**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**

# CONDICIÓN DEL PASTIZAL Y SU RELACIÓN CON LA EROSIONABILIDAD DEL SUELO

Por:

**Gabriela Chaverría Méndez**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de**

**Maestra en Ciencias Agropecuarias**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. Octubre 2023

Condición del pastizal y su relación con el erosionabilidad del suelo by Gabriela Chaverría Méndez is licensed under Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**

# CONDICIÓN DEL PASTIZAL Y SU RELACIÓN CON LA EROSIONABILIDAD DEL SUELO

Por:

**Gabriela Chaverría Méndez**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias**

Directora: Dra. Catarina Loredo Osti
Codirector externo: Dr. Sergio Beltrán López
Asesor: Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez

Soledad de Graciano Sánchez Octubre 2023

Condición del pastizal y su relación con el erosionabilidad del suelo by Gabriela Chaverría Méndez is licensed under Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

El trabajo de tesis titulado **"Condición del pastizal y su relación con la erosionabilidad del suelo"** fue realizado por la Ing. **Gabriela Chaverría Méndez** como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Agropecuarias** y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dra. Catarina Loredo Osti _____
Directora

Dr. Sergio Beltrán López _____
Codirector externo

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez _____
Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, a los veinticuatro días del mes de octubre de 2023.

**“A menos que alguien como Tú se interese de verdad, nada va a mejorar jamás”**

**Dr. Seuss**

## DEDICATORIA

A mi padre Gabriel Chaverría Ruíz y a mi madre María de Jesús Méndez Jasso, por su amor y apoyo incondicional, por enseñarme que todo en la vida cuesta, y que es la determinación y la tenacidad lo que hacen la diferencia; por indicarme a no soltar lo que quiero hasta lograrlo, a luchar por mis sueños y por recordarme que mi situación actual no determina lo que puedo lograr, solo donde comienzo.

A mi hermana Jimena Chaverría Méndez por estar ahí en todo momento, durante todo el proceso de mi carrera profesional.

A mis amigos que creen en mis capacidades más que yo; por su motivación y buenos deseos.

A mi directora de tesis, Dra. Catarina Loredo Osti, por inculcarme el camino de la ciencia, guiándome y dándome todo su apoyo, por toda la paciencia que requiere el trabajar conmigo.

A mi codirector de tesis, Dr. Sergio Beltrán López, que, aunque me ha costado seguir su consejo de simplificar y avanzar atesoro sus palabras, por ser una guía incondicional en mi vocación al amor por los pastizales.

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la universidad Autónoma de San Luis Potosí y a cada uno de los profesores que me apoyaron en el trascurso, durante este proceso, con sus sabios consejos y por todo el conocimiento ofrecido.

Al CONACYT por hacerme participe, facilitándome una beca CVU 1143667, la cual ha permitido que se concluya este proyecto en tiempo y forma.

Después de esto, habiendo la oportunidad, doy las gracias a todas las personas que, a lo extendido de este proceso, me han apoyado para poder realizar esta tesis, quiero manifestar mi más sincera gratitud, ya que con su apoyo y aportaciones hicieron posible la culminación de este trabajo.

!!Les agradezco de todo corazón¡¡

**CONTENIDO**

DEDICATORIA ..... 3
AGRADECIMIENTOS ..... 4
CONTENDIO ..... 5
ÍNDICE DE CUADROS ..... 7
ÍNDICE DE FIGURAS ..... 8
RESUMEN ..... 9
SUMMARY ..... 10
INTRODUCCIÓN ..... 11
Hipótesis ..... 12
Objetivos ..... 12
Objetivo General ..... 12
Objetivos Específicos ..... 12
REVISIÓN DE LITERATURA ..... 13
Antecedentes ..... 13
Condición del Pastizal ..... 16
Pastizal ..... 16
Condición del Pastizal ..... 17
Atributos de la Condición del Pastizal ..... 18
Composición Botánica ..... 18
Plantas Deseables, Indeseables y Menos Deseables ..... 19
Cobertura Vegetal Basal y Aérea ..... 20
Vigor de la Especie Clave ..... 21
Biomasa y Pasto Seco ..... 21
Erosionabilidad del Suelo ..... 21
Suelo ..... 21
Erosión ..... 22
Erosionabilidad ..... 23
Materia Orgánica del Suelo ..... 23
Textura ..... 24

Estructura.....25
Permeabilidad.....25
Prácticas de Conservación del Suelo.....26
MATERIALES Y MÉTODOS.....28
Caracterización del Sitio.....28
Ubicación Geográfica.....28
Clima.....28
Hidrografía.....28
Edafología.....29
Vegetación.....29
Descripción de los Sitios de Muestreos.....29
Evaluación de Condición del Pastizal.....31
Composición Botánica.....31
Cobertura Vegetal Basal y Aérea.....32
Vigor de la Especie Clave.....32
Biomasa y Pasto Seco.....33
Evaluación de la Erosionabilidad del Suelo.....33
Muestreos del Suelo.....33
Análisis Estadístico.....35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....36
Composición Botánica.....36
Cobertura Vegetal Basal y Aérea.....42
Vigor de la Especie Clave.....47
Condición del Pastizal en Cuatro Sitios de Estudio.....49
Biomasa y Pasto Seco.....53
Erosionabilidad.....57
Relación de Algunas Variables de Condición del Pastizal y Erosionabilidad.....60
CONCLUSIONES.....67
RECOMENDACIONES.....61
LITERATURA CITADA.....69
ANEXOS.....85

## ÍNDICE DE CUADROS


| Cuadro | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Sitios de muestreo correspondientes a los tratamientos bajo evaluación... | 30 |
| 2 | Porcentaje obtenidos mediante la ecuación de Parker, modificado por Florez, 1987 y su ubicación dentro de la clasificación de la condición del pastizal…… | 33 |
| 3 | Códigos de permeabilidad para su uso en el nomograma de erosionabilidad……...…….. | 34 |
| 4 | Composición floristica (miles de individuos/ha) por sitio de estudio, clasificada en especie deseable, menos deseable e indeseable con fines de consumo animal……...…… | 40 |
| 5 | Cobertura basal en los sitios muestreados……. | 43 |
| 6 | Cobertura aérea en los sitios muestreados……...…….. | 46 |
| 7 | Índice de vigor de las especies forrajeras observadas en el área de estudio | 49 |
| 8 | Atributos para evaluar la condición del pastizal en Monte Caldera……... | 52 |
| 9 | Propiedades del suelo medidas para obtener Erosionabilidad……... | 58 |

## ÍNDICE DE FIGURAS


| Figura | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Sitios de muestreo correspondientes a los tratamientos de evaluación……. | 30 |
| 2 | Producción de biomasa total y mantillo en los sitios de evaluación…….. | 56 |
| 3 | Relación entre la biomasa total (t MS $ha^{-1}$) y el vigor de la especie clave……... | 57 |
| 4 | Índice de Erosionabilidad en los sitios evaluados con manejo diferente….. | 60 |
| 5 | Relación de la erosionabilidad con suelo desnudo…….. | 61 |
| 6 | Relación de la erosionabilidad y la cobertura vegetal basal……..... | 62 |
| 7 | Relación entre la erosionabilidad y la condición del pastizal……. | 63 |
| 8 | Relación entre la condición del pastizal y el contenido de materia orgánica…… | 64 |
| 9 | Relación entre el contenido de materia orgánica y el suelo desnudo…… | 66 |

## RESUMEN

La erosionabilidad del suelo es la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el efecto de agentes erosivos como el agua y el viento. Este proceso se ha estudiado a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, sin embargo, existe poca información sobre el papel que tienen las acciones de conservación del suelo y agua sobre este factor y su relación con el manejo de pastizales. Los pastizales son importantes debido a que cumplen un rol ecológico sustancial en el mantenimiento y funcionalidad del ecosistema. El objetivo de este estudio fue estimar la condición del pastizal y su relación con la erosionabilidad de suelo. Se contó con cuatro sitios de estudio: 1) sitio restaurado con terrazas de formación sucesiva en bordos a nivel y reforestación; 2) sitio restaurado con terrazas de formación sucesiva en bordos a nivel sin reforestación; 3) sitio sin obras de conservación y en pastoreo continuo; 4) sitio sin obras de conservación y con procesos evidentes de degradación. Se midió la condición del pastizal, midiendo atributos como la composición botánica, cobertura vegetal, vigor de la especie clave y biomasa. A su vez se midió erosionabilidad utilizado la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978) que integra las siguientes variables: materia orgánica, textura, estructura y permeabilidad. Se contó con cinco repeticiones en cada sitio. Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar con prueba de medias Tukey ($p<0.05$). La condición del pastizal en el sitio PPMR, PPM, PC se encuentra clasificada como regular con los siguientes valores 52.18, 51.93 y 50.04 respectivamente, las cuales no presentan diferencias significativas, el sitio PPD reporto una condición menor, el cual se ubica en condición pobre con un valor de 33.32. Para el caso del índice de erosionabilidad los sitios PPMR, PPM y PPC reportan menor susceptibilidad del suelo a ser erosionado con valores de 0.02564, 0.03968 y 0.03476 respectivamente, siendo el sitio PD el que presenta un índice de 0.08334, lo cual indica que el suelo presenta diferencias de las propiedades del suelo en términos de MO, estructura, permeabilidad. Se encontró una correlación positiva pero moderada entre condición del pastizal y erosionabilidad. Existe relación entre la condición del pastizal y la erosionabilidad, la cual disminuye conforme la condición del pastizal aumenta.



**Palabras clave:** Cobertura, materia orgánica, manejo.

## SUMMARY

Soil erodibility is defined as the susceptibility of soil to be eroded by the effect of erosive agents such as wáter and wind. This process has been studied through the Universal Soil Loss Equation, however, there is little information on the role of soil and water conservation actions on this factor and its relationship with rangeland management. Grasslands are important because they play a substantial ecological role in the maintenance and functionality of the ecosystem. The objective of this study was to estimate the condition of the grassland and its relationship with soil erodability. There were four study sites: 1) restored site with terraces of successive formation on boards at level and reforestation; 2) restored site with terraces of successive formation on boards at level without reforestation; 3) site without conservation works and in continuous grazing; 4) Site without conservation works and with evident processes of degradation. The condition of the grassland was measured, measuring attributes such as botanical composition, vegetation cover, vigor of the keystone species and biomass. In turn, the equation proposed by Wischmeier and Smith (1978) was measured, which integrates the following variables: organic matter, texture, structure and permeability. There were five repetitions at each site. Data were analyzed under a completely randomized design with Tukey mean test ($p<0.05$). The condition of the grassland at the PPMR, PPM, PC site is classified as regular with the following values 52.18, 51.93 and 50.04 respectively, which do not present significant differences, the PPD site reported a minor condition, which is located in poor condition. with a value of 33.32. In the case of the erodibility index, the PPMR, PPM and PPC sites report lower susceptibility of the soil to be eroded with values of 0.02564, 0.03968 and 0.03476 respectively, with the PD site being the one that presents an index of 0.08334, which indicates that the soil presents differences in soil properties in terms of MO, structure, permeability. A positive but moderate correlation was found between grassland condition and erodibility. There is a relationship between the condition of the grassland and erodibility, which decreases as the condition of the grassland increases.



**Key words**: Coverage, organic matter, management.

# INTRODUCCIÓN

Los pastizales cubren más del 50 % de la superficie en el mundo (Cabrejo, 2019; Flores *et al.*, 2018); gran parte de estos se ven afectados por el pastoreo excesivo (Michalk *et al*., 2019), siendo el responsable principal de que 49.2% de los pastizales se encuentren en mal estado (Morales *et al*., 2020). En la República Mexicana los pastizales conforman el medio natural para uso pecuario y fauna silvestre (Miranda, 2021; Álvarez *et al*., 2016) propiciando así que 95% de los pastizales y 70% de los matorrales estén sobrepastoreados y que 85% de la superficie presente un proceso de degradación del suelo (Gutiérrez *et al*.,2022; Reyes *et al*., 2019; Gutiérrez *et al*., 2018).

El mal manejo y la falta de regulación de los recursos del pastizal generan la disminución de la diversidad de flora y fauna (Echavarría *et al*., 2015), baja cobertura vegetal y reducción de la productividad, cambios en la estructura y funcionamiento del pastizal (Medina *et al*., 2017). Por otro lado, se presenta pérdida de la fertilidad del suelo, aumento de la compactación (Yan *et al*, 2021; Efthimiou, 2020), disminución de la infiltración de agua y de la capacidad de almacenamiento del suelo, aumento del escurrimiento superficial (Yan *et al*., 2021; Reyes *et al*.,2019; Flores *et al*., 2018) así como incremento en la erosionabilidad del suelo (Efthimiou, 2020), provocando problemas de sedimentación y desertificación (Kakembo *et al*., 2019). Lo anterior conlleva un cambio en el funcionamiento, productividad y estructura del ecosistema pastizal (Gutiérrez *et al*., 2022; Gutiérrez *et al*., 2018), provocando erosión del suelo (Reyes *et al*., 2019).

Los principales factores de la erosión son: 1) Erosividad de la lluvia; 2) Erosionabilidad del suelo; 3) Factores asociados al grado y longitud de la pendiente; 4) Cobertura vegetal; y 5) Prácticas de manejo (Wischmeier y Smith, 1978). La erosionabilidad del suelo es la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el efecto de la lluvia y del flujo superficial (Efthimiou, 2020); una vez que se erosiona, se dificulta su recuperación natural, a causa de las bajas tasas de formación del suelo (Doria,2022), perdiendo finalmente la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios (Tácuna, 2022).

Los pastizales en buena condición reducen la erosión a límites aceptables, lo que dependerá de la densidad de raíces, cobertura el suelo y la continuidad de la cubierta

vegetal (Loredo *et al*., 2007). La cubierta vegetal puede interceptar la lluvia y disminuir el impacto negativo sobre el suelo desnudo, maximizando la infiltración y reduciendo la pérdida de agua por escurrimiento (Flores *et al.*, 2018; Zhao *et al*., 2018).

Es necesario el impulso de estudios que colaboren al conocimiento sobre el nivel de erosionabilidad del suelo en las tierras de agostadero y su relación con la condición del pastizal, cuando se establecen prácticas de conservación, a fin de evaluar el impacto de estas acciones sobre la erosionabilidad.

## Hipótesis

Las obras de conservación del suelo influyen en la condición del pastizal.

Las obras de conservación del suelo influyen en su erosionabilidad.

La condición del pastizal tiene relación con la erosionabilidad del suelo.

## Objetivos

### Objetivo General

Estimar la condición del pastizal y su relación con la erosionabilidad de suelo en un sitio restaurado con obras de conservación.

### Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de las obras de conservación del suelo sobre la producción de forraje.
- Valorar la condición del pastizal en respuesta a acciones de conservación del suelo.
- Estimar la erosionabilidad del suelo en un sitio de pastizal restaurado con acciones de conservación del suelo.
- Determinar si la condición del pastizal tiene relación en la erosionabilidad del suelo.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## Antecedentes

El sobrepastoreo se registra en gran parte del territorio mundial, distribuyéndose en zonas de América, el Mediterráneo, Australia, Asia, África, Europa hasta el noreste de China; la compactación y la erosión son la causa principal de que 20% de los pastizales del mundo se estén degradando (Yan *et al*., 2021), debido a la alta carga de animal lo que provoca la reducción de la cobertura vegetal, materia orgánica y pérdida de la capa superficial del suelo (Gutiérrez *et al*., 2018).

Los ecosistemas áridos y semiáridos cubren aproximadamente un tercio de la superficie del planeta, sirviendo de hogar al 35% de la población mundial (Gutiérrez *et al*., 2018; Morales *et al*., 2020), de los cuales 60% afronta serios problemas de degradación (Tácuna,2022). En estas zonas la ganadería extensiva es una actividad económica importante (Beltrán *et al*., 2005; Medina *et al*., 2017).

El ecosistema pastizal es el menos protegido (Álvarez *et al*., 2016), la presión de las actividades antropogénicas ejercidas sobre ellos debido a la ausencia de políticas (Tácuna, 2022) es lo que ha propiciado que se presenten problemas como cambio de uso de suelo, sobrepastoreo (Flores *et al*., 2018; Yan *et al*., 2021), introducción de especies invasoras, alteraciones en la dinámica poblacional de las especies más palatables (Kaufmann *et al*., 2019), y una sobreutilización de especies deseables ( Flores *et al*., 2018; Morales *et al*., 2020). Lo anterior se debe a la excesiva carga animal y los periodos de descanso mal establecidos (Desmond, 2006; Gutiérrez *et al*., 2018). Además, se cuenta también con condiciones climáticas desfavorables (Gutiérrez *et al*., 2022; Tácuna, 2022), mostrando así grandes transformaciones (Jurado *et al*., 2021), tales como la pérdida de la cobertura vegetal (Valle *et al*., 2011), pérdida de materia orgánica y nutrientes (Efthimiou, 2020; Yan *et al*, 2021), reducción de la calidad del ambiente, provisión de ciertos bienes y servicios ecosistémicos (Kaufmann *et al*., 2019).

La vegetación de los pastizales puede evitar la erosión del suelo e incrementar la tasa de infiltración de agua (Álvarez *et al*., 2016); la cobertura de las plantas herbáceas o gramíneas afecta favorablemente la estabilidad del suelo (Iglesias, 2020) donde las

comunidades arbóreas no pueden establecerse, debido a las limitaciones ambientales (Flores *et al*., 2018).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2019) señala que 45% del suelo de México, presenta algún grado de degradación; la superficie sin degradación aparente solo es de 105.2 millones de ha. De acuerdo a Orozco *et al*., 2017 y Echavarría *et al*.,2020, la erosión hídrica es solo un tipo de degradación del suelo y los cambios en las propiedades de la precipitación aceleran o reducen el efecto continuo de la misma.

Orozco *et al*., 2017 indica que la erosión del suelo puede estar influenciada más por la pendiente del terreno, las características de las lluvias, la cobertura vegetal y las medidas de manejo que por las propiedades del suelo; sin embargo, los suelos tienen propiedades intrínsecas de los mismos, por lo cual se debe conocer la influencia de cada propiedad en la erosionabilidad del suelo.

La erosionabilidad ha sido ampliamente evaluada, en diferentes partes del mundo a través de diferentes modelos, sin llevar a cabo los métodos manuales para su evaluación, haciendo mención de que son métodos que requieren tiempo y dinero para evaluar amplias zonas (Efthimiou, 2020; Madenoglu *et al*., 2020).

En busca de soluciones para el problema de erosión, se han unido esfuerzos integrales con enfoque de microcuenca. En ese sentido, se han centrado esfuerzos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y otras instituciones a fin de implementar prácticas de restauración de suelo, promover el área de servicios ambientales dando un ordenamiento territorial (Loredo *et al.*, 2007)

Una de las microcuencas atendidas es la microcuenca Monte Caldera-Portezuelo, Cerro de San Pedro, San Luis Potosí. En Monte Caldera, el principal uso del suelo es para la ganadería extensiva, identificándose deforestación y sobrepastoreo como principales causas de degradación (Noyola, 2005).

La evaluación de la condición de los pastizales es muy importante, debido a los diversos servicios que este ecosistema brinda, entre los cuales se pueden mencionar;

desarrollo de la ganadería y fauna silvestre, mejoramiento de los procesos hidrológicos, tales como la infiltración, fuente de recreación y diversidad biológica (Abbott, 2006). Estos servicios, dan soporte a procesos ecológicos y sustentan una alta diversidad de plantas y animales (Desmond, 2006); entre los procesos hidrológicos se puede señalar que el pastizal promueve la captura, infiltración y almacenamiento del agua para su posterior uso, tanto en áreas rurales como urbanas (Melgoza, 2006), siendo fuente importante de recarga de agua superficial y subterránea.

De las cuencas hidrológicas ubicadas en los agostaderos, la cantidad y calidad de agua recibida, puede ser utilizada por sectores agrícola, municipal e industrial de la sociedad (Tácuna, 2022). Cualquier estrategia de manejo en los pastizales tendrá que considerar acciones de conservación del suelo y agua (Reyes *et al*., 2019) ya que el recurso suelo se ve sometido a las amenazas por la erosión, siendo sin duda acciones de protección al suelo las labores prioritarias, para contar con un manejo adecuado del pastizal, el cual podría ayudar a conservar la biodiversidad y mantener una alta productividad.

