 10 no se presentaron para la época seca y son los que representan el desempeño del atributo de FH.

Como se puede apreciar (Figura 12), el valor del i4 es mayor en el P6 donde existe un pastoreo continuo y presencia de perrito, este es uno de los indicadores de mayor relevancia para los tres sitios muestreados. Por otro lado, el movimiento de mantillo (i7) muestra igualmente un valor mayor en el P6 ya que uno de los transectos de este sitio estaba cerca de un área de drenaje natural, por lo tanto, se registró mayor arrastre de materia orgánica, como un resultado efecto de un aumento ligero en la pendiente; guardando la misma tendencia en el P6 se registró una mayor ocurrencia de patrones de escurrimiento, es decir el agua corre con menos obstáculos y rápidamente dejando marcas aun estando en una temporada de ausencia de lluvias, finalmente i3, la mayor expresión fue en P19, donde no hay presencia de perrito de la pradera.

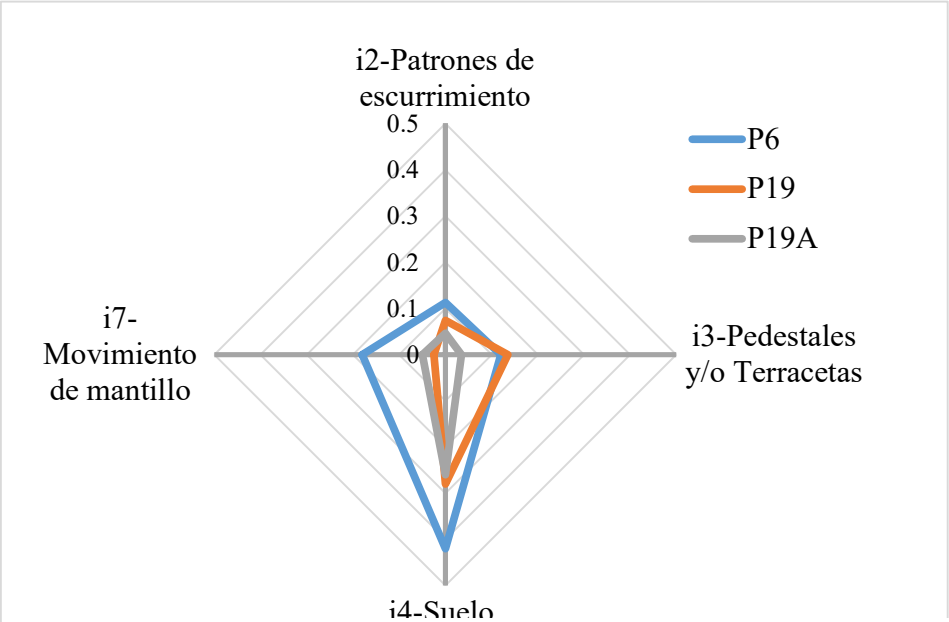


Figura 12. Comportamiento de cuatro indicadores relacionados a los atributos de ES y FH durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el rancho Los Ángeles

En general, durante la temporada seca, la mayoría de los valores no mostraron diferencias significativas (ver Cuadro 5). Sin embargo, es notable que el sitio ecológico P6 presentó un porcentaje de suelo desnudo considerablemente mayor, siendo esta diferencia significativa en comparación con P19A. A pesar de que P19A también es una colonia activa de perrito de la pradera, su cobertura vegetal es más mayor favorecido por su menor uso para pastoreo del ganado bovino.

Cuadro 5. Valores promedio y desviación estándar de los principales indicadores de ES en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

Indicador	Unidad de medida	P6	P19	P19 A
i 2	% de la superficie	11.3 (6.9)[a]	7.4(5.42)[a]	4.6 (2.5)[a]
i 3		6.0 (1.63) [a]	7.5 (5.9) [a]	3.5 (2.5) [a]
i 4		35.0 (14.0) [a,b]	26.0 (4.0) [a]	12.0 (1.6) [a,c]
i 7		9.0 (12.9) [a]	0.5 (1.0) [a]	1.0 (1.1) [a]

Literales iguales expresan que no existe diferencia significativa (P <0.05)

En términos cualitativos, se observa (Figura 13 y 14) que para los indicadores 1 y 2 todos los sitios evaluados varían de nulo a ligero (N-S), este comportamiento sugiere que, en general, los indicadores mencionados no están en un nivel de riesgo importante para la salud del pastizal. Sin embargo, es importante destacar que el i3 muestra una escala moderada (M) en el P6 y P19, mientras que el i4 muestra una escala de ligero a moderado (S-M) para P19 y P19A.

Si se tienen en cuenta los indicadores que no se cuantificaron, pero fueron evaluados cualitativamente, se observa que la escala de nulo a moderado (N-S) es predominante en los indicadores 5, 6, 7 y 10 para dos de los sitios muestreados. Sin embargo, como caso particular, solo el indicador de movimiento de mantillo muestra una escala de ligera a moderada (S-M) para el sitio P6.

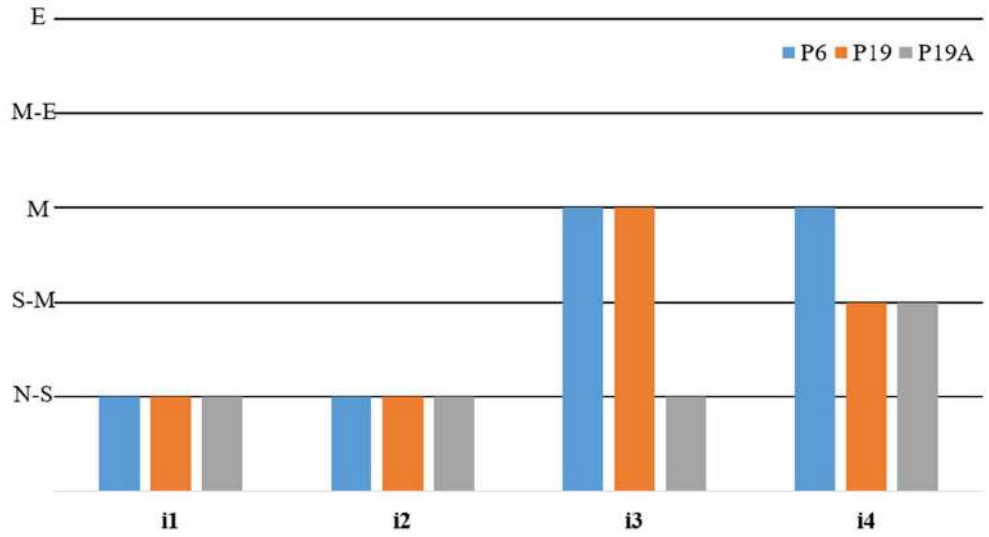


Figura 13. Comportamiento de los indicadores 1, 2, 3 y 4 de ES y FH con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