Se tiene antecedentes de que las acciones de gestión de la microcuenca Monte Caldera iniciaron en 2005, en una superficie de 302 hectáreas de pastizal, con obras consistentes en terrazas de formación paulatina en bordos a nivel, plantaciones de maguey y nopal, cabeceo de cárcavas, construcción de presas filtrantes, instalación de cercos, biorestauración de cárcavas, entre otras acciones (Rivera *et al*., 2007).

Por otro lado, los estudios allí realizados abarcan los siguientes temas:

- Caracterización del riesgo a la erosión en la microcuenca Portezuelo (en la cual se ubica la comunidad de Monte Caldera), donde se consideraron aspectos de topografía, tipo de suelo, vegetación, uso potencial y características socioeconómicas de los habitantes (Noyola, 2005).
- Eficiencia de las terrazas individuales para reforestación en el predio “Hacienda Abajo” Monte Caldera, San Luís Potosí. Se investigó el efecto de las terrazas individuales en la sobrevivencia de *Cupressus Lusitanica* (Martínez, 2009).
- Evaluación de la calidad ambiental de suelos restaurados en Sierra de Álvarez, donde se investigó si las prácticas de manejo afectan la calidad ambiental del suelo,

con énfasis en propiedades físicas, químicas, cobertura y presencia de elementos metálicos y no metálicos (López, 2019).

## Condición del Pastizal

Pastizal

Los pastizales son aquellas áreas pobladas por comunidades vegetales dominados por especies herbáceas, gramíneas, arbustos, o mezclas de estas, sean especies perenes o anuales, las cuales en su mayoría son aprovechados principalmente por actividades ganaderas, cumpliendo su rol ecológico, siendo la fuente principal de alimentos, debido a su aptitud productiva por extensión, adaptación y funcionalidad (Miranda, 2021). Se suelen identificar por la estacionalidad de la producción de materia seca a lo largo del periodo anual, con una variabilidad en la producción a lo largo de los años (Álvarez, 1995; Chávez, 2007).

En América el término pastizal se refiere a la fuente de alimento para herbívoros en sistema extensivo, que se encuentran de manera natural, mientras que en Europa ha sido aplicado a la formación de herbáceas perenes o anuales (Álvarez, 1995).

En los pastizales la cobertura vegetal está dada en un 90% por especies gramíneas y /o herbáceas, aunque también pueden encontrarse especies arbustivas y arbóreas. (Miranda, 2021), la riqueza variable que se puede encontrar en relaciones dinámicas entre poblaciones y comunidades va en función del ambiente y el tipo de interacción que se da entre ellas (Miranda, 2021).

Los pastizales naturales de Norteamérica se ubican en zonas semiáridas, donde la temperatura media anual se encuentra entre los 12 y 20°C, con una precipitación media anual que varía de 300 a 600 mm, a una altitud que va desde los 1000 hasta los 2800 msnm, abarcando tanto zonas montañosas como llanuras planas, que se distribuyen desde el centro de Canadá hasta el centro de México, formando parte de las llanuras centrales de América del Norte, conocido como ecorregión del Desierto Chihuahuense, distinguida como la región seca con mayor riqueza de especies en el mundo (De la Maza *et al*., 2019).

En México, la zona que corresponde a los pastizales se encuentra delimitada por el Eje Volcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental, abarcando estados como

Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas y San Luis Potosí (De la Maza *et al*., 2019).

Para la zona más árida en el estado de San Luis Potosí, se encuentran arbustos como el chamizo, mezquite, hojasén y la gobernadora, gramíneas importantes como el pasto lobero, búfalo y navajita, por otro lado, se encuentran algunos pastos invasores como el pasto rosado, lo cual indica el fuerte impacto del sobrepastoreo sobre la composición botánica en los pastizales (Jurado *et al*., 2021).

Condición del pastizal

Se refiere al grado de retrogresión o alejamiento de las características de la vegetación actual respecto a la vegetación clímax; se relaciona con el estado de salud del pastizal (Mamani, 2020). La salud del pastizal se puede sintetizar en tres atributos: estabilidad del suelo, funcionalidad hidrológica, e integridad biótica (Echaverría *et al*., 2015).

La condición del pastizal mide los cambios permanentes en la vegetación provocada por el pastoreo; depende de la estacionalidad, lluvias y cambios en cobertura y biomasa inducida por la utilización del ganado; su evaluación permite conocer los cambios en la vegetación, productividad y estabilidad del suelo (Iglesias, 2020).

Vegetación clímax es la comunidad final estable de sucesiones que se encuentra en equilibrio con el ambiente (Mamani, 2020), involucra la analogía de la vegetación actual y las condiciones del suelo, con superficies de referencia que puede suponer condiciones clímax o casi clímax (Tácuna, 2022).

Se cuenta con dos enfoques básicos para la clasificación de la condición de un sitio de pastizal, el primero basado en la ecología, clasificando a la condición con relación a la vegetación clímax y el segundo basado en la productividad en relación con el potencial para un uso en particular; de acuerdo con este enfoque, cada perspectiva del sitio tiene una condición diferente. Estos enfoques permiten identificar los cambios en la vegetación como lo son composición botánica, cobertura vegetal, presencia de especies herbáceas y leñosas, infringiendo en la producción, en cuanto a capacidad de carga animal, valor

nutritivo, en el suelo como cosecha de agua, infiltración, estabilidad y fertilidad (Tácuna, 2022).

Dentro de la condición del pastizal se hace referencia diferentes niveles de salud del pastizal, las cuales se describen a continuación:

**Condición excelente**: Cuenta con la presencia de especies deseables en su mayoria, lo más acercado a la vegetación clímax, son buenas plantas forrajeras, las cuales cuentan con raíces fibrosas profundas, ayudando a la infiltración y protección del suelo, sin signos de erosión (Portillo, 2021), a su vez a estas plantas se les permite crecer de manera natural hasta alcanzar su máxima expresión (Mamani, 2020).

**Condición buena**: En esta condición se da un incremento en especies poco deseables, y se pueden percibir pequeños puntos de suelo desnudo (Portillo, 2021), la planta se ve afectada por el pastoreo, alcanzando una altura menor (Mamani, 2020).

**Condición regular**: Las formaciones vegetales tiene una notoria disminución, apreciando las especies deseables poco desarrolladas, teniendo un incremento en las plantas no deseables (Portillo, 2021).

**Condición pobre**: Cuando las plantas son sobre pastoreadas, presentan signos de suelo desnudo y erosión del suelo, esta condición comienza a presentar una invasión de especies no deseables y tóxicas, alto descenso de las especies deseables y menos deseables (Mamani, 2020; Portillo, 2021).

Para medir la condición y evitar la degradación del suelo en los pastizales es necesario contemplar y estimar ciertos atributos implicados en el concepto de condición (Iglesias, 2020), como son altura, densidad de especies, producción de biomasa, cobertura y frecuencia (Reyes *et al*., 2019).

## Atributos de la condición del pastizal

### Composición botánica

La composición botánica o florística es el porcentaje de las especies vegetales de una comunidad de plantas en los pastizales (Mila *et al*., 2004) mide la diversidad de plantas de una o más familias, que constituyen la cobertura vegetal (Nieto *et al*., 2017),

representando en un lugar y espacio determinado el estado de calidad y el rendimiento de un pastizal, pudiendo explicar la respuesta del pastizal con fines de cantidad y calidad del pasto, de acuerdo con la especies presentes (Mila *et al*., 2004), ya que comúnmente expresa el deterioro de las plantas, debido a que la composición florística es muy variable, dependiendo del número de plantas colonizadoras, la fuente de semillas y la sobrevivencia de plantas, caracterizando principalmente la diversidad de especies, hábitos de crecimiento, palatabilidad y valor nutricional (Sosa *et al*., 2020).

Es importante conocer la composición botánica de los pastizales ya que este atributo permite estar al tanto de la salud del ecosistema (Roca *et al*., 2020), al determinar la productividad del animal por área de pastoreo y revisar la influencia del manejo y ambiente, lo que mejora la toma de decisiones y acciones para el bienestar en la composición botánica (Nieto *et al*., 2017), en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas bovinos en apacentamiento (Roca *et al*., 2020).

Algunos atributos que se pueden medir a la par con la composición botánica son cobertura de especies, densidad de plantas y biomasa (Mila *et al*., 2004). Cuando la presión del pastoreo incrementa, puede cambiar generando un resultado erróneo al evaluar condición (Iglesias,2020).

Plantas deseables, indeseables y menos deseables

Cuando hablamos de la composición botánica, uno de los atributos medibles para la condición del pastizal en términos de producción animal, se requiere clasificar a las especies en deseables, menos deseables e indeseables, influenciadas por su valor nutritivo, palatabilidad y productividad (Iglesias, 2020).

Esta influencia va de acuerdo con las características de la vegetación, por ejemplo, la cantidad y clase de vegetación consumida varía de acuerdo con las desigualdades en la selectividad de los herbívoros, la cual está sujeta a las preferencias alimenticias y su habilidad para cosecharlas (Abbott, 2006).

Clasificar a las especies nos sirve como indicador de los cambios en la vegetación, de acuerdo con el cambio en su proporción de la comunidad (Iglesias, 2020). Esta clasificación se hace en base a su valor forrajero para el ganado como sus características

ecológicas y cualidades de protección (Ruyle *et al*., 2010), algunos componentes que están interrelacionados y actúan de forma compuesta sobre la ecología de las especies son la morfología, la fisiología, características reproductivas, la dispersión de semillas, dormancia y requerimientos de germinación lo que las clasifica en especies decrecientes, crecientes e invasoras (Abbott, 2006).

**Plantas deseables**: Son todas aquellas que son comidas por los animales rápidamente en algunos periodos del año (Iglesias, 2020), altamente palatables y relativamente importantes en la condición clímax, cuando el pastoreo es prolongado tienden a decaer en importancia y /o vigor (Mamani, 2020). Dentro de esta clasificación se permite la inscripción a especies introducidas.

**Plantas menos deseables**: Son especies de baja calidad, moderadamente palatables consumidas en estados temprano de desarrollo, y son evitadas cuando maduran (Iglesias, 2020), tienden a incrementar cuando las especies deseables comienzan a menguar (Mamani, 2020).

**Plantas indeseables**: Son todas las plantas que raramente son apetecidas por el ganado, generalmente cuando escasea el forraje, pueden incluir especies espinosas y venenosas (Iglesias, 2020; Mamani, 2020).

Cobertura vegetal basal y aérea

La cobertura es la proporción del suelo ocupado por las plantas, la cuál es una representación vertical hacia abajo del follaje o parte superiores de las plantas sobre el suelo. La cobertura basal es el área ocupada por una planta a nivel del suelo, esta cobertura se emplea para medir la vegetación que se desarrolla sobre el nivel del suelo, por ejemplo, los pastos, y es la cobertura aérea la que se encarga de medir el área superior del follaje de la parte superior de las plantas (Cantú, 2010).

La cobertura vegetal previene la pérdida del suelo, debido a agentes erosivos como la lluvia y el viento, reduciendo su efecto sobre el suelo desnudo, reduciendo la pérdida de agua por escurrimiento, maximizando la infiltración, cumpliendo un rol importante en los ciclos biológicos de los microorganismos en el suelo (Flores *et al*., 2018).

Dentro de las evaluaciones en las que se desarrolla es conveniente elegir la cobertura basal de vegetación, como el atributo de interés, debido a que es un indicador más confiable en el cambio de la cobertura, la cual no se ve afectada por el crecimiento estacional y el pastoreo (Ruyle *et al*., 2010).

**Vigor de la especie clave**

Definido como sinónimo de salud de la planta, está estrechamente ligado con la de proporción de hojas, coloración, medida y apariencia general de la planta. Denota el aspecto relativo, vitalidad, tasa de crecimiento y productividad del forraje. Algunos indicadores que se tienen para evaluar el vigor de la planta son, coloración del follaje, producción de semillas y rizomas, longitud de los estolones, tamaño de las plantas y el crecimiento anual (Cantú, 2010).

**Producción de biomasa**

La acumulación de forraje se refiere al peso seco acumulado (PSA) del forraje y se estima pesando la materia seca (MS) acumulada en la zona de estudio; se expresa en kg MS $ha^{-1}$ (Muñoz *et al,* 2016). Los mismos autores señalan que es una respuesta integradora del genotipo y las condiciones ambientales en las que se incluyen los factores de manejo; los factores ambientales como la luz, $CO_2$, minerales, agua y temperatura, los cuales afectan procesos de fotosíntesis, absorción de nutrientes y desarrollo de las plantas determinando la productividad.

**Erosionabilidad del suelo**

Suelo

Es un recurso natural no renovable, esencial para el funcionamiento clave de los medios terrestres (Corral, 2021). Los procesos de transformación de materia orgánica y nutrientes se llevan a cabo en la parte superficial del suelo y es donde el manejo y las condiciones climáticas ejercen mayor alteración (Rodríguez, 2014).

Para conservar la calidad del suelo es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo, ya que la calidad puede cambiar en un plazo corto de acuerdo con el uso y las prácticas de manejo (Quintero, 2019).

La productividad, el suministro y calidad del agua, la pérdida de biodiversidad y el incremento en los gases de efecto invernadero se ven afectados por la degradación del suelo (Corral, 2021), la cual aumenta rápidamente por inadecuadas prácticas de conservación, sobre uso y mal manejo de los cultivos (Jiménez, 2021).

Los suelos que se conforman en su gran mayoría por arenas finas, media y gruesas (0.1 a 2 mm) suelen ser de baja erosionabilidad, como consecuencia por su alto nivel de filtración (Jiménez, 2021), los suelos con altos niveles de arcillas toleran mejor los efectos de la lluvia, uno de los suelos con menor resistencia al desgaste son los limos, estos contienen gran cantidad de arenas y por ende cuentan con menor cohesión.

Erosión

La erosión es la principal causa de degradación del suelo (Efthimiou, 2020; Jiang *et al*., 2020; Madenoglu *et al*., 2020). Es un proceso físico que consiste en la separación, arrastre y deposición de partículas que conforman el suelo; se genera por el efecto de algún fluido en circulación, originándose principalmente por precipitaciones, al impactar en la corteza terrestre, propiciando que el suelo se erosione; a su vez el suelo puede ser erosionado cuando su capacidad de infiltración ha sido superada, desarrollando desgaste laminar, en surcos o en cárcavas (Jiménez, 2021).

En el caso de los pastizales, el sobrepastoreo y el pisoteo del ganado son la causa principal de que el suelo alcance altos niveles de compactación, modificando la estructura propiciando el escurrimiento y la pérdida de elementos finos (Barrios *et al*., 2012), por otro lado, el aumento de la población es otro factor de que la erosión reporte un incremente debido a la presión sobre el uso de la tierra (Jiménez, 2021), produciendo la pérdida del horizonte superficial del suelo y reduciendo la calidad y capacidad productiva (Reyes *et al*., 2019).

Los principales factores que influyen en la erosión son la cubierta vegetal que, gracias a las raíces de la vegetación, le brindan un aumento a la resistencia en el suelo en contra del esfuerzo de corte de la escorrentía, a su vez la cubierta vegetal en la superficie le da protección al suelo sobre el impacto de las gotas de lluvia, mejorando la capacidad de infiltración del suelo, debido al aumento de la rugosidad hidráulica que disminuye la velocidad de la escorrentía. Por otro lado, se encuentra el relieve topográfico. La

precipitación inicia un desgaste en el suelo, el cual se ve en aumento con pendientes de mayor pronunciación, teniendo un mayor impacto en las zonas con ladera a causa de la presión que resiste de la propia lluvia más la cantidad de agua que proviene de la zona más alta, también a su vez las características del suelo como la textura, la estructura, la cohesión y resistencia del suelo influyen en la pérdida de suelo, debido a que condicionan las propiedades del suelo como retención de agua, aireación, la capacidad de retención ante la presión de la gravedad y por último el clima que determina la duración, intensidad y frecuencia de la lluvia (Jiménez, 2021).

**Erosionabilidad**

Es un factor dinámico que reacciona a las fuerzas que genera la erosión, la cual cambia ampliamente con el tiempo a medida que la cobertura de la superficie, el uso y las condiciones climáticas varían a lo largo del año (Efthimiou, 2020; Madenoglu *et al*., 2020). La erosionabilidad del suelo se refiere a la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad de la lluvia (Wischmeier y Smith,1978). Es a su vez la susceptibilidad del suelo a ser erosionado (Porta *et al*., 2014; Corral, 2021). Expresa la susceptibilidad de los suelos al desprendimiento por salpicadura, esfuerzo cortante y transporte de sedimentos después de un periodo de lluvia, dependiendo de las propiedades intrínsecas de cada suelo y variables ambientales externas (Efthimiou, 2020; Madenoglu *et al*., 2020).

La erosionabilidad tiene la capacidad de representar y monitorear las propiedades del suelo como los cambios en la materia orgánica, la movilidad en la estructura y la permeabilidad, de acuerdo con los usos diferentes del suelo, topografía y el cambio en la cobertura vegetal, especialmente en las frágiles zonas semiáridas (Madenoglu *et al*., 2020).

Para determinar la erosionabilidad del suelo es necesario realizar mediciones directas en campo sobre diferentes propiedades como son la proporción de partículas con diferentes diámetros (textura), contenido de materia orgánica (%), estructura y permeabilidad ($cm^3/h$) (Corral, 2021).

Materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica que se encuentra en el suelo puede provenir de diferentes restos orgánicos como los microorganismos, animales en descomposición y las

mismas plantas. La principal fuente de materia orgánica en el suelo son todos los restos de origen animal y vegetal que proporcionan energía y alimento a los microrganismos del suelo, siendo la materia prima para la formación de coloides orgánicos humus; estos a su vez se dividen en dos grupos, en descomposición y los productos de las actividades de las poblaciones vivas, proporcionando minerales para el desarrollo de la vegetación, siendo fuente de energía para los microrganismos de la microflora y microfauna como nitrógeno, fósforo, azufre, a través del proceso conocido como mineralización. La materia orgánica determina las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; el contenido de materia orgánica presente en el sitio depende de la velocidad con la cual se descomponen los aportes de materiales orgánicos que se hayan hecho a dicho suelo o en su caso del tipo de cobertura vegetal (Rodríguez, 2014).

La materia orgánica favorece el movimiento, aireación y retención de humedad, la fertilidad, la formación y estabilidad de agregados (Flores *et al*.,2018; Corral, 2021) cuando la materia orgánica se pierde debajo del valor crítico, los suelos comienzan a endurecerse, compactarse y a formar terrones, dificultando la formación de agregados y/o pérdida de resistencia a las fuerza generada por la precipitación, consiguiendo la muerte de las plantas resultante en el deterioro del suelo (Rodríguez, 2014; Efthimiou, 2020

Textura

La textura es una propiedad física del suelo que se refiere a la cantidad relativa de arenas, limo y arcilla (Loredo *et al,* 2007). Es una propiedad suficientemente estable que guarda una cercana relación con otras propiedades del suelo, tanto físicas como químicas, imprescindible para poder caracterizar, clasificar y definir el comportamiento de los suelos y así saber cómo son los procesos de formación; se refiere a la proporción relativa en peso de las partículas minerales de una muestra de suelo agrupadas, tras el destrozó de sus agregados, por tipos de tamaños en proporciones granulométricas (Corral, 2021).

La textura se relaciona con la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la disponibilidad y almacenamiento de nutrientes, capacidad de retención de agua, conductividad hidráulica, facilidad de laboreo y riesgo de erosión (Corral, 2021).

## Estructura

La estructura fue definida como el acomodo u ordenamiento espacial de las partículas, agregados y poros del suelo (Cabria *et al*., 2002; Rodríguez, 2014). Es una propiedad que está restringida parcialmente por propiedades intrínsecas del suelo como contenido de materia orgánica y textura, a su vez por factores circunstanciales como el uso y sistema de manejo (Rodríguez, 2014).

Considerada como la variable que mejor refleja los cambios en el suelo producidos por la intensidad, el tipo de uso y manejo, determinando así la resistencia al deterioro y a la erosión del suelo (Rodríguez, 2014), se describe a través de tres cualidades: la clase que muestra su tamaño, el tipo que considera la forma y la disposición de los agregados y el grado, que se refiere a la diferenciación de unidades (Corral, 2021).

La agregación de las partículas elementales del suelo hace referencia a la estructura, que a su vez influye sobre la capacidad de infiltración del perfil y la posibilidad de arranque de esas partículas (Corral, 2021), debido a que la estructura se ve alterada por el déficit de coloides en el suelo, la mecanización, la presencia de ciertos cationes como el sodio, las gotas de lluvia y las condiciones inadecuadas de humedad (Rodríguez, 2014). Acciones como uso limitado de fertilizantes orgánicos, la labranza con uso de máquinas pesadas, el uso de metodologías de cultivo inadecuadas, el monocultivo, quema de residuos de cultivos durante el verano y el pastoreo excesivo van deteriorando la estructura del suelo (Efthimiou, 2020).

Los factores que contribuyen a la estabilidad estructural de un suelo son contenido de arcillas, materia orgánica, población microbiana, revestimiento de los peds con óxido de hierro y aluminio (Rodríguez, 2014).

## Infiltración y permeabilidad

La infiltración es el proceso de entrada de agua a través de la superficie del suelo en forma vertical y descendente, forma parte del ciclo hidrológico, siendo la cantidad de agua que se infiltra por unidad de tiempo bajo condiciones de campo (Rodríguez, 2014). La permeabilidad es la capacidad del perfil del suelo para infiltrar la precipitación y reducir la escorrentía superficial (Corral, 2021). La infiltración se relaciona con la

capacidad que presentan las capas u horizontes superficiales del suelo para absorber el agua aplicando al sistema (Rodríguez, 2014)

**Prácticas de conservación del suelo**

Los objetivos de la restauración en sitios de pastizal son impedir pérdida desproporcionada de suelo, conservar la biodiversidad y su potencial forrajero, devolver la belleza escénica y cosechar agua (Escuin *et al*., 2006), para lo cual pueden ser utilizadas obras ó prácticas de conservación.

Las obras tienen como objetivo favorecer la protección y retención de suelo, los procesos de captación de humedad, materia orgánica y semillas (Escuin *et al*., 2006), de este modo las acciones pueden detener y/o revertir la erosión, un claro ejemplo son los bordos y las zanjas a nivel, estas favorecen la optimización del agua, debido a que se mejoran las tasas de infiltración, se incrementa la producción de forraje y se presentan periodos verdes más largos, se da mayor retención de suelo (Alcalá *et al*., 2018).

Las prácticas de conservación del suelo pueden ser agronómicas, mecánicas y vegetativas. Las prácticas agronómicas son todas aquellas manipulaciones mecánicas que se le aplican al suelo, conocidas comúnmente como labranza. La intensidad, época y utensilio a utilizar es lo que define si tiene efectos beneficios o perjudiciales para el suelo, de acuerdo con esto, el sistema tradicional de los agricultores que consiste en hacer barbecho, rastreo, rasamiento y fertilización, con el fin de conservarlos en condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos, afecta gravemente las condiciones del suelo, es por ello que se recomienda utilizar practicas agronómicas como subsoleo o cinceleo, labranza de conservación, labranza cero, labranza en camellones (Loredo *et al*., 2005).

Las prácticas mecánicas de conservación tienen como objetivo controlar el movimiento del agua y reducir el escurrimiento superficial. Las prácticas mecánicas más comunes son barreras vivas, barreras muertas, zanjas de laderas o acequias, terrazas de base angosta.

Las prácticas vegetativas de conservación son todas aquellas que consideran el desarrollo o manejo de la vegetación natural, plantas o cultivos con el fin de mejorar la capacidad productiva de los terrenos, algunos ejemplos de ellas son: rotación de cultivos,

cultivo en fajas, cultivos asociados y cultivos de cobertera; en el caso de agostaderos la mejor práctica es el control de la carga animal a fin de promover que el pastizal esté siempre con cobertura vegetal (Loredo *et al*., 2005).

Con base en esta revisión, se plantea evaluar la condición del pastizal y su relación con la erosionabilidad del suelo, en un sitio con prácticas mecánicas (terrazas de formación sucesiva en bordos a nivel), comparándolo con un sitio sin prácticas, un sitio reforestado y un sitio sin prácticas y con muestra visible de erosión hídrica.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Caracterización del sitio

### Ubicación geográfica

La investigación se desarrolló en el ejido Monte Caldera, localizado en el municipio Cerro de San Pedro, S.L.P. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017) Monte Caldera se localiza entre latitud norte 22°11’09”; longitud oeste 100°43’22”; a una elevación de 2151 msnm.

### Clima

La información climática básica se tomó de la estación meteorológica de Xoconostle, Zaragoza, localizada latitud norte 22°06’04”; longitud oeste 100°42’33”; a 2200 msnm (Medina *et al*., 2005). El clima corresponde al tipo seco estepario templado con precipitación y temperatura media anual de 392.5 mm y 14.9° C; el periodo de lluvias es de junio a septiembre, ocasionalmente llueve en octubre. Las temperaturas más bajas se presentan de noviembre a febrero y las más altas de abril a agosto (Medina *et al*., 2005; Loredo *et al*., 2007).

### Hidrografía

La zona de estudio se localiza en la microcuenca Monte Caldera-Portezuelo pertenece a la región hidrológica 37 el Salado; esta región presenta un escurrimiento medio anual superficial de 219 $hm^3$/año. Con relación a la microcuenca Monte Caldera-Portezuelo, existen muchas corrientes, todas de carácter intermitente, las más significativas son: al norte los arroyos el Salado, el Hundido, la Escondida; al sur arroyos el Encino, y Río Monte Caldera; al este los arroyos Tinajas, Jaguey Colorado, el Rincón y al oeste: los arroyos Grande, el Rayo y el Salto. Por efecto de la erosión hídrica es notoria también, la presencia de cárcavas.

Los principales índices morfométricos de la microcuenca son los siguientes: elevación máxima: 2319 msnm; elevación media de 2098 msnm y elevación mínima de 1877 msnm; la longitud del cauce principal es de 26.487 km, con una pendiente media de 1.6687 %; tiempo de concentración de 3.93 h y área drenada: 12.516 $km^2$ con un perímetro de 62.211.389. El tipo de drenaje es dendrítico.

Edafología

El sitio de estudio presenta terrenos ondulados con pendientes menores a 10%. La geología corresponde a toba ácida. Los suelos corresponden a un Feozem luvico (INEGI, 1978), los cuales son suelos que se forman sobre materiales no consolidados, son de color rojizo, relativamente profundos (> de 1 m), con un desarrollo medio; parte de las arcillas han sido eliminadas de la parte superior del suelo y se han acumulado en el horizonte B; no presentan acumulaciones de calcio en el perfil, tienen contenido de materia orgánica mayor a 3%. La humedad no llega a ser excesiva, evitándose el arrastre y pérdida de nutrientes debido al drenaje. En condiciones naturales, pueden ser susceptibles a la erosión según el relieve particular en que se presenten (Loredo *et al*., 2007).

Vegetación

La vegetación del sitio de estudio corresponde a un pastizal natural asociado con otros tipos de vegetación tales como pino-encino (López, 2019). La cobertura vegetal se modifica de un lugar a otro, lo que se asocia a la utilización que el pastizal recibe, encontrando degradación, lo cual se le atribuye al pastoreo de ganado vacuno, equino y ovino que se desplaza durante todo el año en esta zona. La altura del pasto es media de 20 a 70 cm, aunque se mantiene siempre con un porte bajo, debido al pastoreo intenso. La cobertura vegetal rara vez alcanza el 80% y generalmente es menor al 50% (Noyola, 2005).

**Descripción de los sitios de muestreos**

El estudio se desarrolló en campo durante los meses de julio a octubre de 2022. Los sitios muestreados se definieron en función del grado de utilización y acciones de conservación del suelo (Cuadro 1; Figura 1).

**Sitio 1**. Es un sitio con vegetación natural de pastizal amacollado, con gramíneas perennes. Está excluido desde 2007, cuando la CONAFOR, CONAZA y SEDARH implementaron un programa de manejo de microcuencas (Loredo *et al*., 2007), consistente en el levantamiento de bordos en curvas a nivel a fin de promover las terrazas de formación sucesiva. Ocasionalmente se introduce ganado a fin de consumir el pasto que normalmente se consume seco; se observa subpastoreo. Desde 2013 la empresa “Minera San Javier”,

promovió acciones de reforestación con *Pinus greggi;* estos árboles se han desarrollado y han alcanzado alturas mayores a tres metros.

**Cuadro 1**. Sitios de muestreo correspondientes a los tratamientos bajo evaluación.

| Sitio/ Tratamiento | Manejo del ganado | Acciones de conservación | Reforestación |
|---|---|---|---|
| Sitio 1: PPMR | Exclusión | TFS en CN | Reforestado con *Pinus greggi* |
| Sitio 2: PPM | Exclusión | TFS en CN | No reforestado |
| Sitio 3: PC | Pastoreo continúo controlado | Sin obras | No reforestado |
| Sitio 4: PD | Sobrepastoreo | Sin obras | No reforestado |

TFS en CN=Terrazas de formación sucesiva en curvas a nivel

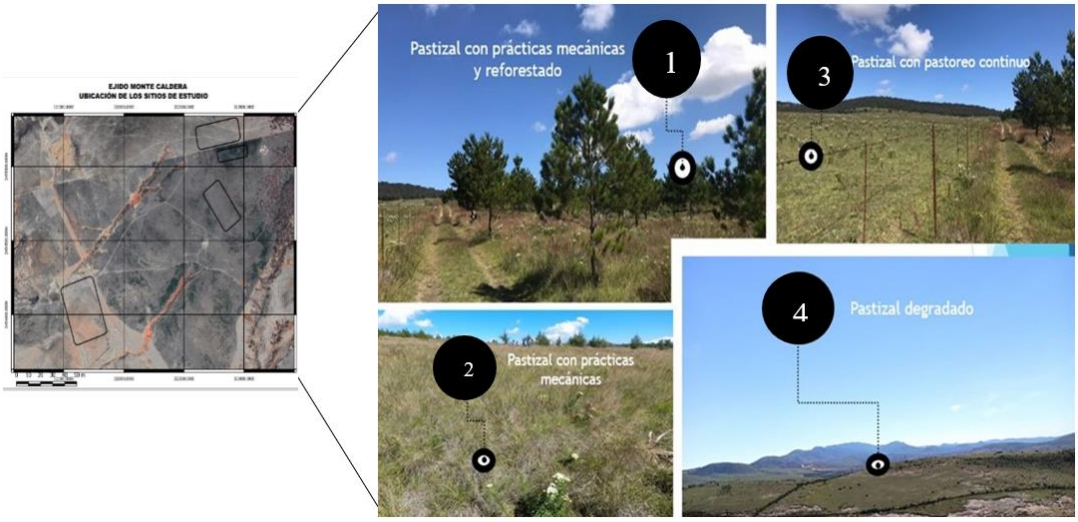



**Figura 1**. Sitios de muestreo correspondientes a los tratamientos bajo evaluación.

**Sitio 2**. Presenta las mismas características del sitio 1, sin la reforestación.

**Sitio 3**. Es un sitio ocupado por gramíneas perennes de porte bajo, localizado en un área de usufructo comunal y se utiliza con pastoreo continuo; el ganado se introduce en los meses de junio a octubre y se excluye de noviembre a mayo. No presenta prácticas de conservación del suelo.

**Sitio 4**. Es un sitio de pastizal dominado por gramíneas perennes de porte bajo, localizado en un área de usufructo comunal y se utiliza para el pastoreo de ganado, con nulo control

de carga animal, manifestándose a simple vista problemas de sobrepastoreo, tales como la presencia de suelo desnudo y escaso desarrollo de la vegetación.

**Evaluación de Condición del Pastizal**

El método utilizado para obtener la condición del pastizal es el que reporta Florez en 1987 citado por Mamani (2020); esta autora lo reconoce como un método práctico no destructivo que permite evaluar con facilidad las diferentes comunidades vegetales. Para la evaluación de la condición se estimaron los siguientes atributos: cobertura vegetal (presencia de suelo desnudo, roca, mantillo orgánico y pedregosidad), composición botánica (especies deseables, menos deseables o indeseables) y vigor, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C= 0.5\ (\%D) + 0.2\ (\%IF) + 0.2\ (100 - BRP) + 0.1\ (\%V) \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde: C.- Condición del pastizal.

D.- % de especies deseables.

IF. - % Índice forrajero (% especies deseables + % especies menos deseables)

BRP. - % de suelo desnudo, roca, mantillo orgánico, pedregosidad.

V.- % Vigor

Se realizaron en campo veinte puntos de muestreo, cinco por cada sitio ó tratamiento, utilizando el método de muestreo aleatorio y los métodos para evaluar cada variable fueron los siguientes:

Composición Botánica

La composición botánica se determinó a través de la colecta de cada espécimen de planta presente, por cada sitio. Se prepararon para su identificación, fueron depositadas en una prensa botánica (Kaufmann *et al*., 2019; Reyes *et al*., 2019; Saucedo *et al*., 2021). Las especies encontradas fueron clasificadas taxonómicamente y de acuerdo con su grado de deseabilidad o palatabilidad para el ganado se clasificaron en especies deseables, poco deseables e indeseables (COTECOCA, 1974; Cantú, 2010; Ruyle et al., 2010; Mamani, 2020; Tácuna *et al*., 2021). Este atributo fue medido en los meses de septiembre y octubre; dicha época es cuando los pastos presentan semilla en mayor cantidad, lo que facilita su

identificación (Tácuna *et al*., 2021); el procedimiento se llevó a cabo con ayuda del método de parcelas cuadradas (Medina *et al*., 2017; Reyes *et al*., 2019; Mamani, 2020).

Cobertura vegetal

La evaluación de la cobertura incluyó el registro de pastos fresco, suelo desnudo, pasto seco, mantillo u hojarasca y rocas, utilizando el método de intercepción en un transecto de 100 m en la modalidad de zig-zag; en cada repetición se contabilizaron 100 lecturas (puntos), el resultado se expresó en porcentaje (Álvarez *et al*., 2016; Mamani, 2020). Los atributos fueron medidos a nivel aéreo y basal (Flores *et al.*, 2018; Kaufmann *et al*., 2019).

Vigor

El vigor se estimó en función de la altura de las plantas presentes con relación al potencial de crecimiento de las especies, considerando que estas pudieran encontrarse en un sitio con las características medioambientales para su perfecto desarrollo. El procedimiento se realizó para cada tipo de especie (Mamani, 2020), el procedimiento consiste en medir con una cinta métrica la altura de la planta y referenciarla a la literatura del alcance que puede llegar a medir cada especie.

Una vez estimados los valores obtenidos de los % de especies deseables (D), Índice forrajero, % de suelo desnudo, roca, mantillo orgánico, pedregosidad y vigor, se procedió a sustituir valores en la ecuación 1 y después de haber obtenido el resultado este fue clasificado de acuerdo a lo descrito por Florez (1987) (Cuadro 2). para determinar en qué condición del pastizal se encuentra cada uno de los sitios muestreados.

**Cuadro 2**. Porcentaje obtenidos mediante la ecuación de Parker, modificado por Florez, 1987 y su ubicación dentro de la clasificación de la condición del pastizal.

| % | Condición |
|---|---|
| 81-100 | Excelente |
| 61-80 | Buena |
| 41-60 | Regular |
| 21-40 | Pobre |
| 0-20 | Muy pobre |

Fuente: Cantú, (2010); Mamani, (2020).

**Producción de biomasa**

Se colectó la biomasa presente en un cuadrante de 0.5 m x 0.5 m. Las muestras fueron colectadas después del periodo de lluvia, mediante el método de corte y separación. Se extrajo toda la biomasa vegetal cortando al ras del suelo, tanto pastos frescos, pastos secos y hierbas. En el laboratorio de Suelo y Agua de la facultad de Agronomía y Veterinaria, las muestras fueron deshidratadas a 70°C durante 72 h, hasta obtener peso constante; enseguida se obtuvo la cantidad de materia seca expresada en ton $ha^{-1}$ de materia seca (Medina, 2003; Cantú, 2010; Valle *et al*., 2011; Vecchio *et al*., 2019; Tácuna *et al*., 2021).

**Evaluación de la Erosionabilidad del Suelo**

Muestreos del suelo

Los muestreos de suelo se hicieron aleatoriamente, a una profundidad de 0 a 30 cm (Ordoñez *et al*., 2016; Jiang *et al*., 2020) considerando cinco repeticiones para cada uno de los cuatro sitios evaluados. Se obtuvieron muestras de 1.5 kg; el suelo fue colocado en bolsas plásticas herméticamente selladas y marcadas, se llevaron al laboratorio de Suelo-Agua de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, las muestras fueron secadas a la sombra y a temperatura ambiente, tamizadas a través de una malla de 2mm para poder obtener las propiedades del suelo relacionadas con la erosionabilidad, la cual se calculó con el método de Wischmeier & Smith 1978 (citado por Vargas, 2015), aplicando la siguiente ecuación:

$K = [(2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - MO) + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)) / 100] * 0.1317$ Ecuación 3

Donde:

M: Factor por textura = $(m_{limo} + m_{amf}) * (100 - m_{arcilla})$

$m_{arcilla}$: Contenido (%) de fracción de arcilla (<0.002 mm)

$m_{limo}$: Contenido (%) de fracción de limo (0.002 – 0.05 mm)

$m_{amf}$: Contenido (%) de fracción de arena muy fina. (0.05 – 0.1 mm)

MO: Contenido de materia orgánica (%).

S: Factor por estructura del suelo

P: Factor por permeabilidad

Los análisis de las propiedades del suelo para estimar la erosionabilidad se obtuvieron a través de los siguientes métodos (Madenoglu *et al*., 2020): Las diferentes fracciones de suelo para determinar la distribución del tamaño de partículas (limo 0.02-0.002mm; arena 2-0.02mm; arcilla, <0.002mm) fueron obtenidas por el método del hidrómetro. El contenido de materia orgánica del suelo se determinó mediante el método de Walkley y Black. La estructura del suelo se determinó para la capa superficial mediante descripción visual en campo. Se consideraron cuatro grados a saber 1.-Suelo granular muy fino; 2.- suelo granular fino; 3.-suelo granular medio o grueso; 4.- suelo en bloques, laminado o masivo de acuerdo a lo expresado por Wischmeier y Smith, 1978).

La conductividad hidráulica del suelo se midió en muestras de suelo perturbado mediante el método de carga constante. Para la clasificación de la conductividad hidráulica se utilizaron seis categorías (Cuadro 3).

**Cuadro 3**. Códigos de permeabilidad para su uso en el nomograma de erosionabilidad.

| CÓDIGO | CLASIFICACIÓN | CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/hr) |
|---|---|---|
| 1 | Muy rápida | > 12.5 |
| 2 | Moderadamente rápida | 6.0 - 12.5 |
| 3 | Moderada | 2.0 - 6.0 |
| 4 | Moderadamente lenta | 0.5 - 2.0 |
| 5 | Lenta | 0.125 - 0.5 |
| 6 | Muy lenta | < 0.125 |

Adaptado de Wischmeier y Smith, 1978.

Análisis Estadístico

El diseño experimental utilizado para el análisis estadístico fue un completamente al azar, considerando 4 tratamientos con un total de 5 repeticiones, donde los tratamientos fueron los sitios en diferente nivel de condición del pastizal. Para separar los promedios de los parámetros estudiados se utilizó una prueba de medias de Tukey (P=0.05). Para relacionar las variables de pastizal y erosionabilidad se corrió un análisis de correlación de Pearson. Todas las pruebas estadísticas correspondientes fueron procesadas utilizando el software SAS v.9.2 (SAS Institute, 2004).

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Condición del Pastizal

Composición botánica

En general las especies deseables son las más comunes, con 8 individuos identificados, las cuales se distribuyen en el sitio Pastizal con Pastoreo Continuo (PC) y en el sitio Pastizal Degradado (PD). En el (Cuadro 4), se describió la composición florística por sitio, la misma fue clasificada en tres grupos: Especies deseables (ED); Menos deseables (MD) e Indeseables (I). Las especies presentes pertenecen a la familia de las Poáceas.

La mayor densidad de individuos encontrados en el sitio de estudio es la especie *Muhlenbergia rígida* con 440 miles de individuos/ha encontrados principalmente en los sitios "pastizal con prácticas mecánicas y reforestado" (PPMR) 224 miles de individuos/ha y "pastizal con prácticas mecánicas" (PPM) con 200 miles de individuos/ha, clasificándose como especies menos deseable, seguida de la especie *Hilaria belangeri* con 352 miles de individuos/ha, clasificándose como especie deseable, encontrada en su mayoría en el sitio "pastizal con pastoreo continuo" (PC), por último la especie *Bouteloua gracilis* con 368 miles de individuos/ha identificada a su vez como especie deseable, de las cuales 288 se distribuyen en el sitio "pastizal degradado" (PD).