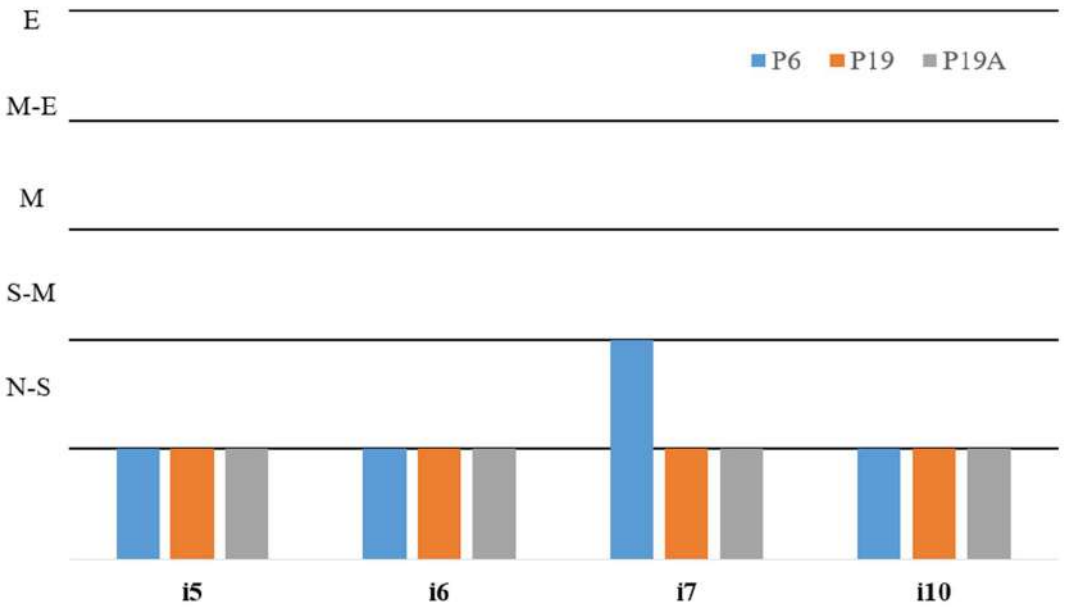


Figura 14. Comportamiento de los indicadores 5, 6, 7 y 10 de ES y FH con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

4.2 Integridad biótica

Para IB se evaluaron seis indicadores (12, 13, 14, 15, 16 y 17), y el indicador de especies invasoras (i16) no se presentó registros, lo que indica ausencia de especies invasoras. Los tres sitios ecológicos muestran un comportamiento similar para i12 (Figura 15), determinado mediante la riqueza total de especies presentes en cada sitio de muestreo (Cuadro 6). Este es el primer estudio de este tipo realizado en el rancho, se considerará para futuras investigaciones. Esto permitirá determinar la presencia o ausencia del grupo funcional esperado. Se identificaron tres grupos funcionales, clasificados según su riqueza como: hierbas como el dominante, zacates como el sub dominante de primer nivel y arbustos como el subdominante de segundo nivel. La mortandad de plantas (i13), se expresó tomando en cuenta tres resultados: el primero corresponde al porcentaje de mortalidad total en los 40 cuadrantes evaluados por sitio de muestreo; el segundo permite conocer la mortalidad del grupo funcional dominante, que en los tres sitios corresponde a las hierbas, y el tercero representa la mortalidad del grupo funcional subdominante (Cuadro 7). En general para el atributo de IB el polígono más abierto en la Figura 15 es para P19, donde no hay población de ejemplares del género *Cynomys*, tampoco hay pastoreo frecuente, en contraste P6, no expandió tanto el área del polígono en la gráfica de telaraña, lo que quiere indicar, que, a pesar de las adversidades climáticas por la época de evaluación, los valores de mortandad no fueron extremas.

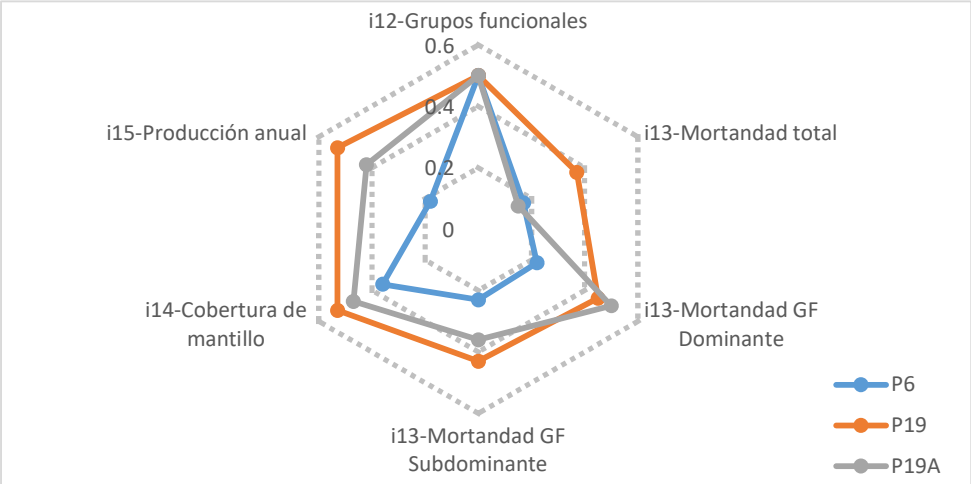


Figura 15. Comportamiento de cuatro indicadores relacionados a los atributos de IB durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el rancho Los Ángeles

Cuadro 6. Dominancia de grupos funcionales basada en la riqueza de especies

Sitio Ecol	**Dominante**			**Subdominante 1**			**Subdominante 2**		
	GF	Riqueza	%	GF	Riqueza	%	GF	Riqueza	%
P6	Hierbas	19	67.86	Zacates	6	21.43	Arbustos	3	10.71
P19	Hierbas	21	52.50	Zacates	11	27.50	Arbustos	8	20.00
P19A	Hierbas	15	57.69	Zacates	9	34.62	Arbustos	2	7.69

GF: Grupo funcional

Cuadro 7. Porcentaje (%) de mortandad de plantas

Sitio Ecol	**Dominante (Hierbas)**			**Subdominante (Zacates)**			Mortandad Total
	M	D	V	M	D	V	
P6	19.8	26.73	53.46	23	68.53	8.42	17.77
P19	45.00	0.00	55.00	43.79	39.21	17.00	37.20
P19A	50.61	1.23	48.14	36.68	63.31	0.00	15.62

M: muertas; D: decadentes; V: vivas

El indicador i15 alcanzó su valor más alto en el P19 (ver Cuadro 8). Durante el muestreo de campo, se registraron valores bajos de biomasa, menores a 100 kg/MS/Ha, así como valores altos estimados en hasta tres toneladas. En general, los sitios con presencia de perrito de la pradera mostraron una menor producción de biomasa. Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de la presencia de pastoreo frecuente incluso en P19A, la producción de materia seca no mostró diferencias significativas con respecto al escenario con perrito y pastoreo frecuente. En cuanto a la cobertura de mantillo (indicador i14), se observó que el sitio P19A mostró el mayor porcentaje.

Cuadro 8. Valores promedio y desviación estándar de los principales indicadores de IB en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

Indicador	Unidad de medida	P6	P19	P19 A
i 12	Riqueza de especies	28	40	26
i 13 T	Porcentaje de la muestra (%)	17.8 (23.8)[a]	25.6 (34.2) [a]	15.6 (24.2) [a]
i 13 H		19.2 (13.9) [a]	48.3 (22.5) [a]	51.3 (23.5) [a]
i 13 Z		22.9 (14.3) [a]	50.8 (33.3) [a]	37.9 (25.1) [a]
i 14	Porcentaje de la superficie (%)	28.5 (5.9) [b]	47.5 (8.7) [a]	51.5 (8.4) [a,c]
i 15	Kg/MS/Ha	546.2 (434.06) [a]	1603.8 (2111.7) [a,c]	1267.1 (1159.5) [b,c]

Literales iguales expresan que no existe diferencia significativa (P <0.05)
H: hierbas; Z: zacates

Los sitios ecológicos 19 y 19A muestran un comportamiento similar dentro de la escala cualitativa para las plantas muertas del grupo funcional dominante y subdominante (i13), con valores de moderados a extremos (M-E) (ver Figura 16). El valor del indicador i12 se describe como moderado. Es importante señalar que estas primeras evaluaciones sirven como línea base para futuras mediciones.