*Muhlenbergia rígida*, *Hilaria belangeri* y *Bouteloua gracilis* son especies con mayor densidad en los sitios de muestreo. Las únicas especies presentes en los sitios clasificados como indeseables son *Muhlenbergia emrsleyi* y *Aristida longiseta* con 80 y 72 miles de individuos/ha. Estos resultados evidencian que el manejo establecido en los sitios evaluados influye directamente en el número de especies presentes por hectárea.

La mayoría de las especies presentes en los sitios PPMR y PPM son especies menos deseables e indeseables, esto debido principalmente a las características de las especies tales como la morfológicas de raíces y hojas que las vuelven más eficientes, por otro lado, una alta producción de semillas, altas tasas de germinación, así como las altas tasas de crecimiento y el aprovechamiento eficiente de los recursos en el suelo por la

plántula, sin contar con la destreza para adaptarse a escenarios de disturbio y la tendencia a establecer relaciones simbióticas con los microorganismos presentes en el suelo (Santacruz *et al*., 2004) lo que hace que su presencia en ambos sitios sea exitosa y dominante, lo que se relaciona a lo encontrado por Carrillo *et al*., (2009) expresando que la tasa de germinación varia dentro del 3 al 89% en comparación con las especies nativas, a su vez indica que las especies de genero *Eragrostis* producen 2200 semillas en paralelo con las especies nativas 956 a 1345 respectivamente.

Por otro lado, revela en su estudio que las *Muhlenbergias* muestran un desarrollo del área foliar especifica (AFE) cinco veces mayor y las *Eragrostis* duplicando el de una especie nativa como lo son las *Boutelouas*, en condiciones de suelo natural, debido a las especies presentes en el estudio forman parte de la familia de las Poáceas siendo más tolerantes a la sequía (Santacruz *et al*., 2004). Las especies deseables son más comunes en el sitio PC y PD, que las menos deseables e indeseables.

En total se registraron 424 (miles de individuos/ha) para el sitio PPMR, 320 miles de individuos/ha para el sitio PPM, 1424 miles de individuos/ha en el sitio PC y 1256 miles de individuos/ha en el sitio PD, de las cuales para el sitio PC se contabilizaron 552 miles de individuos/ha de hierbas y para el sitio PD un total de 760 miles de individuos/ha de hierbas las cuales en su mayoría corresponden a plantas anuales, encontrándose solo después del periodo de lluvias, lo que representa un problema ya que una comunidad dominada por especies anuales tiene menor resiliencia en respuesta a la sequía y al disturbio por pastoreo, propiciando que el suelo descubierto presente mayor pérdida de suelo.

Según Mamani, 2020 la presencia de especies anuales indica un estado pobre del pastizal, ya que su estadía en el pastizal es solo anual y a su baja capacidad de retener el suelo. Por otro lado, Tácuna *et al*., 2021 mencionan que el sistema de pastoreo influyó sobre la proporción de hierbas, siendo significativamente mayor en pastoreo con 824.4±2 que en descanso 12.7±1.6, el sistema de pastoreo continuo conservó la proporción de hierbas en mayores niveles, lo contrario a los sitios con descanso previo. Esto se debe a que los sitios en descanso les permiten a los pastos poder crecer y desarrollar hasta su

última etapa fisiológica, generando mayor cantidad de semillas, poblando el área en descanso.

Los resultados indican la presencia de mayor diversidad de especies e individuos por metro cuadrado ($m^2$) en los sitios con PC y PD que, en los sitios con prácticas mecánicas, por lo tanto, el aumento en la diversidad y abundancia de especies en los sitios con PC puede explicarse por varios factores. En primer lugar, el PC puede crear un hábitat heterogéneo con diferentes alturas de pasto y estructuras, lo que proporciona nichos ecológicos variados y fomenta la coexistencia de diferentes especies (Chaneton, 2005). Además, el PC puede promover la regeneración y el rebrote de especies vegetales, lo que a su vez puede aumentar la disponibilidad de recursos alimenticios para las especies herbívoras (Vecchio, 2014). En cuanto al PD, estudios previos han demostrado que los ecosistemas degradados a menudo presentan una mayor heterogeneidad ambiental y estructural, lo que crea oportunidades para que diferentes especies colonicen y utilicen diferentes microhábitats. Además, las especies tolerantes a las condiciones degradadas pueden aprovechar los recursos y competir con éxito en estos entornos modificados (Ventura, 2016).

Cabe añadir que, en los sitios PC y PD se encontraron la mayoría de las especies. En ese sentido, se proporcionó información útil sobre la composición y calidad del pastizal en relación con las prácticas de manejo y degradación del suelo en cada sitio experimentado, relacionado a que la mayor riqueza de especies se sitúa bajo circunstancias intermedias de disturbio, concordando con Abbott, (2006) mencionando que al contar con niveles moderados de perturbación la diversidad de especies se optimiza, contradictorio a lo reportado por Kaufmann *et al*., (2019) en un tratamiento de pastoreo continuo con altas cargas, comenzando con 17 especies y terminando en 13 especies al término del estudio, disminuyendo la composición botánica del área.

Por otro lado, Tácuna *et al*., 2021 obtiene que después de un periodo de 3 años de descanso el pastizal muestra tendencia al incremento en la composición florística de los sitios con un (71.7 ± 2.8 % en 2011), 2012 (75.1±4.7 %) y 2013 (76.5±2.7%) enfrentado a lo reportado en este estudio, ya que después de un periodo de descanso de 13 años la composición botánica en los sitios PPMR y PPM fueron menores. Por otro lado, Portillo,

(2021) obtiene que de 31 especies encontradas en el área el 8.83% son especies deseables, 35.16% especies indeseables, y 49.63% son especies menos deseables, a su vez Tokozwayo *et al*., (2021) reporta en su estudio, en un área comunal 15 gramíneas identificadas, de las cuales las especies indeseables alcanzan un 80%, mientras que las especies deseables solo cuentan con un 13%, y especies exóticas un 7%, esto posiblemente se debe a que dentro de su estudio también evalúa el estrato arbustivo y arbóreo, los cuales han ido desplazando al estrato herborio, debido al mal manejo de las áreas comunales. Los resultados muestran que la mayoría de las especies pertenecen a la familia de Poáceas, lo cual es consistente con la abundancia de gramíneas en los pastizales. Esta familia es conocida por su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y su importancia en la formación de pastizales (Pakeman *et al*., 2009; Swenson *et al*., 2012).

La clasificación de las especies en deseables, menos deseables e indeseables permite evaluar la calidad del pastizal para las metas de manejo y conservación. La presencia predominante de especies deseables en los sitios indica que se han implementado prácticas de manejo adecuadas, lo que promueve la presencia de especies valoradas por su productividad. Los resultados de este estudio coinciden con lo encontrado por Loya (2014) y Bernal (2015); donde describieron que la especie más abundante en los sitios clasificados como deseables, es *Bouteloua gracilis* siendo una gramínea perenne considerada como una especie clave en pastizales de América del Norte. Esta especie es apreciada por su alta palatabilidad y su capacidad de resistir perturbaciones, lo que convierte en un componente valioso para el ganado y la conservación de suelos.

**Cuadro 4**. Composición florística (miles de individuos/ha) por sitio de estudio, clasificada en especie deseable, menos deseable e indeseable* con fines de consumo animal.

| | | | Sitios de evaluación | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Especie** | **Familia** | **Clasificación** | **PPMR** | **PPM** | **PC** | **PD** |
| *Eragrostis intermedia* | Poáceas | ED | 64 | 40 | 16 | 0 |
| *Bouteloua curtipendula* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 32 | 8 |
| *Bouteloua gracilis* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 80 | 288 |
| *Bouteloua repens* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 32 | 16 |
| *Lycurus phleoides* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 80 | 80 |
| *Bouteloua chondrosioides* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 32 | 32 |
| *Hilaria belangeri* | Poáceas | ED | 0 | 0 | 328 | 24 |
| *Microchloa kunthii* | Poaceas | ED | 0 | 0 | 136 | 16 |
| *Setaria grisebachi* | Poáceas | MD | 0 | 0 | 40 | 0 |
| *Muhlenbergia rigida* | Poáceas | MD | 224 | 200 | 16 | 0 |
| *Eragrostis mexicana* | Poáceas | MD | 40 | 24 | 8 | 0 |
| *Hopia obtusa* | Poáceas | MD | 16 | 0 | 0 | 0 |
| *Bouteloua dactyloides* | Poáceas | MD | 0 | 0 | 16 | 8 |
| *Bouteloua simplex* | Poáceas | MD | 0 | 0 | 32 | 24 |
| *Muhlenbergia emrsleyi* | Poáceas | I | 40 | 40 | 0 | 0 |
| *Aristida longiseta* | Poáceas | I | 32 | 16 | 24 | 0 |
| *Hierbas* | | | 8 | 0 | 552 | 760 |
| *Total* | | | 424 | 320 | 1424 | 1256 |

** Para la clasificación de ED: especies deseables; MD: menos deseables; I: indeseables se consideró la clasificación de COTECOCA 1974.*
*PPMR: Pastizal con prácticas mecánicas y reforestado, PPM: Pastizal con prácticas mecánicas, PC: Pastizal con pastoreo continuo, PD: Pastizal degradado.*

La existencia de especies menos deseables e indeseables en menor cantidad sugiere que los sitios han experimentado cierto grado de degradación. Estas especies, como *Muhglenbergia rígida, Mulenbergia emrsleyi* y *Aristida longiseta* suelen ser menos productivas y valoradas desde el punto de vista forrajero. Su presencia puede indicar un historial de pastoreo intenso, malas prácticas de manejo o condiciones ambientales adversas donde coincidimos con los autores como Briscoe *et al*., (2021); Gutiérrez (2021); y McCullough, (2022).

Morales *et al*., 2020). Mogro, (2022) indicó que un mayor número de individuos puede indicar una mayor productividad y estabilidad del pastizal, en este estudio se contabilizaron un total de 2124 (miles de individuos/ha) de pastos, lo que proporciona una buena medida de diversidad y densidad de la vegetación presente en los sitios, sin contar 1320 (miles de individuos/ha) de hierbas.

Algo que se pudo apreciar en el estudio es la tendencia al aumento de la vegetación de especies menos deseables e indeseables en los sitios Pastizal con Pastoreo Continuo (PC) y Pastizal Degradado (PD) indicando que si el manejo que se tiene actualmente no mejora, estos sitios serán ocupados por especies menos deseables e indeseables, disminuyendo el índice forrajero con el que cuentan actualmente, estos hallazgos concuerdan con los resultados informados por Tokozwayo *et al*., 2021 mostrando que el incremento de especies menos deseables e indeseables indican el deterioro del pastizal, siendo un indicador del sobrepastoreo, el cual acelera el cambio de composición botánica. Por otro lado, Saucedo *et al*., 2021 revela que algunas gramíneas de valor forrajero bajo cumplen un rol ecológico desempeñando otras funciones importantes dentro del ecosistema.

De manera general la información obtenida indica que la vegetación encontrada se relaciona en función de la gestión del pastoreo y es por ello por lo que la vegetación está en un proceso de deterioro, lo que ha provocado la alteración y pérdida de especies más palatables, y a su vez el incremento de las especies indeseables, modificando la estructura de los pastizales. Las decisiones de manejo en cuanto a la relación de las variables de estructura del pastizal como altura, cobertura vegetal, biomasa y la forma moderada del pastoreo serán los que provean de un aumento en la diversidad vegetal.

Se puede observar que no se guarda una relación del número de plantas por unidad de superficie respecto a la cobertura que estas expresan, lo que confirman que la cobertura está asociada al crecimiento aéreo como una respuesta indirecta a la acumulación de humead en el suelo y por ende mayor disponibilidad de forraje, lo que se puede apreciar claramente en el apartado de cobertura vegetal aérea. Donde se reportan un porcentaje de 58.68 % y 96.46% para los sitios PPMR y PPM siendo significativamente mejores que los

sitios PC y PD, lo contrario a la densidad de especies por metro cuadrado que se reportan en este apartado.

Cobertura vegetal

En el Cuadro 5, se muestra el porcentaje de cobertura vegetal basal en los cuatro sitios evaluados y clasificados según los diferentes manejos que el área de pastizal ha recibido. De la misma manera, los resultados indicaron que existe diferencia significativa de cobertura para cada sitio evaluado. En consecuencia, en el sitio PPMR muestra una cobertura vegetal basal, con porcentajes relativamente altos de pasto seco (84.56%), pasto verde (5.19%) y hierba (3.28%). Según este resultado, la reforestación y el manejo mecánico han permitido una recuperación parcial de la vegetación. Además, se observó una mayor proporción de pasto verde (16.51) y pasto seco (55.7) en el sitio Pastizal con Prácticas Mecánicas (PPM), lo que indica una disminución en la diversidad y la presencia de hierbas, como se puede observar estos sitios cuentan con nula cantidad de hojarasca, esto es debido al alto porcentaje de pasto seco que se registró, lo cual podría ser el resultado de la disposición de cercos, el descanso del pastizal, las obras de conservación del suelo y agua, la intervención topográfica y el tipo de especies palatales y de alta gustocidad para el ganado que disponen algunos de los sitios, lo que fomentan la propagación de especies más resistentes,

Por otro lado, los pastizales con pastoreo continuo (PC) tuvieron una cobertura de pasto (45.75%) y un incremento en suelo desnudo (29.86%), lo que sugiere que el pastoreo continuo tiene un impacto significativo en la reducción de la cobertura vegetal y la exposición del suelo, siendo estos últimos más susceptibles a la degradación. Además, se encontró un porcentaje considerable de hojarasca (12.05%), posiblemente debido a la acumulación de desechos de heces. A su vez el sitio Pastizal Degradado (PD) mostro un incremento en el porcentaje de suelo desnudo (67.92%) y una baja cobertura de pasto (18.24%), lo que indica una degradación significativa del pastizal. La presencia de pedregosidad (9.2%) también se destacó, indicando condiciones desfavorables para el crecimiento de la vegetación. Los análisis estadísticos comprueban lo observado en campo, identificando un nivel alto de degradación de la vegetación en el área, la cual no está delimitada, siendo tierras sobre pastoreadas.

**Cuadro 5**. Cobertura basal en los sitios muestreados.

| Sitio | Pasto verde | Pasto seco | Hierba | Suelo desnudo | Hoja-rasca | Pedre-gosidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PPMR** | 5.19c | 84.56a | 3.28b | 6.95c | 0 b | 0.0b |
| **PPM** | 16.51b | 55.7b | 16.89a | 1.90c | 9 b | 0.0b |
| **PC** | 45.75a | 0c | 12.31a | 29.86b | 12.05a | 0.0b |
| **PD** | 18.24b | 0c | 4.07b | 67.92a | 0b | 9.2a |

*PPMR: Pastizal con Practicas Mecánicas y Reforestado; PPM: Pastizal con Practicas Mecánicas; PC: Pastizal con Pastoreo Continuo; PD: Pastizal Degradado.*
M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey (α ≤ 0,05).*

Estos resultados concuerdan por lo encontrado por Melo *et al*., (2023) reportando que las prácticas de reforestación y manejo mecánico pueden mejorar la cobertura vegetal y promover la recuperación de especies deseables en los pastizales. Cabe recordar, que el sitio Pastizal con Prácticas Mecánicas y Reforestado se exhibió una cobertura vegetal con altos porcentajes pasto seco, pasto verde y hierba, debido a que las obras de conservación del suelo y agua les permitieron hacer un uso más eficiente de las lluvias, generando condiciones óptimas para su desarrollo. Investigadores como Dorado *et al* (2020), Florez, (2023), Rodríguez *et al*., (2022) indicaron que prácticas de manejo que fomentan el pastoreo selectivo o el uso de maquinaria pesada pueden conducir a cambios en la composición y la estructura de la vegetación, favoreciendo especies más resistentes.

En este estudio los sitios PPMR y PPM, muestran un estado de subutilización debido al descanso prolongado al que fueron sometidos. De la misma manera la presencia de una alta cobertura de pastos y de suelo desnudo en el sitio PC, indicaron que el pastoreo intenso puede provocar la reducción de la cobertura vegetal y la exposición del suelo (Borrelli et al., 2001). También se encontró la presencia de un considerable porcentaje de hojarasca en el PC, ese hallazgo puede estar relacionado por la acumulación de residuos vegetales debido al pastoreo y la descomposición lenta de heces, donde la cobertura vegetal es reducida. Riaño *et al*., (2020) encontraron que el pastoreo intenso puede provocar la reducción de la cobertura vegetal y la exposición del suelo y este resultado concuerda con lo determinado en el sitio PC de nuestra investigación. En el último sitio, correspondiente a PD, caracterizado por una baja cobertura de pasto y un alto porcentaje de suelo desnudo, es coherente con los resultados de investigaciones previas sobre la

degradación de pastizales debido a prácticas de manejo inadecuadas o condiciones ambientales adversas. Los resultados presentados coinciden con lo encontrado por Villadiego *et al*., (2020) que determinaron alternativas de manejo sostenibles para evitar la degradación de los suelos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas en la cobertura vegetal entre los sitios evaluados, lo que manifiesta la importancia de diferentes prácticas de manejo en los pastizales. Mientras que algunos sitios muestran una repercusión parcial de la vegetación, otros revelan una degradación significativa. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas tales como los de Borrelli *et al*., (2001) y García, (2018) sobre la influencia del manejo y las condiciones ambientales en la cobertura vegetal de los pastizales.

En el Cuadro 6 se muestra el porcentaje de cobertura vegetal aérea de cada uno de los cuatro sitios evaluados. Los resultados mostraron que la cobertura vegetal aérea varió significativamente entre los sitios. En ese sentido, en el sitio PPMR se encontró una cobertura vegetal aérea relativamente equilibrada, con un alto porcentaje de pasto verde (58.68%), seguido por pasto seco (20.78%) y hierba (16.99%). Esto indica que la reforestación y la implementación de obras mecánicas han permitido la recuperación de la vegetación, creando un ambiente más favorable para diferentes especies, dado que en estos sitios no hubo pastoreo, tuvieron la ventaja en la captación y utilización del agua de las lluvias, dada la diferencia inusual de pasto seco entre sitios e incrementos en la cantidad de materia seca que beneficia directamente la productividad del sitio, aunque se puede llegar a tener un efecto negativo con la elevada cantidad de material senescente impidiendo que nuevas plantas puedan germinar, el pasto contabilizado en estos sitios contaba con un nivel adecuado de su vigor, lo que genera que abarquen un diámetro más amplio de terreno de muestreo, eso desde el punto de vista productivo, pero desde el punto de vista ecológico el descanso de los sitios logró mejorar la cobertura vegetal aérea, propiciando un paso lento del agua  ya que funcionó como un filtro de agua, reduciendo los escurrimientos superficiales, generando un incremento de la infiltración del agua, lo que permitió que estos sitios mantuvieran el vigor de las especies.

Por otro lado, la cobertura vegetal aérea del sitio de PPM fue principalmente de pasto verde (96.46%) este alto porcentaje puede estar relacionado con una disminución en la diversidad de especies y prácticas de manejo que promueven especies de pasto más resistentes y competitivas. Aunque esto es opuesto a lo encontrado por Tácuna *et al*., (2021) ya que el indica que el descanso beneficia la recuperación natural de la florística en ecosistemas de pastizal degradados, reparando la integridad biótica del pastizal al mantener dominancia de plantas nativas y reduciendo la invasión de otras especies, situación que favorece un incremento en la cobertura vegetal, esta contradicción posiblemente se debe al periodo de descanso al que fue sometido el pastizal durante su investigación, ya que fue alrededor de 3 años mientras que estos sitios llevan 13 años en descanso.