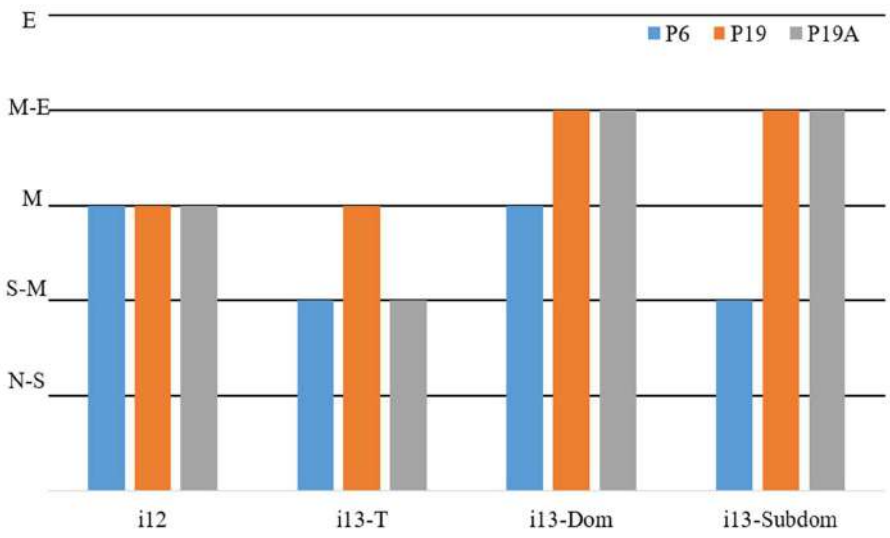


Figura 16. Comportamiento de los indicadores: 12 (grupos funcionales) y 13 (mortandad de plantas) con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

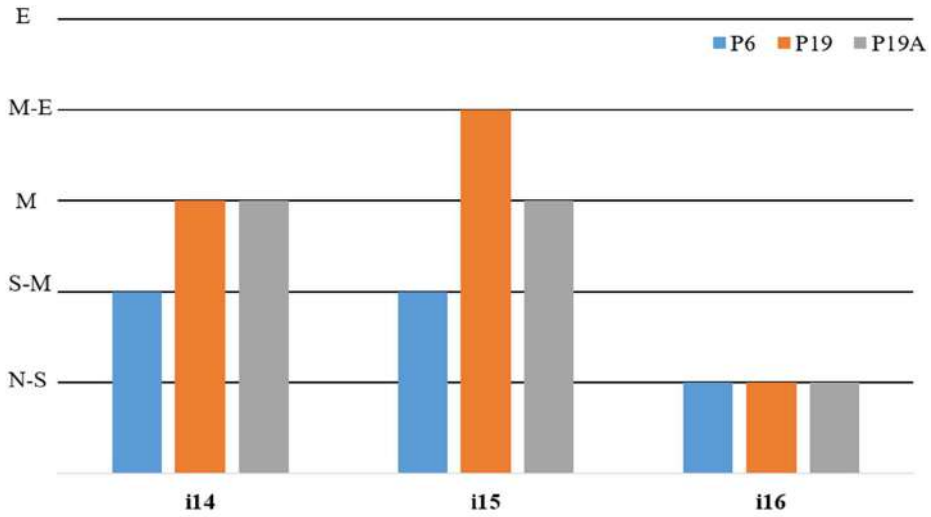


Figura 17. Comportamiento de los indicadores 14, 15 y 16 con respecto a la escala cualitativa de la salud del pastizal en la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

El vigor reproductivo (i17) se analizó de manera independiente debido a su complejidad. Para este indicador, se consideró la descripción del listado de plantas evaluadas en campo, donde se registró si la planta se encontraba en estado vegetativo o había producido flores o frutos en el momento de la evaluación, que coincidió con la época de sequía. Este análisis se presenta según el grupo funcional dominante, que fueron las hierbas (ver Cuadro 9). En el sitio ecológico P6, el valor fue extremo, con un 31.5% de los registros mostrando vigor bajo y estado vegetativo. En contraste, en el P19, el 42.4% de las hierbas presentaron un vigor alto, a pesar de estar en estado vegetativo. Es importante destacar que este último escenario carece de colonias, lo que sugiere un tipo de influencia diferente.

Cuadro 9. Porcentaje de ocurrencia y valor de salud del pastizal en el grupo funcional dominante de las hierbas, con expresión reproductiva específica en la temporada seca de 2023 en el rancho Los Ángeles

Sitio Ecol	**N-S** (Vigor Alto + Fruto o Flor)	**S-M** (Vigor Alto + Vegetativo)	**M** (Vigor Medio + Flor)	**M-E** (Vigor Medio + Vegetativo)	**E** (Vigor bajo + Vegetativo)	Total
P6	28.95	7.89	5.26	26.32	31.58	100
P19	21.21	42.42	3.03	9.09	24.24	100
P19A	27.59	27.59	0.00	17.24	27.59	100

Al observar la Figura 18, se aprecia que el grupo funcional dominante (hierbas) con el vigor reproductivo más bajo se encontró en el P6. Este sitio se caracteriza por la presencia de colonias activas de perrito de la pradera y un historial de pastoreo continuo reciente. En contraste, los otros dos sitios ecológicos (P19 y P19A) muestran un vigor reproductivo alto, tendiendo hacia S-M.

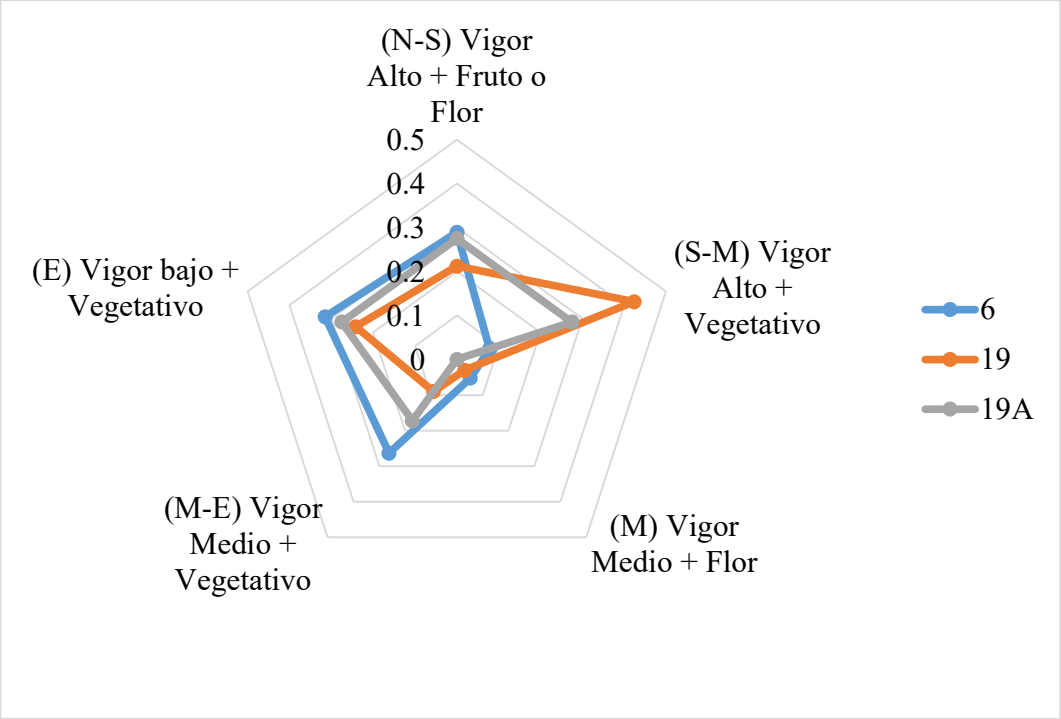


Figura 18. Comportamiento del vigor reproductivo (i17) en el grupo funcional dominante de las hierbas durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el rancho Los Ángeles

4.3 Indicadores comunes

Los tres indicadores que proyectan los tres atributos a través de su evaluación son la resistencia a la erosión (i8), la degradación química del suelo a través de la presencia de carbonatos (i9) y la capa de compactación (i11) que se expresa a través del crecimiento de las raíces, que en suelos compactados también presentan dificultades para su elongación tanto de raíces principales, como adventicias. En la Figura 19, se observa que en el sitio ecológico P6 registra los valores más sensibles para la resistencia a la erosión, pero también genera mayor reacción a la prueba de efervescencia, recordando que este sitio es una colonia activa de perrito de la pradera, en el mismo sentido que el suelo es más inestable, también tiene mayor nivel de carbonatos, los otros dos sitios ecológicos mostraron comportamientos muy similares.

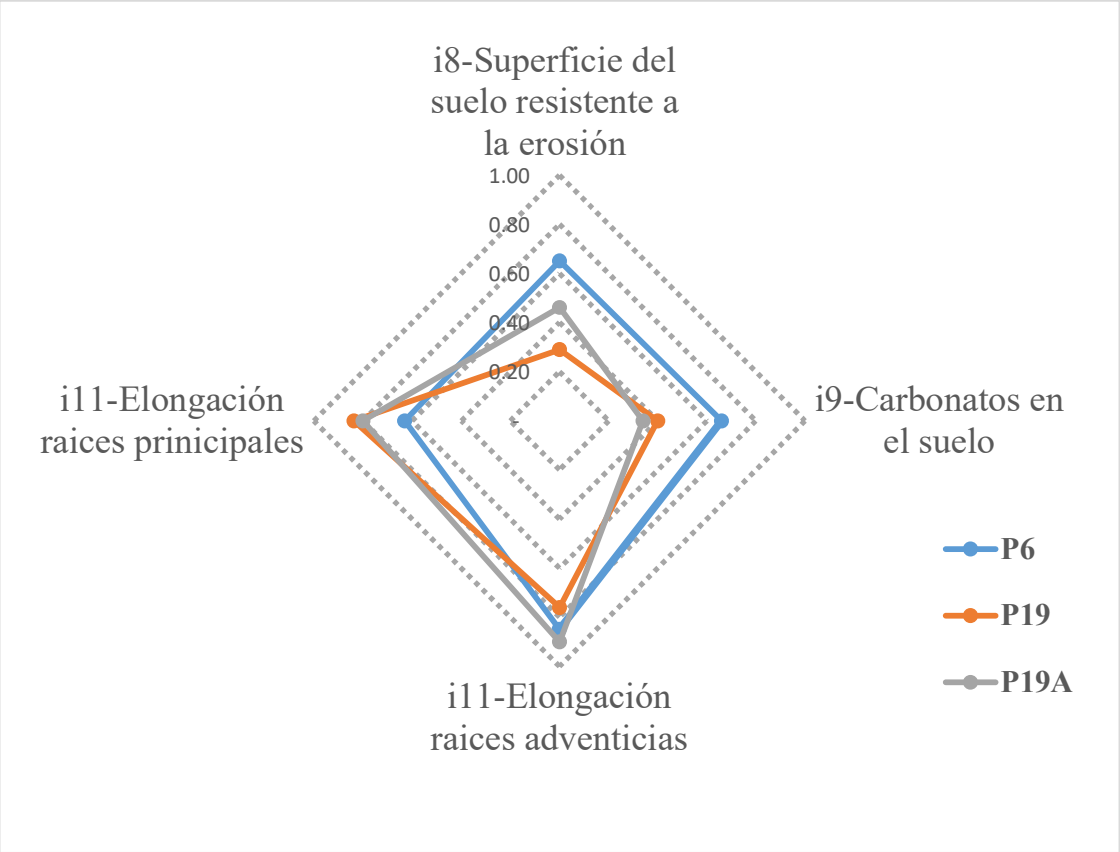


Figura 19. Comportamiento de los indicadores comunes de la salud del pastizal durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el rancho Los Ángeles

La interpretación de los valores promedio de los indicadores comunes (ver Cuadro 10) revela que tanto en P6 como en P19A, sitios donde existen colonias de perrito de la pradera y el suelo es menos estable, más de la mitad de la muestra analizada se disolvía con cierta rapidez al exponerla al agua. Esto contrasta con P19, donde las clases fueron más equilibradas y con menos diferencia porcentual. La clase 5 representa un tipo de suelo muy estable, con una tendencia a la compactación.

En cuanto a la degradación química basada en la presencia de carbonatos, el sitio ecológico P6 mostró el contenido más alto, indicando una mayor presencia como respuesta al debido a la duración y la reacción efervescente en la mayoría de las muestras, en el área los suelos son de origen calcáreo. No se registraron diferencias significativas en la longitud de las raíces, tanto principales como adventicias.

Cuadro 10. Valores promedio y desviación estándar de los indicadores comunes que integran los tres atributos de la salud del pastizal en tres sitios ecológicos durante la temporada seca de 2023, en el rancho Los Ángeles

Indicador	Unidad de medida	P6	P19	P19 A
i 8	Porcentaje %/ Clase dominante	65.3/ Cl 3	29.8/ Cl 5	51.4/ Cl 3
i 9	Escala de efervescencia	3.3 (0.9)[a]	2.1 (1.4) [b]	1.7 (1.7) [b]
i 11P	Centímetros	12.5 (5.6) [a]	16.4 (3.8) [a]	15.7 (2.1) [a]
i 11[a]		26.0 (4.8) [a]	23.4 (6.5) [a]	27.2 (3.1) [a]

Literales iguales expresan que no existe diferencia significativa (P <0.05)
P: principales; A: adventicias

El desempeño cualitativo de los indicadores comunes bajo la escala de la salud del pastizal (Figura 18), proyecta que el sitio P6 tiene suelos de ligero a moderadamente inestables, con contenido de carbonatos de M-E y un crecimiento radicular moderado, nos indica que

aun en la temporada seca es un buen nivel de salud; para P19, la estabilidad del suelo es de M-E tendiendo a la compactación, los carbonatos son de ligeros a moderados, al igual que el crecimiento de las raíces, en este escenario, finalmente, el área con poblaciones de perritos de la pradera y bajo nivel de uso de pastoreo por ganado tiene un suelo de ligero a moderadamente estable, bajo contenido de carbonatos y crecimiento radicular limitado.

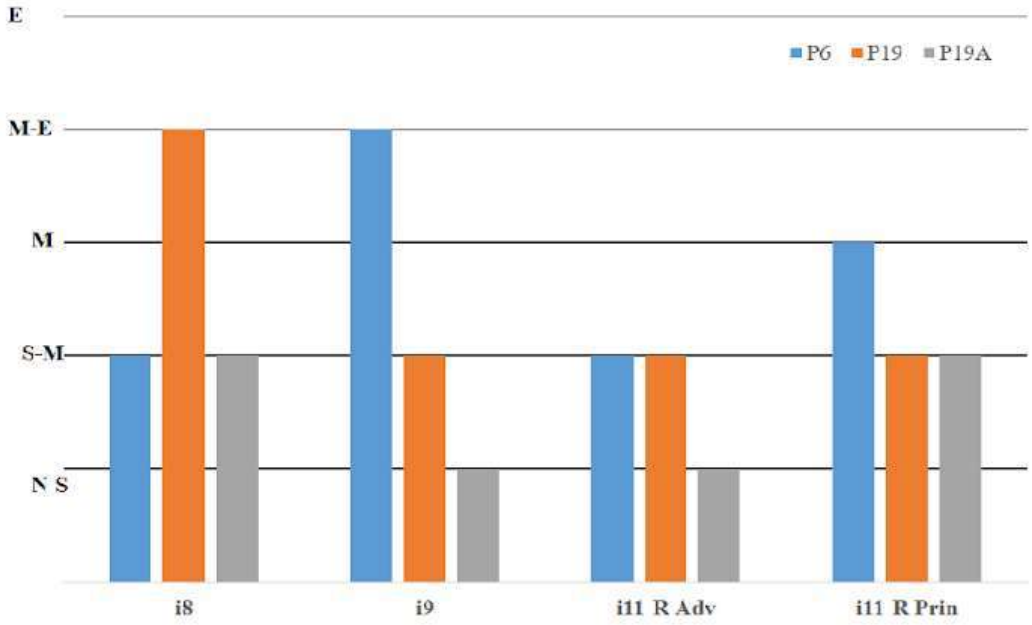


Figura 20. Comportamiento de los indicadores comunes de la salud del pastizal durante la temporada seca de 2023 en tres sitios ecológicos en el rancho Los Ángeles

V. DISCUSIÓN

La evaluación de los atributos de la salud del pastizal en sitios con diferente historial de manejo en el Rancho Los Ángeles mostró resultados variables para cada uno de los atributos: Estructura del Suelo (ES), Función Hidrológica (FH) e Integridad Biótica (IB). En relación con los indicadores de ES y FH, se observó que el sitio con pastoreo continuo y presencia de colonias de perrito de la pradera tiene un 35% de suelo desnudo (i4) es un valor superior al sitio P19 con historial de bajo uso por pastoreo con colonias activas de perrito y al del sitio P19A con bajo uso por pastoreo y sin colonias de perrito.