En cuanto al sitio PC, tuvo una cobertura vegetal aérea dominada por pasto (70.65%) y una proporción significativa de suelo desnudo (14.5%) este resultado se puede explicar debido al tipo de pastoreo, el mismo que tiene un impacto significativo en la reducción de la cobertura vegetal y la exposición al suelo. Estos hallazgos corroboran los descubrimientos de otros estudios sobre los efectos del pastoreo intensivo en la vegetación (Borrelli *et al*., 2001). En adición, en el último sitio correspondiente al Pastizal Degradado (PD), se encontró una cobertura vegetal aérea relativamente baja de pasto verde (28.73 %) y una alta proporción de suelo desnudo (55.57%), debido a que este sitio ha sufrido una elevada defoliación, llevando al sitio a un excesivo sobrepastoreo, lo que se relaciona con lo mencionado por Tácuna *et al*., 2021, la cobertura vegetal se ve afectada por el pastoreo continuo y el sobrepastoreo, reduciendo la disponibilidad y almacenamiento de agua en el suelo, debido a que no desempeña su rol protector frente a la erosión, evaporación y radiación, causado por la remoción frecuente de biomasa vegetal, generando una pérdida del nivel de humedad en el suelo.

Por otro lado, Echaverría *et al*., 2015 reportan sitios en sobrepastoreo que manifiestan una depreciación de la cobertura vegetal, disminución de plantas palatables y de mayor preferencia para el ganado. Se muestra una reducción drástica en el porcentaje de cobertura vegetal aérea y basal, debido a que la estructura de la vegetación se relaciona con la gestión del pastoreo, el cual ha ido deteriorándose, generando una pérdida de

vegetación, remplazada por un área conocida como suelo desnudo, sinónimo de superficies desnudas (erosionadas) y una vegetación extremadamente degradada, que a su vez afecta la estabilidad del suelo y por ende la función hidrológica del pastizal, debido a la baja infiltración, beneficiando el escurrimiento e induciendo la inestabilidad del suelo, ya que la cobertura vegetal no solo está relacionada con la protección al suelo, por la cubierta de gramíneas y/o hierbas presentes, sino también por la capacidad de almacenar una mayor cantidad de humedad en el suelo.

Gutiérrez *et al*., (2022) señala que la pérdida de cobertura vegetal trae consigo una mínima producción forrajera y una baja cobertura vegetal y por ende un aumento del área de suelo desnudo, lo que amplifica la pérdida de suelo y agua propiciando paralelamente el incremento de herbáceas y arbustivas indeseables para el ganado, por otro lado Yan *et al*., 2021 afirma que el pastoreo excesivo es la causa principal de degradación de los pastizales, fortaleciendo la degradación y desertificación en pastizales semiáridos del mundo.

Estos resultados corroboran estudios previos que han demostrado que la degradación de los pastizales puede resultar en una disminución en la cobertura vegetal y una mayor exposición al suelo como resultado de prácticas de manejo inadecuadas o condiciones ambientales adversas (Villadiego *et al*., 2020).

**Cuadro 6**. Cobertura aérea (ton MS $ha^{-1}$) en los sitios bajo estudio.

| Suelo | Pasto verde | Pasto seco | Hierba | Suelo desnudo | Hoja-rasca | Pedre-gosidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PPMR** | 58.68c | 20.78a | 16.99a | 3.54c | 0b | 0.0b |
| **PPM** | 96.46a | 1.87b | 1.35b | 0c | 0.27a | 0.0b |
| **PC** | 70.65b | 0c | 12.82a | 14.5b | 2.01a | 0.0b |
| **PD** | 28.73d | 0c | 6.13b | 55.57a | 0b | 9.3a |

*PPMR: Pastizal con Practicas Mecánicas y Reforestado; PPM: Pastizal con Practicas Mecánicas; PC: Pastizal con Pastoreo Continuo; PD: Pastizal Degradado.*
M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey ($\alpha \leq 0,05$).*

Sin embargo, es importante mencionar que los resultados del sitio con pastizal degradado también mostraron una presencia significativa de pedregosidad (9.3%), este

aspecto puede estar relacionado con factores ambientales, como la naturaleza del suelo y la topografía del sitio, que pueden influir en la cobertura vegetal y dificultar el crecimiento de la vegetación (León, 2016; Alvarado, 2022). Los resultados obtenidos muestran diferencias en la cobertura vegetal basal entre los sitios bajo estudio y la influencia del manejo y las condiciones ambientales en la composición y estructura de la vegetación. Los resultados son consistentes con estudios previos que han investigado los efectos del manejo y las prácticas de pastoreo en los pastizales, así como la degradación de los pastizales debido a condiciones adversas (Loza *et al*., 2022; Tácuna, 2022).

Vigor

El Vigor de la especie clave o dominante se determinó utilizando como patrón de medida, la altura, comparada con una especie en su optimo desarrollo, bajo las mejores condiciones de acuerdo con el medio ambiente. El vigor de la planta no solo hace referencia a la altura, sino también a la productividad ya que en dos de los sitios es muy baja.

En el (Cuadro 7), se muestra el índice de vigor de las especies forrajeras observadas en el área de estudio de nuestra investigación. Se realizo una comparación de medias de los índices de vigor de las especies forrajeras entre los cuatro sitios del área de estudio. En ese mismo sentido, se encontraron altos porcentajes de índice de vigor en el área PPMR y PPM con 89 y 93.61% respectivamente los cuales fueron estadísticamente iguales y superaron los índices de los sitios PC y PD que registraron índices muy bajos, 14.83 y 6.164 %, respectivamente.

Estas diferencias significativas en el vigor de las especies forrajeras entre los sitios pueden deberse a las prácticas de manejo utilizadas en cada uno de ellos. Los sitios PPMR y PPM, recibieron un periodo de descanso de aproximadamente 13 años, a su vez cuentan con prácticas de conservación del suelo y agua que les permitieron generar condiciones medioambientales para tener un crecimiento optimo y para el sitio PPMR tiene una reforestación con especies de pinos *Pinus greggi* y *Cupressus lindley*, mostrando un mayor vigor, lo que indica que estas prácticas pueden ser benéficas en la salud y el crecimiento de las especies forrajeras.

Por otro lado, los valores de vigor de los sitios PC y PD son significativamente más bajos porque están sujetos a pastoreo y degradación constante por especies como ovinos, bovinos y equinos, lo que se aprecia claramente en el tamaño de la corola, altura, ancho, largo y numero de hojas presentes. Esto puede sugerir que el pastoreo continuo y en su defecto el sobrepastoreo tiene un efecto negativo en la salud y la fuerza de las especies forrajeras.

El vigor de la especie en los sitios Pastizal con Pastoreo Continuo y (PC) y Pastizal Degradado (PD) revela el estado en deterioro, a pesar de contar con especies más resistentes al pastoreo no logran recuperarse, lo que se debe a las intensas cargas animales y a la falta de manejo en estos sitios, generando la disminución de su área foliar y por ende la fotosíntesis, permitiendo el incremento de especies poco deseables, de acuerdo con (Amaro *et al*., 2004) cosechar el potrero mientras el estado fisiológico de la planta se encuentre en un área foliar especifica alta se incrementa la apetencia por el animal y la fragilidad de las hojas, aumentando a su vez el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, lo que resulta negativo para la planta, apoyado a su vez por (Tácuna *et al*., 2021) ya que el menciona que el vigor de la planta clave se ve influenciado por el sistema de pastoreo que reciben cada uno de los sitios, reportando que el vigor de la especie clave en pastoreo continuo tiende a ir disminuyendo año con año, en 2011; 13.4±2.3, 2012; 12.1±3.7, 2013; 8.9±2.1%, y para el caso de los sitios con descanso Tácuna *et al*.,2021 reporta que el vigor de la especies clave tiene a aumentar para 2011,2012 y 2013 los siguientes valores 16.3±1.5, 17.8±2.5 y 18.2±3.0 respectivamente.

Los resultados de este estudio muestran que, las prácticas de manejo, como el pastoreo continuo y las prácticas mecánicas con reforestación, parecen influir en el vigor de las especies forrajeras. Estos resultados concuerdan con estudios previos de Baughman (2023) y Tokozwayo *et al*. (2023) y que, demostraron la importancia de las prácticas de manejo en la salud y el crecimiento de las especies forrajeras, a su vez concuerdan con lo reportado por Tácuna *et al*., 2021 donde el vigor de la planta disminuye en sistemas de pastoreo continuo y pastizales altamente degradados.

**Cuadro 7**. Índice de vigor de las especies forrajeras observadas en el área de estudio.

| Sitio | Vigor promedio (%) |
|---|---|
| PPMR | 100a |
| PPM | 93.61a |
| PC | 14.83b |
| PD | 6.164b |

*PPMR: Pastizal con Practicas Mecánicas y Reforestado; PPM: Pastizal con Practicas Mecánicas; PC: Pastizal con Pastoreo Continuo; PD: Pastizal Degradado.*
M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey (α ≤ 0,05).*

**Condición del pastizal en cuatro sitios de estudio**

Al término de la evaluación de los atributos necesarios para la obtención de la condición del pastizal, se muestra en el (Cuadro 8), la determinación de la ecuación en los cuatro sitios del ejido Monte Caldera. Los atributos evaluados incluyen las especies deseables (D), el índice forrajero (IF), la presencia de suelo desnudo, roca, materia orgánica y pedregosidad (BRP) y el vigor (V) de los pastizales. En términos de las especies deseables (D), se observó que los sitios PC y PD presentaron valores más altos (50.36 y 39.60, respectivamente) en comparación con PPMR y PPM (15.27 Y 16.50, respectivamente). Esto indica que los sitios con pastoreo continuo y pastizal degradado tienen una mayor presencia de especies deseables en comparación con los sitios con prácticas mecánicas y reforestación.

Por otro lado, el Pastizal con Prácticas Mecánicas y Pastizal con Prácticas Mecánicas y Reforestado en el atributo Índice Forrajero (IF), registraron valores más altos (82.50 y 79.66, respectivamente) en comparación con PC y PD (58.81 y 41.67, respectivamente). Esto sugiere que los sitios en los que se cuenta con obras de conservación del suelo y agua tienen un mayor potencial forrajero en comparación con los otros sitios evaluados, estos resultados implican que una mayor diversidad de especies puede estar relacionada con las actividades de manejo presentes o empleados en cada sitio.

Estos hallazgos son consistentes con investigaciones anteriores que han mostrado como el manejo en los pastizales (pastoreo continuo y sobrepastoreo), pueden afectar negativamente las condiciones del pastizal. Por ejemplo, estudios de Condo (2023),

demuestran que el pastoreo continuo puede reducir la diversidad y el vigor del pastizal, mientras que por el contrario las obras de conservación del suelo y agua pueden influir de manera positiva en la acumulación de biomasa y la composición de especies.

Mientras que, en el atributo que mide la presencia de suelo denudo, roca, materia orgánica y pedregosidad (BRP), se observó que los sitios PPMR y PPM tuvieron valores más bajos (6.95 y 10.9, respectivamente, en comparación con PC y PD (41.92 y 77.14, respectivamente). Esto indica que los sitios con prácticas mecánicas y reforestado tienen una menor proporción de suelo desnudo, roca y pedregosidad en comparación con lo sitios PC y PD.

En adición, con relación al vigor (V) de los pastizales, se registraron valores más altos en los sitios PPMR y PPM (100 y 93.61, respectivamente) mostrando una significativa diferencia estadística en comparación con PC y PD (14.83 y 6.16, respectivamente). Esto sugiere que los sitios con prácticas mecánicas, tanto con reforestación como sin ella, tienen un mayor vigor de los pastizales en comparación con el pastoreo continuo y el pastizal degradado.

Por último, el puntaje total obtenido para cada sitio indica que el sitio Pastizal con Prácticas Mecánicas y Reforestado presenta el puntaje más alto (52.18), seguido por PPM (51.93), PC (50.04) y PD (33.32). De acuerdo con el cuadro de rangos los sitios PPMR, PPM, PC se clasifican como “Regular”, mientras que PD se clasifica como “Pobre” en términos de la condición del pastizal. Cabe añadir que, en los sitios de Pastizal con Pastoreo Continuo y Pastizal Degradado tienden a tener una mayor presencia de especies deseables, mostrando a su vez un menor índice forrajero, menor vigor de la especie clave, mayor proporción de suelo desnudo en comparación con los sitios con prácticas mecánicas y reforestación, estas diferencias fueron explicadas en cada uno de los atributos medidos con anterioridad. Los resultados de este estudio respaldan la importancia de implementar prácticas de manejo adecuadas, como el pastoreo continuo con periodos de descanso y las prácticas mecánicas, para mejorar la productividad del pastizal. Además, resaltan la necesidad de abordar la degradación del pastizal y considerar la conservación de la biodiversidad como un objetivo central en las estrategias de gestión.

La presencia de especies deseables en los pastizales es un indicador clave de su calidad y productividad y se ha demostrado que la presencia de especies deseables en los pastizales está relacionada con una mayor producción de forraje y una mejor capacidad de recuperación después del pastoreo (Zarria, 2015; Enriquez *et al*., 2021), en este caso los sitios PC y PD están sujetos al sobrepastoreo y por consecuente a la degradación, los resultados que hoy se presentan con el paso del tiempo si las condiciones de manejo que hasta ahora se han impuesto en los sitios terminaran por degradarlos. Por otro lado, se puede percibir correctamente que las obras de conservación del suelo y agua son benéficas para la recuperación y el restablecimiento de especies, aunque el periodo de exclusión no tanto ya que estos sitios han sufrido subutilización, homogeneizando la diversidad de especies, poniendo en riesgo de la misma manera a los sitios. El índice forrajero es una medida de la cantidad y calidad del forraje disponible en un pastizal, un mayor índice forrajero indica una mayor disponibilidad de alimento para el ganado y, por lo tanto, una mayor capacidad de sostener una carga animal más alta (Grijalva *et al*., 1995), de igual manera es importante considerar la gustocidad y palatabilidad de las especies para el ganado, ya que esto puede influir en el consumo de forraje dentro de cada uno de los sitios.

La presencia de suelo desnudo, roca y pedregosidad en los pastizales puede indicar una menor cobertura vegetal y una mayor degradación del suelo (Tácuna *et al*., 2015), lo que se pude percibir claramente en los sitios con PC y PD. Los resultados indican que los sitios se encuentran sobrepastoreados (PC y PD) y subutilizados (PPMR y PPM) lo que significa para estos últimos sitios, a pesar de contar con buena producción de materia seca, era poco aprovechable, a su vez las especies que ahí se encontraban tienen las características de limitar la diversidad de especies forrajeras. Esta situación se repite en los primeros sitios, pero de manera contraria, ya que el sobrepastoreo debido a las altas cargas animales por el ganado bovino, equino y ovino sin control son altamente degradadores relacionado a lo reportado por Chairez *et al*., 2006, ya que un sistema tradicional de pastoreo no permite obtener el máximo rendimiento, induciendo al sobrepastoreo.

La condición de los pastizales se define como el estado de salud de los pastizales en términos de diversidad de especies y el potencial para producir forrare de buena calidad

para el ganado (Tokozwayo *et al*.,2021), es por ello los cuatro sitios a pesar de contar con buena cobertura vegetal, se ubica en condición regular y pobre, eso desde el punto de vista productivo, ya que el conocer el nivel de condición del pastizal de los sitios estudiados sirve para tomar decisiones que mejoren las condiciones ecológicas y productivas del pastizal para poder garantizar un equilibrio entre el cuidado de los recursos naturales y la rentabilidad de los sistemas de pastoreo.

**Cuadro 8**. Atributos para evaluar la condición del pastizal en Monte Caldera

| Atributo | Especies deseables | Índice forrajero | BRP | Vigor | Condición del pastizal | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PPMR | 15.27 b | 79.66 ab | 6.95 c | 100 a | 52.18 a | Regular |
| PPM | 16.50 b | 82.50 a | 10.9 c | 93.61 a | 51.93 a | Regular |
| PC | 50.36 a | 58.81 bc | 41.92 b | 14.83 b | 50.04 a | Regular |
| PD | 39.60 ab | 41.67 c | 77.14 a | 6.16 b | 33.32 b | Pobre |

*PPMR: Pastizal con Practicas Mecánicas y Reforestado; PPM: Pastizal con Practicas Mecánicas; PC: Pastizal con Pastoreo Continuo; PD: Pastizal Degradado*

*BRP: Suelo desnudo, roca, materia orgánica, pedregosidad.*
M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey (α ≤ 0,05).*

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que en el sitio de PPMR se registró una condición regular con un promedio de (52.18), seguido del sitio PPM con un valor de (51.93), continuando el sitio PC con un valor promedio de (50.04), de los cuales no se encontró diferencia significativa (P<0.05), fue el sitio cuatro Pastizal Degradado (PD) el que reporto una menor condición del pastizal, con un promedio de (33.32) cayendo en el rango de condición pobre. Estos resultados implican que las acciones de conservación del suelo y agua y la reforestación tienen efectos positivos en la cantidad y calidad del forraje, siendo el manejo (periodo de descanso) el que afecto la salud del pastizal, ya que a estos sitios estaban dominados por especies consideradas menos deseables e indeseables. Por otro lado, el sitio Pastizal Degradado (PD), al recibir carga animal constantemente le ha provocado que las especies deseables presentes pierdan vigor, a su vez se comienza a contabilizar un elevado porcentaje de suelo desnudo, siendo estos dos atributos los de mayor peso en la evaluación de la condición del pastizal en este sitio.

Estos resultados son consistentes con investigadores anteriores que han demostrado la importancia del manejo adecuado en la conservación y mejora de las condiciones del pastizal. Por ejemplo, Escobar, (2019) y Chamorro, (2022) encontraron que las prácticas de manejo intensivo, como el uso de maquinaria y la aplicación de reforestación, pueden tener un impacto significativo en la estructura y composición del pastizal. Esto podría explicar que en los sitios PPMR y PPM, los cuales involucraron actividades de manejo más intensivas, tanto las obras de conservación, la reforestación y la exclusión haya registraron las mejores condiciones de pastizal en nuestra investigación. Tomando en cuenta los resultados de este trabajo, se resalta la importancia de conservar y mantener las condiciones adecuadas del pastizal.

**Biomasa y pasto seco**

En la figura 2, se observan los resultados obtenidos para la producción de forraje. La máxima producción de biomasa en toneladas de materia seca por hectárea (ton/MS/ha$^{-1}$), ocurrió en los sitios donde se realizaron actividades de prácticas mecánicas (PPMR y PPM) que registraron biomasas de 14.43 y 11.75 ton/MS/ha$^{-1}$ respectivamente, aunque estadísticamente estos sitios no son significativos ($P=0.05$), superan persuasivamente las biomasas registradas en los sitios de Pastizal con Pastoreo Continuo y Pastizal Degradado (PC y PD) de los cuales ninguno de los dos sitios se llegó a contabilizar más de 1 ton/MS/ha$^{-1}$.

Por otro lado en cuanto a la cantidad de biomasa proveniente del pasto seco contabilizado, fue el sitio PPM quien reporto la máxima cantidad con un total de 9.04 ton/MS/ha$^{-1}$ con una diferencia de 1.37 ton/MS/ha$^{-1}$ a la biomasa registrada en PPMR (7.67 ton/MS/ha$^{-1}$), esto es causado por la transformación del pastizal a ecosistema forestal ya que este sitio fue reforestado por *Pinus greggi* y *Cupressus lindleyi* de los cuales sus doseles han impedido el aprovechamiento de la luz, a su vez la materia seca que de ellos se desprende comenzó a generar un colchón sobre el suelo, impidiendo que nuevas especies de pasto germinen y o tengan el mismo desarrollo que las pastos encontrados en el sitio PPM; Velasco 2001 reporta que el pasto ovillo (*Dactylis glomerata L*) al haber alcanzado su máxima área foliar, aumenta la tasa de senescencia y desintegración de tejidos, hasta igualar o resaltar la tasa de crecimiento, indicando que la biomasa de hojas

disminuye gradualmente a consecuencia del aumento de la tasa de senescencia, se ha observado que en periodos largos sin defoliación la proporción de hoja verde: tallo decrece progresivamente, afectando la eficiencia fotosintética y en consecuencia el forraje aprovechable, es por ello que las especies de pinos presentes en el sitio Pastizal con Prácticas Mecánicas y Reforestado, generan una deficiencia en el crecimiento del pasto a su vez la biomasa no consumida en el sitio Pastizal con Prácticas Mecánicas hace que la cantidad de materia seca (MS) a base de pasto seco sea mayor, lo ocurrido cuando la tasa de senescencia y descomposición, superan la tasa de producción de hojas, la senescencia de hojas, implica una pérdida gradual en la actividad fotosintética, que conduce a una degeneración y muerte de tejido cuando las hojas se encuentran por debajo del punto de compensación por luz.