Comparando con los resultados de Herrera-Corral *et al.* (2011) en un estudio realizado en un pastizal abierto en el norte de México con pastoreo continuo, donde se registró un 34% de suelo desnudo, hay una similitud con lo encontrado en este estudio bajo condiciones parecidas. Por otro lado, Ochoa (2006) encontró que el porcentaje de suelo desnudo fluctuaba del 29% y el 35% en un pastizal con presencia de colonias de perrito de la pradera de cola negra (***Cynomys ludovicianus***) en Janos, Chihuahua, además que sus hallazgos fuera de las colonias, donde el suelo desnudo fue del 25% en promedio, mientras que en nuestro estudio, el porcentaje de suelo desnudo fuera de las colonias fue del 26%, lo que sugiere que la cobertura es un factor muy constante en las colonias y la presencia del ganado influye en el aumento de las áreas sin vegetación.

Los indicadores 1, 5, 6 y 10 no se observaron en ninguno de los tres sitios evaluados; sin embargo, esto no implica que no puedan manifestarse en otras épocas del año, que puedan ser evaluados en estudios posteriores en los sitios establecidos. En cuanto al i2, los sitios muestran un porcentaje inferior al 10% del total del área muestreada, siendo el P6 el que presenta el mayor porcentaje, con un 11.3% correspondiente a 78 patrones de escurrimiento de mayor tamaño, mientras que el P19A muestra un porcentaje menor al 4%, con solo 54 patrones de escurrimiento y de menor tamaño. Los pedestales y terracetas (i3) evaluados mediante una línea de puntos mostraron comportamientos similares en los sitios ecológicos P6 y P19, con porcentajes de 6.0% y 7.5%, respectivamente, en una evaluación de 200 puntos por sitio. En cuanto al i7, el porcentaje más alto registrado fue del 9.0% en el P6, con una suma de 36 puntos obtenidos a lo largo de los cuatro muestreos realizados en dicho sitio. Estos indicadores: patrones de escurrimiento (i2) y movimiento

de mantillo (i7) fueron evaluados con otros métodos de campo por Reyes y Chairez (2004), en estudios similares realizados en los valles del estado de Durango, ellos encontraron que para los sitios evaluados el i2 se presentó en forma moderada, por el contrario, el movimiento de mantillo presentó un valor extremo.

En cuanto al atributo IB, se observó una mayor mortalidad total de plantas (i13) en el sitio P19 donde hay pastoreo, con un promedio del 25.6% para el total de plantas muertas dentro de los cuarenta cuadrantes en cada sitio de muestreo. Esto representa aproximadamente una cuarta parte de la comunidad vegetal presente en el momento de la evaluación. Este hallazgo sugiere que esta mortalidad es relativamente baja aun con condiciones de sequía y pastoreo.

En cuanto a los resultados del i12, el grupo funcional dominante en los tres sitios fueron las hierbas, mientras que el grupo funcional subdominante fueron los zacates. En el sitio 06 se registraron 19 especies de hierbas, 6 especies de zacates y 3 de arbustos. En el sitio 19 se observaron 21 especies de hierbas, 11 especies de zacates y 8 especies de arbustos. Finalmente, en el sitio 19A se encontraron 15 especies de hierbas, 9 especies de zacates y 2 especies de arbustos, diversos estudios, algunos realizados en el rancho Los Ángeles, como la tesis de Paz-Nolasco (2023) quien encontró que la mayor riqueza de especies se registró en el área sin presencia de perrito de las praderas, mientras que en las zonas donde estaba presente se observó una menor riqueza. Estos resultados coinciden con nuestro estudio, en el cual los sitios con pastoreo presentaron mayor riqueza de especies, posiblemente debido a la dispersión de semillas por parte del ganado, favoreciendo el establecimiento de nuevas especies.

En contraparte Ochoa (2006) reportó riquezas de especies hasta 25 especies dentro de colonias y 16 especies fuera de estas, siendo el grupo dominante las hierbas los que reportaron mayor índice de valor de importancia ecológica, por un lado, Paz-Nolasco (2023) coincide con el valor de riqueza y Ochoa (2006) coincide con las hierbas como el grupo funcional dominante.

Por otro lado, la cobertura de mantillo (i14) alcanzó su valor más alto en el P19A, con un 51.5%, seguido de P19 con un 47.5%. El potrero con pastoreo continuo y presencia de

perritos mostró un valor significativamente menor, con 28.5%. El indicador i15, que mide los kilogramos de materia seca por hectárea producida en la temporada seca, mostró los siguientes resultados: 546.19 kg/ha para el sitio con pastoreo continuo, 1,603.03 kg/ha para el sitio con colonias de perrito e historial de bajo uso de pastoreo, y 1,267.06 kg/ha para el sitio 19A. Estos indicadores, se relacionan a la capacidad del ecosistema o comunidad vegetal, para producir biomasa y la forma en que esta se presenta en el sitio, ya sea como matillo o como forraje disponible, en ese sentido, Velázquez-Flores (2020) reportó una producción promedio de 930 kg/MS/Ha en un área con pastoreo continuo y perrito, lo que en comparación a este estudio es mayor, coincidente con Condado de Jesús (2019) que encontró en el mismo sitio 914 kg/MS/Ha en el mes de junio.

En cuanto a los resultados de vigor reproductivo (i17), se consideró el vigor de las plantas y su estado fenológico. Donde el grupo funcional dominante en los tres sitios fueron las hierbas. En el P6, el 31.5% de las hierbas presentaban un vigor muy bajo y se encontraban en estado vegetativo, mientras que un 28.9% mostraba un vigor alto y en etapa de floración o fructificación. En el sitio P19, el 42.4% de las hierbas exhibían un vigor alto, en estado vegetativo y un 24% mostraban un vigor bajo. Finalmente, en el sitio 19A, los resultados fueron similares, un 27% de las hierbas tenían un vigor alto con presencia de flor y fruto, otro 27% presentaban un vigor alto en estado vegetativo, y el otro 27% mostraba un vigor bajo y se encontraban en estado vegetativo. En este tema existe poca literatura científica, sólo se encontró como fuente de comparación el trabajo de Cabrejo-Sánchez (2019), quien realizó la evaluación de vigor reproductivo, pero en gramíneas, donde obtuvo como valor mínimo 2.69% y un máximo de 74.67%

VI. CONCLUSIÓN

La evaluación de los atributos de la salud del pastizal en sitios de referencia con presencia y ausencia de colonias de perrito de la pradera, durante la temporada seca dentro de los ecosistemas de zacatal mediano abierto en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles, nos proporciona una comprensión más completa de cómo el manejo del pastizal y la presencia de colonias de perrito de la pradera pueden influir en la salud y la funcionalidad del ecosistema.

Nuestros hallazgos muestran que el sitio con pastoreo continuo y presencia de colonias de perrito de la pradera se encuentran con una salud en riesgo reflejada por un mayor porcentaje de suelo desnudo y movimiento de mantillo, esto nos permite confirmar la hipótesis planteada al inicio de este trabajo. Para el sitio sin presencia de perrito y pastoreo moderado se encuentra en un estado saludable, sin embargo, el sitio con colonia de perrito de la pradera y sin pastoreo su salud se clasifica en riesgo, lo que indica un impacto negativo en la integridad biótica del pastizal.

Este estudio resalta la importancia de considerar tanto el manejo del pastizal como la presencia de especies clave, como el perrito de la pradera, al evaluar la salud del pastizal. Esto puede ayudar a informar prácticas de manejo más sostenibles que promuevan la conservación de estos ecosistemas y la biodiversidad asociada.

La evaluación de los atributos de la salud del pastizal en sitios con presencia y ausencia de colonias de perrito de la pradera durante la temporada seca proporciona información valiosa para comprender mejor la dinámica de estos ecosistemas y orientar la toma de decisiones en cuanto al manejo y conservación de los pastizales en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles.

Por lo tanto, el manejo del pastizal, especialmente el pastoreo continuo, puede tener efectos significativos en la estabilidad del suelo, la función hidrológica y la integridad biótica del pastizal durante la época seca. Estos resultados subrayan la importancia de implementar prácticas de manejo sostenibles que promuevan la salud y la resiliencia del ecosistema del pastizal, especialmente en áreas con historiales de pastoreo intensivo.

VII. LITERATURA CITADA

Adams, B., G. Ehlert, C. Stone, D. Lawrence, M. Alexander, M. Willoughby, & K. France. 2009. Rangeland health assessment for grassland, forest and tame pasture. Lethbridge, AB, Canada: Alberta Sustainable Resource Development, Lands Division, Rangeland Management Branch.

Bonham, C. D. 2013. Measurements for terrestrial vegetation. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd.

Briske, D. D., S.D. Fuhlendorf, & F.E. Smeins. 2005. State-and-transition models, thresholds, and rangeland health: a synthesis of ecological concepts and perspectives. Rangeland Ecology & Management. *58*(1): 1-10.

Brown, J. R. 2010. Ecological sites: their history, status, and future. Rangelands. 32(6): 5-8.

Ceballos, G., y J. Pacheco. 2001. The prairie dogs of Chihuahua their biological importance and conservation. Ecology. Voices of Mexico. (54): 106-109 p.

Ceballos, G., J. Pacheco, & R. List. 1999. Influence of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) on habitat heterogeneity and mammalian diversity in Mexico. Journal of Arid Environments, 41(2): 161-172. doi: https://doi.org/10.1006/jare.1998.0479

Cerda, C., & A. Tironi. 2017. La evaluación no monetaria de los servicios ecosistémicos: perspectivas para la gestión sostenible del territorio. Luna Azul, (45): 329-352.

Chartier, M. P., & C.M. Rostagno. 2006. Umbrales de erosión del suelo y estados alternativos en pastizales del noreste patagónico. Ecología y Manejo de Pastizales, 59(6): 616-624.

Chillo, V., M. Anand, & R.A. Ojeda. 2011. Assessing the use of functional diversity as a measure of ecological resilience in arid rangelands. Ecosystems, 14: 1168-1177.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Monitor de sequía en México. Recuperado de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/sequias/monitor-de-sequia-en-mexico.

Condado, R., J. Duéñez A., J.A. Encina D., & J.E. García M. 2019. Productivo de biomasa y calidad nutricional del forraje en potreros del rancho experimental ganadero Los Ángeles.

COTECOCA. (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero). 2002. Memorias de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1986, México.

Dijkema, J., J.E. Koonce, R.M. Shillito, T.A. Ghezzehei, M. Berli, M.J. Van Der Ploeg, & Van M.T. Genuchten, M. T. 2018. Water distribution in an arid zone soil: Numerical analysis of data from a large weighing lysimeter. Vadose Zone Journal, 17(1):1-17. https://doi.org/10.2136/ vzj2017.01.0035

Echavarría, F. G., J.L. Santos, R. Gutiérrez L. & G. Medina G. 2015. Validación de una estrategia metodológica para la evaluación cualitativa de un pastizal mediano abierto del estado de Zacatecas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 6(2):171-191. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265638151005

Enríquez M., J., & J.A. Encina D. 2020. Efecto del apacentamiento en la estructura y composición de especies del pastizal semiárido en el Sureste de Coahuila, México. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

González U., D. U. 2011. Contribución al modelo de nicho ecológico de perrito llanero mexicano y su relación con la disminución de su rango geográfico, así como la evaluación de su riesgo de extinción. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Hartel, T., N. Fagerholm, M. Torralba, A. Balázsi, & T. Plieninger, T. 2018. Social-ecological system archetypes for European rangelands. Rangeland Ecology & Management, 71(5): 536-544.

Heller, A., N.P. Webb, B.T. Bestelmeyer, C.W. Brungard, & Z.M. Davidson. 2022. An Inductive Approach to Developing Ecological Site Concepts with Existing Monitoring Data. Rangeland Ecology and Management 83: 133-148. https://doi.org/10.1016/j.rama.2022.03.009

Hernández G. M. A., J. Valdés R., J.A. Villareal Q. & I.I. Hernández J. 2012. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y vegetación en las áreas naturales protegidas con perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus* Merrian) en el estado de Nuevo León, México. Revista Agraria, 9(2): 63–71. https://doi.org/10.59741/agraria.v9i2.485

Herrera C. J., Y. Herrera A., F.O. Carrete C., N. Almaraz A., N. Naranjo J., & F. González G. 2011. Cambio en la población de gramíneas en un pastizal abierto bajo sistema de pastoreo continuo en el norte de México. Interciencia, 36(4): 300-305.

Holechek, J. L., R.D. Pieper, & C.H. Herbel. 2004. Range management: principles and practices. 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA

Hoth, J., A. Rodríguez, M. De la Maza & J. Zapata. 2011. Cuenca transfronteriza del Rio Bravo/Grande. En: Cuencas Hidrográficas de México: Diagnostico y Priorización. H. Cotler (Ed.) Instituto Nacional de Ecología. México. p. 173-179.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2017. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250, 000: serie VI / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. -- México: INEGI, c2017.

Juanes M., S., J.A. Encina D., P. Álvarez V., E. Lara R., N. Camposeco M., & J.I. García L. 2023. Caracterización del banco de semilla de un zacatal en el sureste de Coahuila. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 14(1):97-107. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3386

Karlen, D. L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, & G.F. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal 61:4-10.

Koford, C. B. 1961. The prairie dog of the North American plains, and its relations with plants, soil, and land use. Revue d'Ecologie, Terre et Vie, (2-3):327-341.

Kunst, C., R. Ledesma, E. Monti, J. Casillo, & J. Godoy, J. 2007. Gramíneas indicadoras de condición en sitios de pastizal del sudoeste de Santiago del Estero. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 36(1): 33-61.

Lambin, E. F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Progress in Phisycal Geography, 21(3): 375-393, http://dx.doi.org/10.1177/030913339702100303

López M., A. G. 2016. Ecología del perrito llanero (*Cynomys mexicanus*). Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Mehta, N. C., H. Streuli, M. Muller, & H. Deuel. 1960. Role of polysaccharides in soil aggregation. J. Sci. Food Agric. 11: 40-47.

NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2004. Soil Survey Technical Note No.5: Assessing carbonates in the field with dilute hydrochloric acid (HCL) solution. United States Department of Agriculture-Soil Survey Center. p. 12.

Oba, G. 2012. Harnessing pastoralists' indigenous knowledge for rangeland management: three African case studies. Pastoralism: Research, Policy and Practice,. 2:1-25. https://doi.org/10.1186/2041-7136-2-1

Ochoa E., J.J. 2006. Dinámica de la salud del pastizal en colonias de perrito de la pradera (Cynomys ludovicianus) en Janos, Chihuahua. Tesis de Maestría, Facultad de Zootecnia/Posgrado en Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua. P. 65.