Debe resaltarse que las gramíneas *Muhlenbergia rígida, Eragrostis mexicana, Aristida longiseta, Muhlenbergia emrsleyi* registradas en los muestreos están catalogadas como especies menos deseables e indeseables, lo que ocasiona que no sean tan palatables para el ganado, ubicadas principalmente en los sitios PPMR y PPM, sumando que sus características morfológicas y fisiológicas descritas en el apartado de composición botánica hace que su desarrollo sea dominante en comparación con las otras especies presentes en los sitios PPC y PD. Este descubrimiento concuerda con lo reportado por Miranda, 2021 el cual indica que la población dominante de estas especies, por los propios fenómenos de competencia, impiden el desarrollo de especies diferentes, en el caso de los sitios PPC y PD el pastoreo incentiva el desarrollo de especies como *Muhlenbergia rígida, Eragrostis mexicana, Aristida longiseta, Muhlenbergia emrsleyi en* detrimentos de especies deseables como por ejemplo *Bouteloua curtipendula, Bouteloua grasilis, Lycurus phleoides.*

Los resultados indican que el manejo previamente establecido influye mucho sobre la biomasa, material senescente y vigor de las especies, debido principalmente al periodo de descanso, la cual se ve favorecida con todos y cada una de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación previamente establecidas en el suelo, con antelación a la evaluación de la condición del pastizal, lo que se atañe con lo citado por Gutiérrez *et al*., 2022 donde muestra que las prácticas de manejo del suelo, tienen efectos positivos, dado

que favorecieron la producción de MS (materia seca), ya que se puede considerar que las prácticas de manejo aportan consigo permutaciones en la estructura del suelo, corrigiendo directamente la aireación y proporcionando la infiltración del agua en el suelo, que favorece a la par el crecimiento radicular, suministrando la absorción de agua y nutrientes y por ende el desarrollo óptimo de plantas. Estos hallazgos concuerdan con lo encontrado por Rodríguez, (2014) que menciona que el uso de especies arbóreas mejora el ciclaje de nutrientes dentro de los potreros debido a la recuperación de estos a través de sus raíces y que por lixiviación se encuentran a profundidades a las cuales no tienen acceso las raíces de las gramíneas. Las especies leñosas incorporan los nutrientes a su biomasa y luego los regresan a la superficie del suelo a través de los aportes de hojarasca la cual se descompone liberando nuevamente los nutrientes y dejándolos a disposición de las plantas.

De acuerdo con los resultados, se observa que el tipo de actividades de manejo tiene un impacto significativo en las biomasas de los sitios estudiados. La implementación de prácticas mecánicas y la presencia de especies arbóreas se asocian con mayores biomasas forrajeras y una mejora en el reciclaje de nutrientes. Estos hallazgos respaldan la importancia de considerar prácticas de manejo adecuadas para optimizar la producción de biomasa forrajera.

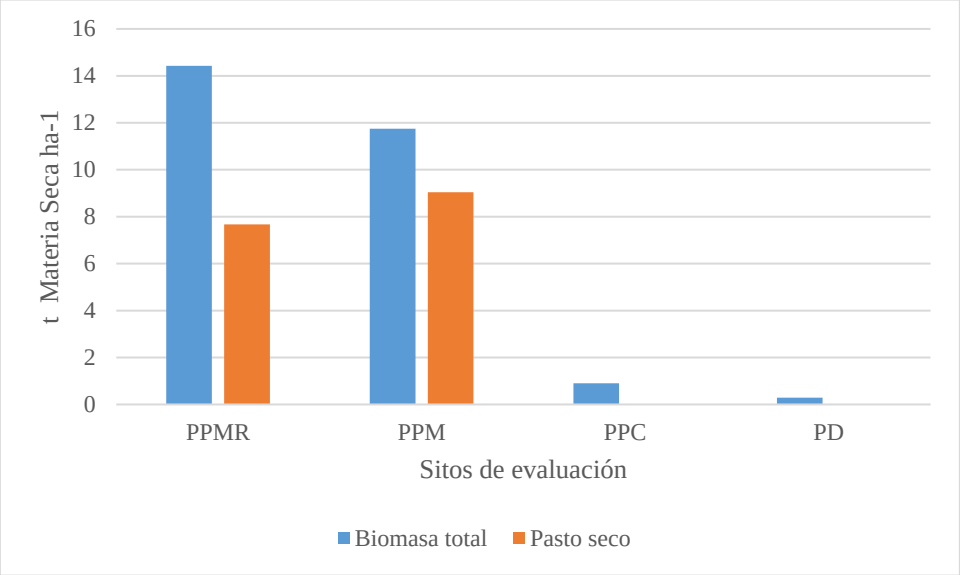



**Figura 2.** Producción de biomasa total y pasto seco en los sitios de evaluación. *PPMR: pastizal con prácticas mecánicas y reforestado, PPM: pastizal con prácticas mecánicas, PC: pastizal con pastoreo continuo, PD: pastizal degradado. M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey ($\alpha \leq 0{,}05$).

En la figura 3, se puede observar la relación lineal existente entre la acumulación de la biomasa y el vigor. De la misma manera se observó una correlación alta entre las dos variables ($r^2$ =0.0.8624) Esto significa que a medida que aumenta la acumulación de biomasa, también aumenta el índice de vigor de la especie clave. Esta correlación lineal entre la biomasa y el índice de vigor respalda la importancia como un indicador confiable del estado de salud y crecimiento de las especies forrajeras. Una mayor acumulación de biomasa indica un mayor vigor y rendimiento de las especies forrajeras, lo que a su vez contribuye a la productividad y calidad del forraje.

Estos resultados concuerdan con estudios previos que han demostrado la relación positiva entre la biomasa y el rendimiento de las especies forrajeras. Por ejemplo, Paredes, (2018) encontraron una correlación similar entre la biomasa y el índice de vigor en pastizales en una región similar. Además, Cardillo, (2018) señaló que la acumulación de biomasa es un indicador confiable del éxito de las prácticas de manejo y fertilidad del

suelo. En adición, una correlación positiva entre la acumulación de biomasa y el índice de vigor también puede atribuirse a la mayor disponibilidad de nutrientes y agua en los sitios con mayor biomasa. Un suelo fértil y bien manejado proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento vigoroso de las especies forrajeras, lo que a su vez refleja en una mayor acumulación de biomasa (Peters *et al*., 2003; Agustoni *et al*., 2008)

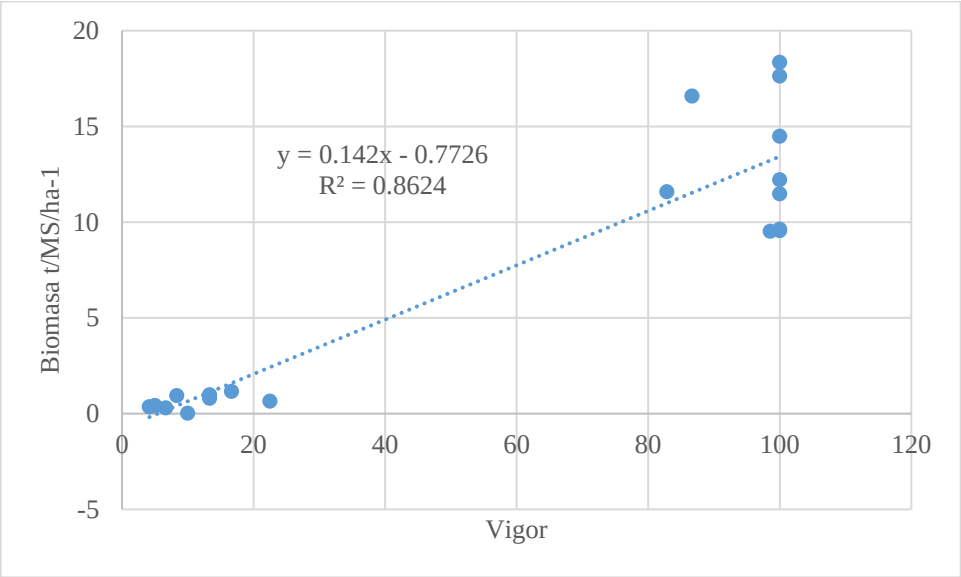



**Figura 3.** Relación entre la biomasa total (t MS $ha^{-1}$) y el vigor de las especies clave.

**Erosionabilidad**

En el cuadro 9, se muestran las propiedades del suelo relacionadas con la erosionabilidad de cada sitio. Para la variable de Materia Orgánica (MO) encontrada en los diferentes sitios, en el sitio de PD registró el valor más bajo con 2.292%, mientras que los sitios de PPMR, PPM y PC se encontraron valores más altos con 5.512, 3.882 y 5.322% respectivamente. Esto indica que los sitios de PPMR, PPM y PC tienen una mayor presencia de materia orgánica en comparación con el sitio de PD. Lo anterior concuerda con Rodríguez, 2014; ya que ella menciona en su investigación que de estas características pueden provenir grandes cantidades de restos orgánicos de fácil mineralización, dándose un ciclaje de nutrientes a través de las raíces de los árboles, mostrando que la MO es importante para mantener la estructura y fertilidad del suelo, estabilidad de los agregados, lo que aumenta la capacidad de infiltración, retención de agua, ayuda a disminuir la escorrentía superficial y prevenir la erosión (Muñoz *et al*.,2021; Efthimiou, 2020; Jiang *et*

*al*., 2020). Por otro lado, el sitio PPM y PC no mostraron diferencias significativas, siendo el sitio PD donde se encontró el porcentaje más bajo de materia orgánica. Esto puede deberse principalmente a que cuenta con un porcentaje considerado de suelo desnudo y baja cantidad de biomasa, por ser sometido contantemente al sobrepastoreo lo cual es perjudicial para la estabilidad del suelo, ya que esta se encarga de aumentar la capacidad de retención de agua, brindar energía para los microorganismos, la capacidad de intercambiar cationes y estabilizar la estructura física del suelo (Quintero, 2019) relacionado directamente con los hallazgos presentados por Volverás *et al*., (2009), el cual indica que el uso intenso del suelo por extensos periodos crea pérdidas de materia orgánica.

**Cuadro 9.** Propiedades del suelo medidas para obtener Erosionabilidad.

| Sitio | MO | Arenas | Arenas finas +limos | Arcillas | Estructura | Permea-bilidad | Erosio-nabilidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PPMR | 5.512 a | 36 | 37.6 | 26.4 | 2 | 2.20 | 0.02564 c |
| PPM | 3.882 b | 38 | 40.0 | 22.0 | 2 | 1.98 | 0.03968 b |
| PC | 5.322 ab | 38 | 40.0 | 22.0 | 2 | 2.74 | 0.03476 bc |
| PD | 2.292 c | 66 | 27.0 | 7.0 | 1 | 4.80 | 0.08334 a |

PPMR: Pastizal con prácticas mecánicas y reforestado; PPM: Pastizal con prácticas mecánicas; PC: Pastizal con pastoreo continuo; PD: Pastizal degradado. MO: materia orgánica. M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey (α ≤ 0,05).*

En cuanto a la composición del suelo, se observó una mayor proporción de arenas y arcillas en todos los sitios, mientras que las arenas finas + limos mostraron valores relativamente consistentes. El sitio de PD tiene la proporción más altas de arenas con 66% y la más baja de arcillas 7, lo que indica un suelo más arenoso y menos cohesionado en comparación con los otros sitios. Por otro lado, en los sitios de PPMR, PPM y PC se observaron valores similares en cuanto a la composición de arenas, arenas finas + limos y arcillas.

Para la estructura de suelo, también vario entre los sitios. Los sitios de PPMR, PPM y PC tuvieron una estructura similar esto se deben principalmente al porcentaje de cobertura vegetal basal con la que estos sitios cuentan, ya que este atributo de la vegetación trae consigo cambios en la estructura dándole mayor estabilidad lo cual se relaciona a lo reportado por Gutiérrez *et al*., (2022) ya que hace énfasis en su investigación

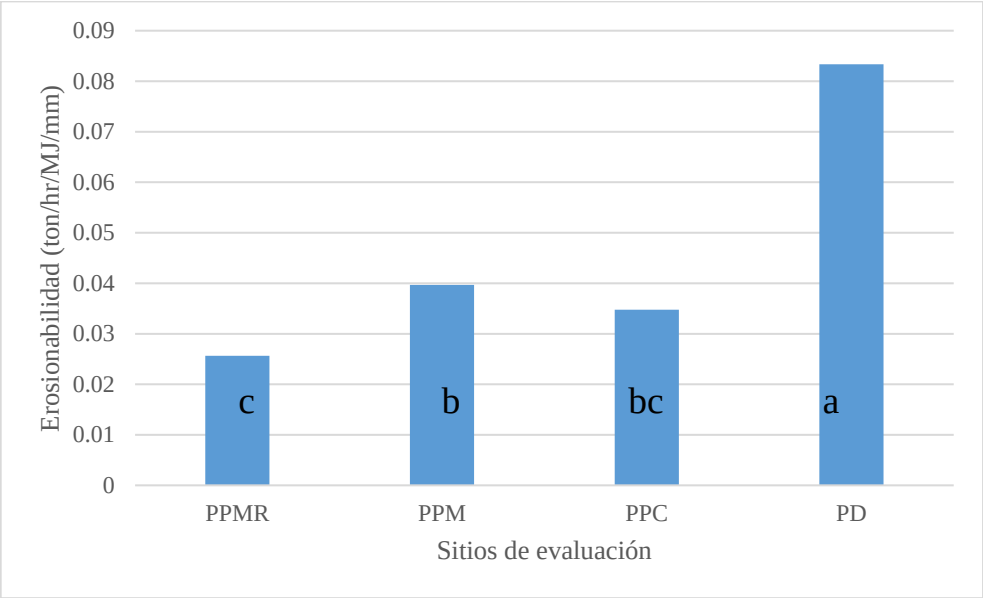
sobre los beneficios de la cubierta vegetal sobre el suelo modificando la estructura, facilitando la aireación e infiltración de agua ayudando al crecimiento radicular de la planta. Mientras que el sitio de PD muestra un valor más bajo (1), siendo un efecto del desgaste al cual el suelo ha sido sometido, que de acuerdo con Volverás *et al*., (2009) la propiedad física del suelo (estructura) se ve modificada por la degradación del suelo.

En cuanto a la permeabilidad, los sitios de PPMR, PPM y PC presentaron valores similares (2.2, 1.98, 2.74 respectivamente) mientras que el sitio de PD mostro el valor más alto de 4.8. esto indica que el suelo en el sitio de PD tiene una mayor capacidad de infiltración de agua en comparación con los otros sitios. Una buena permeabilidad puede ayudar a reducir la escorrentía y la erosión del suelo (Villalba *et al*., 2022).

De manera conjunta el valor de la erosionabilidad del suelo (ton/hr/MJ/mm, que expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia), conocida también como el factor K, mostro diferencias entre los sitios. Los valores más bajos se encontraron en los sitios de PPMR (0.025635), PPM (0.039678) y PC (0.034764), indicando una menor susceptibilidad a la erosión, mientras que el sitio PD (0.083343) presento el valor más alto. Esto sugiere que los sitios de PPMR, PPM y PC tiene una mayor capacidad para resistir la erosión en comparación con el sitio PD. Los resultados indican que los sitios PPMR, PPM y PC presentaron mejores propiedades del suelo en términos de contenido de MO, estructura, permeabilidad y erosionabilidad en comparación con el sitio PD. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar prácticas de manejo adecuadas para mejorar las propiedades del suelo y reducir la erosión en los pastizales. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Vallejo *et al* (2018) que determinaron las consecuencias de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre a calidad del suelo en Colombia.

En la figura 4, se muestra el índice de erosionabilidad en los cuatro sitios de estudios de nuestra investigación. En ese sentido, se encontró que en el sitio de PD se registró el mayor índice de erosionabilidad (0.083343) superando significativamente los índices registrados en los tres otros sitios. Por otro lado, los sitios PPMR y PC registraron los mínimos de valores. Los resultados obtenidos muestran la importancia de considerar la gestión del suelo como un factor clave en el manejo de los pastizales. La erosión puede

tener impactos negativos en la productividad del suelo, la calidad del agua y la salud del ecosistema. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de manejo adecuadas, como la conservación del suelo, la revegetación y el control de la erosión, para mitigar los efectos de la erosión y mantener la salud y funcionalidad de los pastizales (Machado *et al*., 2008; del Valle *et al*., 2006).




Índice de Erosionabilidad en los sitios evaluados con manejo diferente. *PPMR: Pastizal con Prácticas Mecánicas y Reforestado; PPM: Pastizal con Prácticas Mecánicas; PC; Pastizal con Pastoreo Continuo; PD; Pastizal Degradado.* M*edias con letras desiguales en la misma columna, difieren significativamente para la Prueba de Tukey (α ≤ 0,05).*

**Figura 4.** Relación de algunas variables de condición del pastizal y erosionabilidad.

En la Figura 5, se muestra la correlación existente entre la erosionabilidad y el suelo desnudo presente en los sitios de estudio de nuestra investigación. Se encontró una correlación positiva significativa de ($r^2$=0.8083) entre erosionabilidad y el porcentaje de suelo desnudo en los cuatro sitios evaluados. Esta correlación indica que a medida que aumento el porcentaje de suelo desnudo, existió una mayor predisposición a la erosión. La correlación positiva sugiere que el suelo desnudo está expuesto sin cobertura vegetal, es más susceptible a ser arrastrado por el viento o el agua (Porta *et al*., 2014). Esta relación entre erosionabilidad y el suelo desnudo destaca la importancia de mantener una adecuada cobertura vegetal para reducir la erosión y preservar la calidad del suelo. La correlación

positiva también sugiere que las medidas de conservación, como la revegetación y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles podrían ser eficaces para mitigar la erosión en estos sitios y proteger el suelo de posibles daños como lo indicó Mataix, (2000). En adición, la correlación positiva entre erosionabilidad y el suelo desnudo encontrada en este estudio respalda la importancia de mantener una adecuada cobertura vegetal para reducir la erosión del suelo.

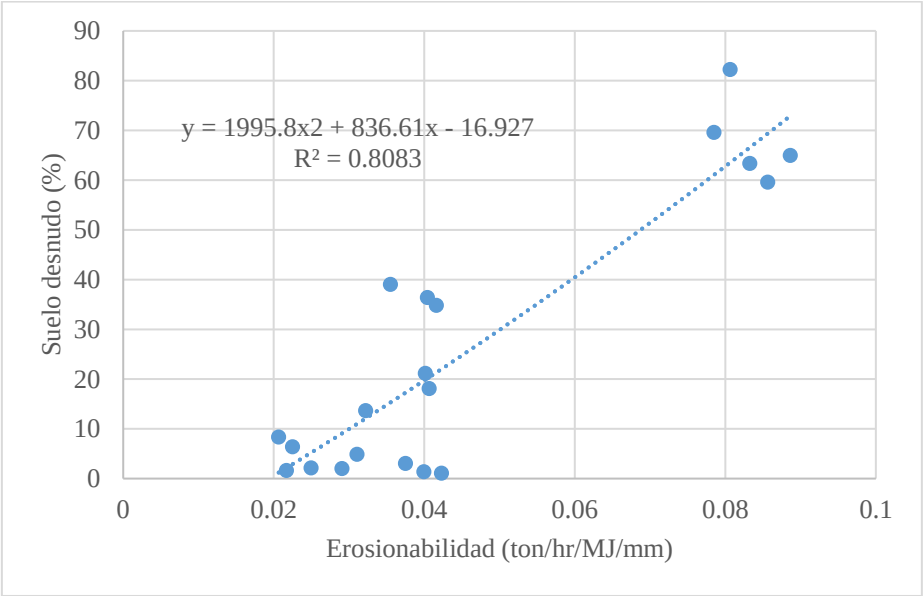



**Figura 5.** Relación de la erosionabilidad con suelo desnudo.

En la Figura 6, se muestra la correlación existente entre el porcentaje de cobertura vegetal basal y la erosionabilidad de los sitios de estudio de nuestra investigación. Se encontró una correlación positiva altamente significativa (r = 0.7356) entre la erosionabilidad y el porcentaje de cobertura vegetal basal en los cuatro sitios evaluados. Esta fuerte correlación indico que a medida que aumento el porcentaje de cobertura vegetal basal, la erosionabilidad del suelo disminuye.