Organización Meteorológica Mundial. 2006. Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. ISBN 92-63-31006-8

Ovalle, R., O. Seguel, & M. Pfeiffer. 2023. Génesis y ocurrencia de carbonatos en los suelos. Agro Sur 51(1):1-17. DOI:10.4206/agrosur. 2023.v51n1-01

Peel, M. C., B.L. Finlayson, & T.A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and earth system sciences, 11(5): 1633-1644.

Pellant, M., P.L. Shaver, D.A. Pyke, & J.E. Herrick. 2005. Interpreting Indicators of Rangeland Health, Version 4, 2005R-1734-6, BLM. http://www. blm.gov/nstc/library/pdf/1734-6rev05.pdf.

Pineda P. F. E., L.A. Tarango A., E.A. Lozano C., J. Rafael V. & J.D. Cruz L. 2018. Conservation actions of golden eagle (*Aquila chrysaetos*) and prairie dogs (*Cynomys sp*.). AgroProductividad. 11(6): 2-8.

Printz, J. L., D. Toledo, & S.C. Boltz, 2014. Rangeland health assessment: The key to understanding and assessing rangeland soil health in the Northern Great Plains. Journal of Soil and Water Conservation. 69(3):73A-77A. https://doi.org/10.2489/jswc.69.3.73A

Pyke, D. A., J.E. Herrick, P. Shaver, & M. Pellant. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. Journal of Range Management. 55(6): 584-597.

Rajabov, T. 2009. Ecological assessment of spatio-temporal changes of vegetation in response to piosphere effects in semi-arid rangelands of Uzbekistan. Land Restoration Training Programme. P. 109-144.

Ravhuhali, K. E., V. Mlambo, T.S. Beyene, U. Luvhengo, & L. Palamuleni. 2020. Socio-cultural perceptions of communal farmers towards rangeland degradation in selected localities of South Africa. Range Management and Agroforestry, 41(1): 147-155.

Ruyle, G. B., & J. Dyess. 2010. Rangeland monitoring and the Parker 3-Step Method: Overview, perspectives and current applications. College of Agriculture & Life Science, 1948(August). p. 1-9.

Schmitter S., J. J. 2006. Integridad biótica y biodiversidad acuática: El caso de la tilapia africana en Quintana Roo. Ecofronteras, 28: 22-26.

SEMARNAT. (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental especies

nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010.

SEMARNAT. (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018. Programa de acción para la conservación de las especies: perrito llanero de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) y perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) SEMARNAT/CONANP, México.

Stebbins, G. L. 1974. The role of polyploidy in the evolution of North American grasslands. Taxon. 24: 91-106.

Stevens, C. J., N. B. Dise, J.O. Mountford, & D.J. Gowing. 2004. Impacto de la deposición de nitrógeno en la riqueza de especies de los pastizales. Ciencia. 303(5665): 1876-1879.

Tarango A., L. A. 2018. Acciones de conservación del águila real (*Aquila chrysaetos*) y perrito de las praderas (*Cynomys sp*.). Agro Productividad. 11(6): 3-8.

TGUCT. (Task group on Unity in Concept and Terminology). 1995. New concepts for assessment of rangeland condition. J. Range Manage. 48:271-225.

Torrella, S. A., & J. Adámoli. 2005. Situación ambiental de la ecorregión del Chaco Seco. La situación ambiental Argentina. p. 75-82.

Velázquez, A., J.F. Maas, J.R. Díaz G., R. Mayorga S., P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, & J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Instituto Nacional de Ecología (INE), México. Gaceta Ecológica, No. 62.

Velázquez F., A. 2020. Influencia del perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) en la producción de materia seca y diversidad de plantas en el pastizal del Sureste de Coahuila, México. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Williams, C. J., F.B. Pierson, K.E. Spaeth, J.R. Brown, O.Z. Al-Hamdan, M.A. Weltz, & M.H. Nichols. 2016. Incorporating hydrologic data and ecohydrologic relationships into ecological site descriptions. Rangeland Ecology & Management. 69(1): 4-19.

Wilson, A., & G. Tupper. 1982. Concepts and factors applicable to the measurement of range condition. Journal of Range Management 35: 684-698.

Yamallel, J. I., J.J. Pérez, E.A. Rodríguez, O. A., Calderón, M. A., Tagle, & E.J. Garza. 2014. Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 17(1):113-121.

Zaragoza Q., E. P., M. Cotera C., L.M. Scott M., M. Pando M., A.E. Estrada C., & H. González-R. 2022. Salud del ecosistema de pastizal y biomasa en áreas naturales protegidas para el perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) en Nuevo León, México. Acta universitaria. 32.

VIII. ANEXOS





Anexo SEQ Anexo * ARABIC 1. Seguimiento fotográfico del establecimiento de los sitios

INTERPRETING INDICATORS OF RANGELAND HEALTH, Version 5, REFERENCE SHEET

Ecological site name: _____ Ecological site code: _____

Author(s)/participant(s): _____

Contact for lead author: _____

Date: _____ MLRA: _____ LRU: _____

Composition based on (check one): ☐ Cover ☐ Annual Production

Metadata storage location: _____

Indicators. For each indicator, describe the potential for the site using the reference sheet checklist. Where possible, (1) use quantitative measurements; (2) include expected range of values for above- and below-average years and natural disturbance regimes for each community phase within the reference state, when appropriate; and (3) cite data sources used. Continue descriptions on separate sheet.
1. Rills:
2. Water flow patterns:
3. Pedestals and/or terracettes:
4. Bare ground:
5. Gullies:
6. Wind-scoured and/or depositional areas:
7. Litter movement:
8. Soil surface resistance to erosion:
9. Soil surface loss and degradation:
10. Effects of plant community composition and distribution on infiltration:
11. Compaction layer:

12. Functional/structural groups:

Dominance Category[1]	Relative Dominance of F/S Groups for Community Phases in the Reference State *Minimum expected number of species for dominant and subdominant groups is included in parentheses.* Dominance based on[1]: Annual Production __ or Foliar Cover __		
	Phase 1. __	Phase 1. __	Phase 1. __
Dominant			
Subdominant			
Minor			
Trace			

[1] Biological soil crust dominance is determined based on cover, rather than production. If biological soil crusts are an expected dominant or subdominant group, the number of expected life forms (e.g., lichen, moss) is listed, rather than number of individual species.

13. Dead or dying plants or plant parts:

14. Litter cover and depth:

15. Annual production:

16. Invasive plants:

17. Vigor with an emphasis on reproductive capability of perennial plants:

INTERPRETING INDICATORS OF RANGELAND HEALTH VERSION 5 EVALUATION FORM – PAGE 1
Complete the following information as necessary for project documentation and assessment purposes.

Evaluation area name or ID:		Date:
Management unit:	State:	Office:
Evaluator(s):		

Ecological Site/Reference Sheet Used for Evaluation ***(Complete this section last)***

Ecological site name:	Ecological site ID:
Reference sheet used/authors:	Date:
Soil component:	Composition based on (check one): Cover ☐ Annual Production ☐

Ecological Site Determination ***(Describe reference on the left and observations of the evaluation area on the right.)***

Soil Survey:	Soil Map Unit:
Soil and site reference description Description Source: Ecological Site Description OR Soil Survey	**Evaluation area soil and site characterization**
Parent material: Slope range: %	Parent material: Slope: %
Elevation range: ft / m Aspect (if specified):	Elevation: ft / m Aspect:
Topographic position:	Topographic position:
Precipitation range: in / cm	Average annual precipitation: in / cm
Seasonal precipitation distribution:	Seasonal precipitation distribution:
Soil depth[1]: Very shallow ☐ Shallow ☐ Moderate ☐ Deep ☐ Very deep ☐	Pit depth: in / cm

Type and depth of diagnostic horizons: in / cm					**Type and depth of diagnostic horizons:** in / cm				
Soil horizon	Depth	Texture	Eff[2]	Other	Soil horizon	Depth	Texture	Eff[2]	Other

Evaluation Area Location

Criteria used to select evaluation area:				
Location description/directions				
Size of evaluation area:	UTM Zone: Datum:		Position by GPS? Yes / No	
Township Range		m		N. Latitude
OR	OR			
Section 1/4 Section		m		W. Longitude

Supplemental Information & Reference Community Phase

Recent weather (last 2 years): drought ☐ normal ☐ wet ☐	
Natural disturbance type(s) and date(s):	
Land treatment type(s) and date(s):	
Wildlife, livestock, recreation, or other uses:	
Offsite influences:	
Photos taken? Yes / No	Quantitative data collected:
F/S groups worksheet completed? **Yes** (attach worksheet) **No** (document expected relative dominance on next line)	
Reference community phase/description[3]	

Interpreting Indicators of Rangeland Health Version 5 Evaluation Form (page 2)

Evaluation area name or ID: | Date:

Departure from Expected	Code
None to slight	N-S
Slight to moderate	S-M
Moderate	M
Moderate to extreme	M-E
Extreme to total	E-T

Instructions

(1) Assign 17 indicator ratings, record comments and any measurements.
(2) In the attribute rating tables at the bottom of the form, write the indicator number in the appropriate column for each indicator applicable to the attribute.
(3) Assign overall rating for each attribute based on preponderance of evidence.
(4) Provide rationale for each attribute rating in writing.

Indicator	Rating	Comments
1. Rills	S H	
2. Water flow patterns	S H	
3. Pedestals and/or terracettes	S H	
4. Bare ground (observed): ____ %	S H	
5. Gullies	S H	
6. Wind-scoured and/or depositional areas	S	
7. Litter movement (wind or water)	S	
8. Soil surface resistance to erosion Interspace: ____ Plant canopy: ____	S H B	
9. Soil surface loss and degradation	S H B	
10. Effects of plant community composition and distribution relative to infiltration	H	
11. Compaction layer	S H B	
12. Functional/structural groups	B	
a. Relative dominance: ____		
b. F/S groups not expected at the site: ____		
c. Number of F/S groups: ____		
d. Spp # in dom & subdom F/S groups: ____		
13. Dead or dying plants or plant parts	B	
14. Litter cover and depth Observed cover: ____ % Depth: ____ cm / in	H B	
15. Annual production: Pounds or Kilograms Observed: ____ ÷ Expected ____ = ____	B	
16. Invasive plants	B	
17. Vigor with an emphasis on reproductive capability of perennial plants	B	

Soil/Site Stability "S" *(10 indicators)*		**Hydrologic Function "H"** *(10 indicators)*		**Biotic Integrity "B"** *(9 indicators)*	
Attribute Rating:	Rationale:	Attribute Rating:	Rationale:	Attribute Rating:	Rationale:
E-T M-E M S-M N-S		E-T M-E M S-M N-S		E-T M-E M S-M N-S	

INTERPRETING INDICATORS OF RANGELAND HEALTH *VERSION 5*
Functional/Structural Groups Worksheet

Evaluation Area ID: _____ **Date:** _____ **Evaluator(s):** _____

Instructions (Numbers correspond to fields in the worksheet; see Appendix 4 for detailed instructions.):

1. Record the ecological site for the evaluation area. Considering the disturbance and land treatment history at the evaluation area, select the appropriate reference community phase from the F/S groups table in the reference sheet.
2. Observe and list the F/S groups present in the evaluation area.
3. Record the species within each F/S group present in the evaluation area. At the bottom of this section, record the number of expected F/S groups and number of species in expected dominant and subdominant groups observed in the evaluation area.
4. Copy the relative dominance for the selected reference phase from the reference sheet to the **Expected** column. In the **Observed** column, document the relative dominance of F/S groups at the evaluation area. Use the **Comments** field to make notes, including any adjustments to relative dominance and rationale.
5. For each subindicator, circle the departure category description that best fits the observed changes in F/S groups in the evaluation area.
6. Rate the overall departure for the F/S groups indicator by choosing the greatest departure category of the four subindicators.

1) Ecological site:	**Reference phase for evaluation area: 1.**
2) F/S Groups in Evaluation Area	**3) Species List**
Biological soil crusts[1]	
Number of expected F/S groups present[2] in evaluation area:	
Number of species in expected dominant and subdominant groups present in evaluation groups:	

INTERPRETING INDICATORS OF RANGELAND HEALTH VERSION 5
Functional/Structural Groups Worksheet

Evaluation Area ID: _____ **Date:** _____ **Evaluator(s):** _____

4)	**Expected** relative dominance of F/S groups for Phase 1. _____ Based on: Production _____ Foliar Cover _____	**Observed** relative dominance of F/S groups in the evaluation area
Dominant		
Subdominant		
Minor		
Trace		
Comments:		

5) Indicator and subindicators rating (circle the appropriate departure category for each subindicator below).

Subindicator	E-T	M-E	M	S-M	N-S
12a. Relative dominance	All expected dominant F/S groups are now minor, trace, or missing.	Dominant F/S group(s) has become minor or trace, or a minor or trace group is now dominant.	Dominant F/Sgroup(s) has become subdominant.	Subdominant F/Sgroup has become minor or trace, or a minor or trace F/S group has become subdominant.	Resembles expected relative dominance for appropriate reference phase.
12b. F/S groups not expected at the site	F/S group(s) not expected is now dominant.	F/S group(s) not expected is now subdominant.	F/S group(s) not expected is now minor.	F/S group(s) not expected is now trace.	None.
12c. Number of expected F/S groups	Severly reduced (missing ≥ 76% of expected F/S groups).	Greatly reduced (missing 51-75% of expected F/S groups).	Moderately reduced (missing 26-50% of expected F/S groups).	Slightly reduced (missing ≤ 25% of expected F/S groups).	All expected F/S groups for appropriate phase are present.
12d. Total combined number of species expected in dominant and subdominant F/S groups	Severely reduced (missing ≥ 76%).	Greatly reduced (missing 51-75%).	Moderately reduced (missing 26-50%).	Slightly reduced (missing 10-25%).	Missing less than 10% of expected # of species in dominant and subdominant F/S groups for appropriate reference phase.
				6) Overall departure category for F/S groups indicator:	

Data Entry Date: _____ **By:** _____ **Error Check Date:** _____ **By:** _____

IIRH Field Form for Estimating Annual Production: Weight Unit and Total Harvest Methods

State _____ Office _____ Ecological site _____ Ecol. site code _____

Observers _____ Date _____

Evaluation site ID or name: _____ Plot approach used: 1) ___ Rooted in plot (NRCS); 2) ___ In plot cylinder (BLM)

Species or Species Group and Method Used: Weight Unit (WU) or Total Harvest (TH) (1)			No. of Weight Units or Clipped Weight (2) Plot Number:												Adjustments (Adj)			
Species Name	WU ☐	TH ☐	1	2	3	4	5	Total # wgt. units or clipped wgt. by spp (3)	Avg. # wgt. units or avg. clipped wgt. (4)	Wgt. unit wgt. (5)	g or lb (6)	Plot size (7)	Plot CF (8)	Field wgt. (lb/ac) (9)	Air dry wgt. adj. (10)	Util. adj. (11)	Growth adj. (12)	Total wgt. in lb/ac (13)

Indicador 11. Capa de compactación

Sitio	Profundidad De Raíces Principal (cm)	Profundidad De Raíces Adventicias (cm)
1		
2		
3		
Sumatoria		
Media		

Indicador 13. Plantas O Parte De Plantas Muertas Por Grupo Funcional

GF		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dominante											
Subdominante											

Indicador 2. Patrones De Flujo

Número	Superficie	%	Numero	superficie	%
1			18		
2			19		
3			20		
4			21		
5			22		
6			23		
7			24		
8			25		
9			26		
10			27		
11			28		
12			29		
13			30		
14					
15					
16					
17					

Anexo 2. Formatos de campo





Anexo 3. Recolección de muestras de suelo y evaluación por el método de Herrick.