La importancia de la cobertura vegetal en la reducción de la erosión del suelo ha sido ampliamente documentada en la literatura científica. Numerosos estudios respaldan la relación inversa entre la cobertura vegetal y la erosión del suelo. Por ejemplo, investigaciones previas realizadas por Arroyo *et a*l., (2019) y Sandoval et al., (2007) demostraron que la cobertura vegetal puede reducir la erosión del suelo al disminuir la

velocidad del agua de escorrentía y proteger la superficie del suelo contra la acción directa de la lluvia y el impacto del viento. En adición, la presencia de cobertura vegetal actúa como una barrera física que evita el desprendimiento de partículas de suelo y ayuda a estabilizar el suelo. Además, las raíces de las plantas contribuyen a mejorar la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y reduciendo la erosión hídrica (Vásquez, 2016).

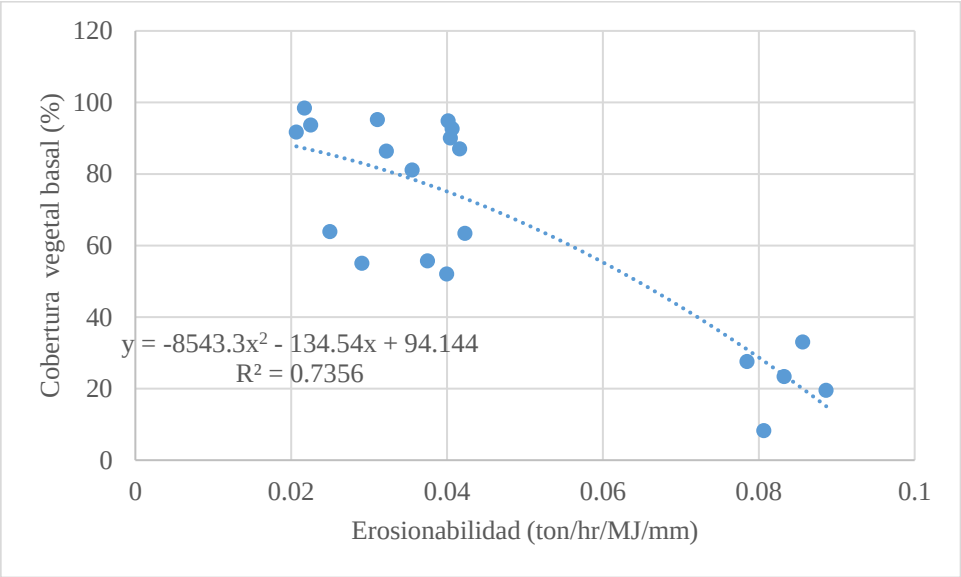



**Figura 6.** Relación entre la erosionabilidad y cobertura vegetal basal.

En la Figura 7, se describe la correlación existente entre la erosionabilidad y la condición del pastizal en los sitios de estudios. Se encontraron una correlación de 0.4186, esto indico una relación positiva pero moderada entre estos dos factores. Esta correlación sugiere que a medida que aumenta la condición el pastizal, es decir su salud y calidad, la erosionabilidad tiende a disminuir. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta relación no es muy fuerte, lo que implica que otros factores también pueden influir en la erosión del suelo, además de la condición del pastizal. Ese coeficiente de correlación de 0.4183 indica una correlación debido a que se encuentra por debajo de 0.5. por lo tanto, existe una asociación, pero no necesariamente una dependencia directa o lineal entre la erosionabilidad y la condición del pastizal. Es probable que otros factores, como, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, las prácticas de manejo del pastizal y la cantidad

de precipitación también influyeron en la erosión del suelo. Cabe señalar que la correlación no implica causalidad (Medrano *et al*., 2017).

En adición, la correlación moderada entre erosionabilidad y la condición del pastizal se puede explicar por la existencia de otros factores que también influyeron en la erosión del suelo. Estos pueden incluir características del suelo, como su textura y composición, la pendiente del terreno, el clima y las prácticas de manejo del pastizal, como el pastoreo y las técnicas de conservación del suelo (Thompson *et al*., 2021; Rodríguez *et al*., 2020).

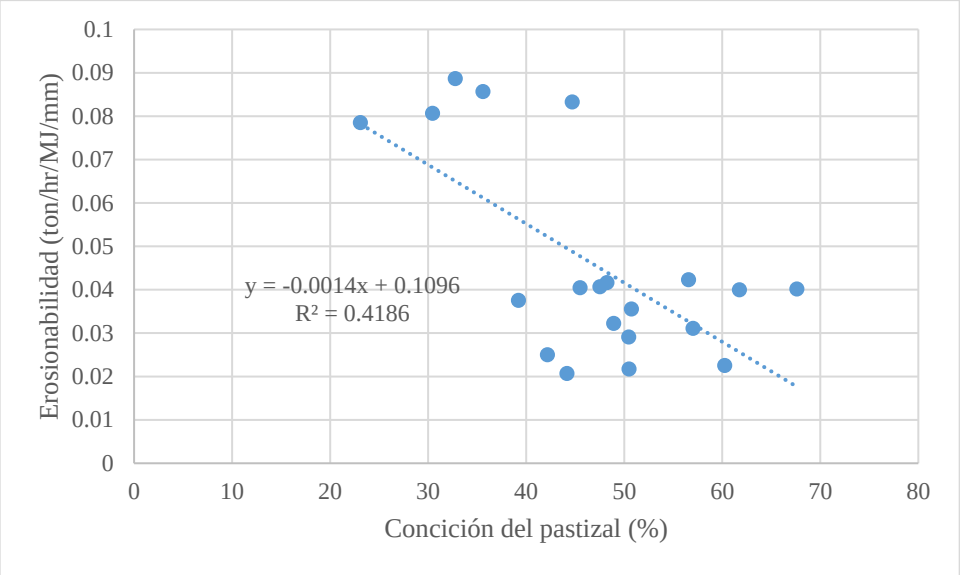



**Figura 7.** Relación entre la erosionabilidad y la condición del pastizal

En la Figura 8, se muestra la correlación existente entre el contenido de materia orgánica y la condición del pastizal existente en los sitios de estudio de nuestra investigación. Se encontró una correlación de 0.2505 que se consideró con muy poca relación entre estos dos factores. Ese coeficiente de correlación sugiere que no existió una relación entre el contenido de materia orgánica y la condición del pastizal, esta relación no fue significativa, debido a que fue una correlación relativamente baja, lo que indica que existieron otros factores o atributos como la composición botánica y el vigor de la especie clave que influyeron en la condición del pastizal, además del contenido de materia orgánica (Pedraza *et al*., 2011; Díaz *et al*., 2014). Diversos estudios respaldan esta

interpretación, demostrando que, si bien la materia orgánica puede tener un impacto positivo en la salud y productividad de los pastizales, existen otros factores como la cantidad y distribución de precipitación, la calidad del suelo, las prácticas de manejo y la presencia de plagas o enfermedades que también desempeñan un papel importante en la condición del pastizal (Castilla *et al*., 2021; Manson *et al*., 2007). Cabe señalar que es fundamental considerar que la materia orgánica puede influir en la condición del pastizal al mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de nutrientes y agua y proporcionar un sustrato beneficioso para la actividad microbiana (Montenegro *et al*., 2022). Sin embargo, su efecto puede variar dependiendo de las condiciones específicas del sitio y las interacciones con otros factores ambientales y de manejo. En adición a la baja relación entre el contenido de materia orgánica y la condición del pastizal en los sitios de estudio, se sugiere que la condición del pastizal no influye en el contenido de materia orgánica, pero que hay atributos inherentes a la condición del pastizal como el vigor de la especie clave y la producción de biomasa los que pudieran modificar el contenido de materia orgánica.

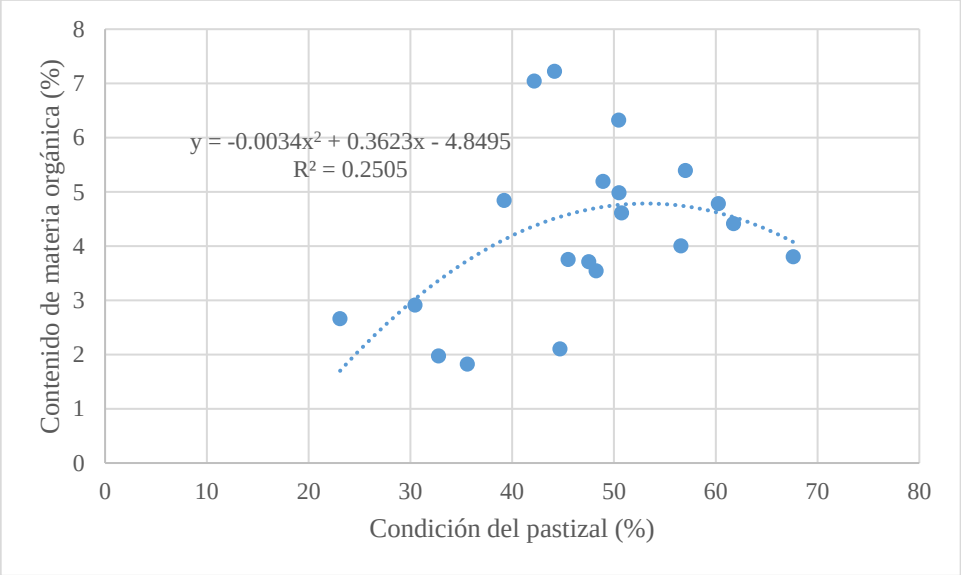



**Figura 8.** Relación entre la condición del pastizal y el contenido de materia orgánica.

En la figura 9, se describe la correlación existente entre el contenido de materia orgánica y el porcentaje de suelo desnudo. Se encontró una correlación moderada de 0.5361 entre estos dos factores. Este resultado sugiere que a medida que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, también aumenta el porcentaje de cobertura vegetal y, por lo tanto, se reduce el porcentaje de suelo desnudo. La materia orgánica contribuye a mejorar la estructura y fertilidad del suelo, lo que facilita el crecimiento y desarrollo de las plantas (Poca *et al*., 2018; Celaya *et al*., 2015). Esto a su vez reduce la exposición del suelo al impacto directo de la erosión, lo que se refleja en un menor porcentaje de suelo desnudo (Zavala *et al*., 2011), lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio; Andrade *et al*., 2017 demostraron que un mayor contenido de materia orgánica en el suelo promueve una mejor agregación, mejora la retención de agua y nutrientes, y favorece el desarrollo de una densa cobertura vegetal, lo que a su vez reduce la erosión del suelo y el porcentaje de suelo desnudo.

Se obtuvo una correlación moderada entre el contenido de materia orgánica y el porcentaje de suelo desnudo (Figura 9), lo cual respalda la importancia de mantener y aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo como una estrategia efectiva para mitigar la erosión y promover la salud de los suelos.

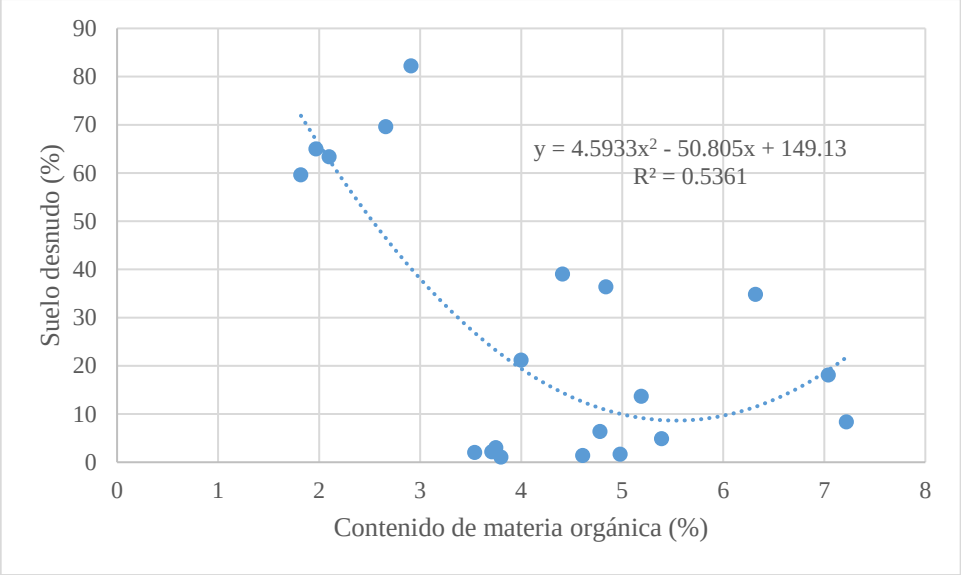



**Figura 9.** Relación entre el contenido de materia orgánica y el porcentaje de suelo desnudo.

# CONCLUSIONES

La condición del pastizal no muestra un efecto evidente debido a las obras de conservación del suelo, sin embargo, las variables inherentes a evaluación de la condición, cuando se analizan separadamente, si tienen relación con dichas acciones de conservación; tal es el caso de la cobertura vegetal aérea y basal, la cual se incrementa en los sitios con obras de conservación. El vigor también fue mayor en los sitios con obras de conservación. La presencia del suelo desnudo fue evidente en el sitio de pastizal degradado donde no hay acciones de manejo.

Las obras de conservación del suelo y agua evaluadas generan incremento en la producción de biomasa forrrajera (ton/MS/$ha^{-1}$). Sin embargo, se observa que mucha de esta biomasa está seca y mal aprovechada, originando una condición de subpastoreo, en los sitios con obras de conservación. Se observa que la subutilización del recurso forrajero genera problemas para los sitios, como lo es la pérdida de diversidad, exceso de material senescente y desperdicio de materia seca, necesaria para la alimentación del ganado. Es recomendable estimar la capacidad de carga e introducir el ganado necesario, a fin de que consuma todo el forraje disponible, sin poner en riego la salud del pastizal.

Las obras de conservación del suelo afectan el índice de erosionabilidad, disminuyendo en aquellos sitios en los que se presentan obras de conservación del suelo, independientemente de si se cuenta o no con reforestación. En el caso de las acciones de conservación, la reducción en el índice de erosionabilidad se explica por el incremento en el contenido de materia orgánica, principalmente. En el caso de los sitios sin obras de conservación y sin exclusión, la falta de control sobre la carga animal, elevan el índice de suelo desnudo, pérdida de diversidad de la vegetación, vigor y biomasa.

Existe relación entre la condición del pastizal y la erosionabilidad, la cual disminuye conforme la condición del pastizal aumenta. El nivel de condición del pastizal y por ende el índice de erosionabilidad estarán en función del manejo que el pastizal reciba.

## RECOMENDACIONES

Es importante continuar con un mecanismo de monitoreo para ver la tendencia que el sitio evaluado sigue, a su vez poder implementar estrategias de pastoreo acorde con la producción de forraje, gramíneas presentes, tamaño y la etapa fenológica mejor aprovechable en cada sitio.

## LITERATURA CITADA


Abbott, L. B. (2006, June). Ecología y diversidad de pastizales. In *Grasslands Ecosystems, Endangered Species, and Sustainable Ranching in the Mexico-US Borderlands: Conference Proceedings Ecosistemas de Pastizales,RMRS P40. Fort Collins, CO:U.S. Department os Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.* (p. 14).

Agustoni Pais, F., Bussi Caminiti, C., & Shimabukuro Tisnés, M. (2008). Efecto de la asignación de forraje sobre la productividad de una pastura de segundo año [Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica].

Alcalá-Galván, C. H., Barraza-Guardado, R. H., Álvarez, F. A., & Rueda-Puente, E. O. (2018). Uso sustentable de agostaderos y el sistema vaca-cría en el Noroeste de México. *Agron. Mesoam*, 433-447. Mayo-agosto, 2018 ISSN 2215-3608, doi:10.15517/ma.v29i2.29185 http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso

Alvarado Cárdenas, E. (2022). Estudios preliminares para la instalación de un sistema agroforestal con pijuayo para producir palmito de la Sociedad Agrícola Caynarachi SAC distrito Caynarachi, Provincia Lamas, departamento de San Martín. [Tesis de licenciatura, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

Álvarez Martínez, J. (1995). *Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante pastoreo controlado. Experiencia en un sector de la montaña de León* [Tesis de doctorado, dissertation, Universitat de Lleida].

Álvarez-Lopeztello, J., Rivas-Manzano, I. V., Aguilera-Gómez, L. I., & González-Ledesma, M. (2016). Diversidad y estructura de un pastizal en El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, México. Revista mexicana de biodiversidad, 87(3), 980-989. http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.006

Amaro, J. A. P., Moya, E. G., Quiroz, J. F. E., Carrillo, A. R. Q., Pérez, J. P., & Garay, A. H. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto" mulato"(Brachiaria híbrido, cv.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *42*(3), 447-458.

Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., ... & Mastrángelo, M. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina. *Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. INTA Ediciones. Argentina*.

Arroyo-Rodríguez, V., Arasa-Gisbert, R., Arce-Peña, N., Cervantes-López, M. J., Cudney-Valenzuela, S. J., Galán-Acedo, C., ... & San-José, M. (2019). Determinantes de la biodiversidad en paisajes antrópicos: Una revisión teórica. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*, 65-111.

Barrios, J. L. G., & Descroix, L. (2012). Adaptación a los impactos del cambio climático en la zona semiárida mexicana. *Parcerias Estratégicas*, *16*(33), 09-22.

Baughman, M. (2023). *Innovative Flint Hills cattle ranchers' decision-making regarding herd productivity and rangeland management practices: a qualitative study* [A thesis Master of Science, Department of Communications and Agricultural Education College of Agriculture, Kansas State University].

Beltrán, L.S., C. Loredo O. y J. Urrutia M. 2005. Manejo y rehabilitación de agostaderos en zonas áridas y semiáridas. In: Loredo O. C. (Ed). 2005. Prácticas para la conservación de suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. Libro Técnico No 1. San Luis Potosí, S. L. P. México. 187 p.

Bernal Flores, Á. (2015). Anatomía, deposición de lignina y cultivo de tejidos en ecotipos de Bouteloua curtipendula (Michx) Torr [Tesis de doctorado, Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Ganadería, Colegio de Postgraduados].

Borrelli, P., & Oliva, G. (2001). Efectos de los animales sobre los pastizales. *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia austral. Tecnología de Manejo Extensivo*, 99-128.

Borrelli, P., G. Oliva. 2001 evaluación de pastizales. Cap. 6 pp 161-182 En Ganadería Sustentable en la Patagonia Austral. Borrelli, P. y G. Oliva Ed. INTA Reg. Pat. Sur 269 pp.

Briscoe Runquist, R. D., Lake, T. A., & Moeller, D. A. (2021). Data and Scripts for manuscript" Improving predictions of range expansion for invasive species using joint species distribution models and surrogate co-occurring species". DOI: 10.1111/jbi.14105

Cabrejo Sánchez, C. P. (2019). Evaluación de metodologías para estimar la condición y tendencia de pastizales Alto Andinos. [Tesis de licenciatura, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria la molina].

Cabria, F., Calandroni, M., & Monterubbianesi, G. (2002). Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Ciencia del suelo*, *20*(2), 69-80.

Cantú, J.2010. Evaluación de pastizal pp.174-236. *In*: Manejo de Pastizales. Cantú J. (ed) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Producción Animal "Unidad Laguna" Printed in México.

Cardillo, D. S. (2018). Riqueza específica en pastizales naturales: su relación con el crecimiento y factores que lo determinan, los efectos de complementación y de muestreo y los microorganismos del suelo. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Sur].

Carrillo Saucedo, S. M., Arredondo Moreno, J. T., Huber-Sannwald, E., & Flores Rivas, J. D. (2009). Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. ÓTICAS Téc Pecu Méx 2009;47(3):299-312

Castilla, J. C., Armesto, J. J., & Martínez-Harms, M. J. (2021). *Conservación en la Patagonia chilena: evaluación del conocimiento, oportunidades y desafíos*. Santiago, Chile: Ediciones UC.

Celaya Michel, H., García Oliva, F., Rodríguez, J. C., & Castellanos Villegas, A. E. (2015). Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (Pennisetum ciliare (L.) Link). *Terra Latinoamericana*, *33*(1), 79-93.

Chairez, F. G. E., Luna, R. G., Rivera, R. I. L., Valenzuela, R. B., Soto, J. I. A., & Pérez, A. S. (2006). Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un

agostadero del semiárido Zacatecano. I Vegetación nativa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *44*(2), 203-217.

Chamorro Martínez, Y. P. (2022). Estructura de la macro, meso y microfauna del suelo y su relación con parámetros de calidad del suelo en unidades agrícolas del norte de Colombia: implicaciones ecológicas [Tesis de maestría, Departamento de Civil y Ambiental, Universidad de la Costa-CUC].

Chaneton, E. J. (2005). Factores que determinan la heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina*, 19-42.

Chávez Blanco, S. L. (2007). *Variación estacional del banco de semillas en machones de pastos estoloníferos de un agostadero sobrepastoreado del altiplano mexicano* [Tesis de maestría, Ciencias Ambientales, Posgrado en Ciencias Aplicadas, Instituto Potosino, de Investigación Científica y tecnología, A.C.]

Condo Velastegui, X. C. (2023). Intensificación del manejo de pasturas, calidad de biomasa y recuento de garrapatas en predios ganaderos en la cuenca del río Quijos de la Amazonía ecuatoriana [Tesis de licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador].

Corral Pazos de Provens, E. (2021). Mejoras en la estimación de la textura del suelo y su aplicación al factor K de erosionabilidad: una aproximación cuantílica. [Tesis de doctorado, Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva].

COTECOCA 1974. Comisión técnica consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostaderos para el estado de San Luis Potosí, México.

De la Maza B., M.; Banda V., I; Mendoza G., G.; Leal N., O.A. 2019. Amenazas pp 19-37. *In*: Reporte del estado de los pastizales del desierto chihuahuense: Una perspectiva sobre gestión. De la Maza B., M.; Banda V., I; Mendoza G., G.; Leal N., O.A. (eds.) Pronatura Noreste A.C.

Desmond M. (2006, June). Evaluación del Estado y Distribución de los Pastizales del Desierto Chihuahuense en los Estados Unidos y México pp. 22-25. In *Grasslands*

*Ecosystems, Endangered Species, and Sustainable Ranching in the Mexico-US Borderlands: Conference Proceedings Ecosistemas de Pastizales, Especies en* (p. 22).

Díaz Porres, M., Rionda, M. H., Duhour, A. E., & Momo, F. R. (2014). Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología austral*, *24*(3), 327-334.

Dorado Schmidt, L., Etchevarren Assandri, G., & Olascoaga Marella, S. (2020). Efecto del grado de intensificación en la renovación de una pastura vieja en el período estivo-otoñal. [Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica].

Doria Treviño, O. A. (2022). *Efecto de una obra de conservación de suelo en la restauración de la costra biológica del suelo y su impacto en las funciones del ecosistema* [Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León].

Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, *11*, 63-74. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694

Echavarría-Cháirez, F. G., Santos de la Cruz, J. L., Gutiérrez Luna, R., & Medina García, 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.

Efthimiou, N. (2020). The new assessment of soil erodibility in Greece. *Soil and Tillage Research*, *204*, 104720. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104720

Escobar Soldevilla, M. Y. (2019). Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica.[Tesis de licenciatura, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Escuin, S., Navarro M., Fernández P. (2006). Assessment of post fire vegetation cover using spectral mixture analysis. Application and comparison of different endmember characterization methods. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, Vol. 15, Nº 1, 2006, págs. 107-119, ISSN 1131-7965, DOI 10.5424/srf/2006151-00957

Flores, F. I., Rivera, M. M., Medina, S. M., Martín, F. I., & López, R. R. (2018). Cambios De Vegetación Y Costos Asociados Con El Continuo Sobrepastoreo Del Ganado En El Pastizal Mediano Abierto De Cananea, Sonora, México. Revista Mexicana de Agronegocios, 42, 855-866. Revista Mexicana de Agronegocios ISSN: 1405-9282 Redalyc: https://www.redalyc.org/articulo.oa? id=14156175004

Florez Traslaviña, Z. (2023). Ganadería regenerativa como una alternativa productiva sostenible a través del pastoreo ultra alta densidad. [Tesis de licenciatura, Especialización en Gerencia Agropecuaria, Corporación Universitaria Lasallista].

García Serna, G. (2018). Influencia de la revegetación con Festuca humilior y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados. [Tesis de maestría, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Grijalva, J., Espinosa, F., & Hidalgo, M. (1995). Producción primaria y valor nutritivo de los pastizales pp. 1-9 In: *Producción y utilización de pastizales en la región interandina del Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigadores Agropecuarias Ecuador Archivo Histórico.

Gutiérrez L.R., Velásquez V.M.A., Sánchez C.I., Gutiérrez L.S., y Martínez T.G. 2018. Aprovechamiento sostenible de pastizales a través del ajuste de carga animal en zonas secas. Folleto Técnico Núm 94. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 51 páginas

Gutiérrez Peralta, H. (2021). Revisión de las especies peruanas del género Aristida (Poaceae, Aristideae).

Gutiérrez-Luna, R., Castillo-Quiroz, D., Castillo-Reyes, F., Antonio-Bautista, A., Martínez-Trejo, G., & Sáenz-Reyes, J. T. (2022). Evaluación de prácticas de

manejo de suelo para la siembra de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris L.), bajo condiciones de temporal en el sureste de Coahuila. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, *18*(1), 39-47.

Iglesias, D. H. (2020). Conferencia: Conceptos y factores aplicables a la medición de condición del pastizal. *Semiárida*, *5*(1), 35-45.

INEGI, 1978. Carta edafológica F14A84 Escala 1:50 000. Primera edición. México. D.F

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México) INEGI. Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. - México: INEGI, c2017.

Jiang, Q., Zhou, P., Liao, C., Liu, Y., & Liu, F. (2020). Spatial pattern of soil erodibility factor (K) as affected by ecological restoration in a typical degraded watershed of central China. *Science of The Total Environment*, *749*, 141609. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141609

Jiménez, I., Rodríguez, L., 2008. Diagnóstico de la infiltración y permeabilidad en los suelos de la zona de recarga del acuífero Morra en el área Sincelejo, Corozal y Morra [Tesis de licenciatura, Facultad de ingeniería, Universidad de Sucre-Sincelejo, Colombia].

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., ... & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, *12*, 261-285. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875

Kakembo, V., & Ndou, N. (2019). Relating vegetation condition to grazing management systems in the central Keiskamma Catchment, Eastern Cape Province, South Africa. *Land Degradation & Development*, *30*(9), 1052-1060.

Kaufmann, I. I., Feldman, S. R., & Sacido, M. B. (2019). Efectos del pastoreo en riqueza florística, biomasa y cobertura de un pastizal de albardón, Argentina. Revista Politécnica, 15(29), 95-106. fecha de consulta, ISSN: 1900-2351 DOI: https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a8

León Tinoco, A. Y. (2016). Reserva de carbono en bofedales y su relación con la florística y condición del pastizal. [Tesis de maestría, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

López Mendoza, Y. (2019). Evaluación de la calidad ambiental de suelos restaurados en Sierra de Álvarez [Tesis de maestría, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

Loredo, CO, López, SB, Sánchez, FM y Domínguez, MC (2007). Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí, libro técnico No. 3 INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México, 209p.

Loya, J. L. G. Sección IV: Ecosistemas, Pastizal. *Primera edición, 2014 DR© 2014 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)2014 la biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. Liga Periférico–Insurgentes Sur 4903 Parques del Pedregal*, 247.pp 254-336

Loza, C., & Adrián, C. (2022). *Diversidad taxonómica y funcional de invertebrados edáficos, asociados a tres áreas de intervención con diferente disturbio en el volcán Atacazo, Pichincha–Ecuador*. [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador].

Machado, H., & Campos, M. (2008). Reflexiones acerca de los ecosistemas agrícolas y la necesidad de su conservación. *Pastos y forrajes*, *31*(4), 1-1. ISSN electrónico 2078-8452 ISSN impreso 0864-0394 Número 4, Vol. 31, octubre - diciembre 2008 Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Cuba.

Madenoglu, S., Atalay, F., & Erpul, G. (2020). Uncertainty assessment of soil erodibility by direct sequential Gaussian simulation (DSIM) in semiarid land uses. *Soil and Tillage Research, 204*, 104731. doi:10.1016/j.still.2020.104731

Mamani Bustamante, S. E. (2020). Comparativo de dos métodos de determinación de la condición de un pastizal tipo bofedal en el Centro Experimental La Raya-UNSAAC.[Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

Manson, R. H., & El Haya, C. (2007). Efectos del uso del suelo sobre la provisión de servicios ambientales hidrológicos: monitoreo del impacto del PSAH. *Informe final. Instituto de Ecología, AC Xalapa, Veracruz, México*.

Mataix Solera, J. (2000). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales: contribución a su conservación y regeneración. [Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante].

McCullough, B. (2022). *Flora of Doe Mountain Recreation Area, Johnson County, Tennessee* [Tesis de maestria, Facultad de Biologia, East Tennessee State University].

Medina, G. G.,G Diaz, C. Loredo, V. Altamirano, M. A. Cano. 2005. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de San Luis Potosí (periodo 1961-2001). INIFAP. Libro técnico No 2. Pp 46-47.

Medina, R. Eduardo. (2003). Dinámica del contenido de humedad del suelo a lo largo de un gradiente de condición de pastizal en el noroeste de Jalisco. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias].

Medina-Guillén, R., Cantú-Silva, I., Estrada-Castillón, E., González-Rodríguez, H., & Delgadillo-Villalobos, J. A. (2017). Estructura y diversidad del matorral desértico rosetófilo rehabilitado con rodillo aireador, Coahuila, México. *Polibotánica*, (44), 95-107. México. Julio 2017, ISSN: 2395-9525, DOI: 10.18387/polibotanica.44.7

Medrano, L. A., & Muñoz-Navarro, R. (2017). Aproximación conceptual y práctica a los modelos de ecuaciones estructurales. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, Enero-Junio 2017, Vol. 11, No. 1, 219-239, | Lima (Perú). ISNN 2223-2516 doi: http://dx.doi.org/10.19083/ridu.11.486

Melgoza-Castillo, A. (2006, June). Current situation of rangelands in Mexico. In *Grasslands ecosystems, endangered species, and sustainable ranching in the Mexico-US borderlands: Conference proceedings. RMRS-P-40. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA* (pp. 85-86).

Melo, S. F., Márquez Torres, M. L., Lozano Castro, N. E., García García, J. A., Díaz Timoté, J., Pereira, M. F., ... & Bojanic Helbingen, A. J. P. (2023). Del crecimiento verde a la agricultura sostenible en Colombia pp 17-25. Análisis de la sostenibilidad de paisajes agropecuarios: aproximación conceptual y metodológica. Bustamante C.; Redondo J.; Roa S. (eds) AGROSAVIA; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. https://doi.org/10.21930/agrosavia. analisis.518354

Michalk, D. L., Wu, J., Badgery, W. B., & Kemp, D. R. (2019). Impact of market forces on product quality and grassland condition. Proceedings of 23rd International Grassland Congress 2015-Keynote Lectures

Mila Prieto, A., & Corredor Sanchez , G. (2004). Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (Pennisetum clandestinum) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 5*(1),70-75.[fecha de Consulta 10 de Julio de 2023]. ISSN: 0122-8706. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449953025011

Miranda, F. W. (2021). Introducción al manejo del pastizal: consideraciones generales. Agencia de Extensión Rural Formosa, INTA.

Mogro, E. J. J. (2022). La deforestación y sus impactos sobre la entomofauna rastrera de la región occidental de los Andes Centrales del Ecuador. *UTCiencia*, *9*(3), 128-142.

Montenegro-Gómez, S. P., Nieto-Gómez, L. E., & Giraldo-Díaz, R. (2022). Efecto de prácticas agroecológicas en la conservación del suelo de la Zona de Reserva Campesina de San Isidro, Prdera, Valle del Cauca. *Entramado*, *18*(2). Julio - Diciembre de 2022, e-8002 (ISSN 1900-3803 / e-ISSN 2539-0279). https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.8002

Morales-Nieto, C. R., Álvarez-Holguín, A., Santellano-Estrada, E., Villarreal-Guerrero, F., & Corrales-Lerma, R. (2020). Reducing Eragrostis lehmanniana populations by preparing seedbeds with unconventional tillage implements and seeding in a semiarid grassland. *Invasive Plant Science and Management*, *13*(4), 266-275. doi: 10.1017/inp.2020.27

Muñoz Rojas, M., Delgado Baquerizo, M., & Lucas Borja, M. E. (2021). Soil biodiversity and organic carbon are essential to reverse desertification. *Ecosistemas, 30 (3), 2238.* [Septiembre-Diciembre 2021] https://doi.org/10.7818/ECOS.2238 . SSN 1697-2473 Open access / CC BY-NC 3.0 disponible en www.revistaecosistemas.ne

Nieto, P., Ayala, L., Dután, J., Rodas, E., Vázquez, J., Murillo, Y. A., ... & Samaniego, J. (2017). Composición botánica de los pastizales en la provincia del Azuay, Ecuador. *Maskana*, (8), 1-4.

Noyola Pérez, H. (2005). Caracterización de la microcuenca Portezuelo, Municipio de Cerro de San Pedro, S.L.P. [Tesis de Licenciatura, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

Ordoñez, L. A. Y., RODRIGUES, V. A., ALBERTO, L., JORGE, B., & PIDAL, J. R. H. (2016). Análisis de la erosión laminar en cuatro tipos de cobertura vegetal, con ayuda de la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) en la microcuenca del rio Pimenta. *Revista GEOESPACIAL*, *13*, 30-39.

Orozco Tovar, A. P., & Ángel Hernández, J. M. (2017). Análisis de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica en la finca el recuerdo, zona rural del municipio de San Carlos–Córdoba [Tesis de licenciatura, Facultad de Ingenierias, Ingenieria Ambiental, Universidad de Cordoba].

Pakeman, R. J., Lepš, J., Kleyer, M., Lavorel, S., Garnier, E., & Vista Consortium. (2009). Relative climatic, edaphic and management controls of plant functional trait signatures. *Journal of Vegetation Science*, *20*(1), 148-159.

Paredes Chocce, M. E. (2018). Uso de índices de vegetación del sensor Modis-Terra en la estimación de biomasa aérea de pajonales altoandinos [Tesis de licenciatura, Facultad de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Pedraza, A. F. G., & Dezzeo, N. (2011). Efecto del cambio de bosque a pastizal sobre las características de algunos suelos en los Llanos Occidentales de

Venezuela. *Interciencia*, *36*(2), 135-141. Febrero, 2011, pp. 135-141 ISSN: 0378-1844 Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917765008

Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2003). *Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores de Centroamérica*. CIAT.

Poca, M., Cingolani, A. M., Gurvich, D. E., Whitworth-Hulse, J. I., & Saur Palmieri, V. (2018). La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología austral*, *28*(1), 235-248. Abril 2018 Asociacion Argentina de Ecología https://doi.or/10.25260/EA.18.28.1.1.497

Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Poch Claret, R. M. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. (Online)Edafología: uso y protección de suelos - PORTA CASANELLAS, JAIME, LOPEZ-ACEVEDO REGUERIN, MARTA, POCH CLARET, ROSA M. - Google Libros

Portillo Soriano, V. H. (2021). Evaluación de amenazas por pastoreo al pastizal del humedal de la Comunidad Campesina Santa Clara de Chuiroc-Reserva Nacional de Junín, 2018 [Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental].

Quintero, F. (2019). *Características de la sucesión Vegetal en el valle de Chanchamayo y sus implicancias para su conservación y manejo forestal* [Tesis de maestría, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú].

Reyes Carrillo, A., Martínez Menez, MR, Rubio Granados, E., García Moya, E., & Exebio García, AA (2019). Impacto del sistema zanja bordo sobre la cobertura vegetal en pastizales de la región Mixteca, estado de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, *37* (3), 231-242. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.32

Riaño Peláez, M. F., & Alba Martínez, P. A. (2020). Evaluacion del estado del arte de la investigacion y desarrollo sobre sistemas agroforestales en Colombia.

Rivera, J. H., Sinisterra, J., & Calle, Z. (2007). Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Cali, Colombia, CIPAV*.

Roca, J. A., Zamora, Maryury, Zamora, Yesenia A., & Félix, Miryam E. (2020). Composición botánica del pastizal según el nivel de arborización con Prosopis juliflora (Sw.) DC. en Carrizal-Chone, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *54*(1), 125-131. Epub 01 de marzo de 2020. Recuperado en 10 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802020000100125&lng=es&tlng=es.

Rodríguez Caro, E. G. (2014). Cambios en el contenido de carbono orgánico e índice de estabilidad estructural procedentes de varios usos de suelo de sistemas ganaderos y altitudes en la Provincia del Sumapaz. [Tesis de maestria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia].

Rodríguez Riva, G. F., & Rodríguez Rodríguez, M. M. (2022). Gestión colectiva de tierras del Instituto Nacional de Colonización el caso de los grupos de ganaderos familiares “Colonia Arerunguá” y “Paso de los Carros”.

Rodríguez, S. E. D. M., Ramírez, M. J. J., Sánchez, P. J. C., & Vallejo, J. P. P. (2020). Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental Efectos de los controladores hidrometeorológicos en la concentración del carbono orgánico disuelto (COD) en el agua de suelo y río de una cuenca de Páramo andino.

Ruyle, G. B., & Dyess, J. (2010). Rangeland monitoring and the parker 3-step method: overview, perspectives and current applications. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/ Link to item http://hdl.handle.net/10150/146925

Sandoval, O. A. A., López, G. J., Moreno, F. P., Anaya, J. A. G., García, R. Á., Castro, L. M. A., ... & Pérez, R. A. (2007). Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable [Tesis de doctorado, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado Hidalgo].

Santacruz, G. A. A., Cruz, Q. R., Hernández, J. L. P., Cabrera, O. G., & Moya, E. G. (2004). Manejo biotecnológico de gramíneas forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *42*(2), 261-276.

Saucedo-Terán, R. A., Jurado-Guerra, P., Rubio-Arias, H. O., & Álvarez-Holguín, A. (2021). Índice de contribución ecológica: Un método simple y confiable para determinar la condición de pastizales: INDICE DE CONTRIBUCIÓN ECOLÓGICA DE PASTIZALES. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *8*(1). e2732, 2021 https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2732

SEMARNAT. (2019). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2018.

Sosa Rubio, E. E., SansoresLara, L. I., ZapataBuenfil, G. D. J., & OrtegaReyes, L. (2000). Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en un área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Técnica Pecuaria en México, 38*(2),105-117. [fecha de Consulta 10 de Julio de 2023]. ISSN: 0040-1889. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61338201

Swenson, N. G., Enquist, B. J., Pither, J., Kerkhoff, A. J., Boyle, B., Weiser, M. D., ... & Nolting, K. M. (2012). The biogeography and filtering of woody plant functional diversity in North and South America. *Global Ecology and Biogeography*, *21*(8), 798-808.

Tácuna Céspedes, R. E. (2022). Cambios en la estructura de la vegetación, función hidrológica y condición del pastizal por efecto del descanso y diferimiento [Tesis de doctorado, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Tácuna, R. E., Aguirre, L., & Flores, E. R. (2015). Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados. *Ecología aplicada*, *14*(2), 191-200. Ecología Aplicada, 2015 ISSN 1726-2216

Tácuna, Raúl E., Aguirre, Lucrecia, & Flores, Enrique R.. (2021). Cambios en la estructura de la vegetación y función hidrológica en respuesta al descanso del pastizal. *Ecología Aplicada*, *20*(2), 127-136. Epub 30 de diciembre de 2021. ISSN 1726-2216 Versión impresa / ISSN 1993-9507 Versión electrónica. DOI: https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1803

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté ISBN 978-84-291-1041-8, 978-84-291-9001-4. (Online) 4ª edición L. M. Thompson F. R. Troeh - L. M. Thompson F. R. Troeh 4ª edición Los suelos y su - Studocu

Tokozwayo, S., Thubela, T., Mthi, S., Nyangiwe, N., Khetani, T. L., Gulwa, U., ... & Guza, B. 2021. Evaluation of communal rangeland condition under the East Griqualand veld type of Eastern Cape Province, South Africa. ISSN 2312-8747.

Tokozwayo, S., Timpong-Jones, E. C., Mopipi, K., Gxasheka, M., Gulwa, U., Mthi, S., ... & Dumani, A. (2023). Short-Term Effect of Grazing Exclusion and Uncontrolled Grazing on Species Abundance, Dry Matter Yield and Nutritive Value in an Invaded Area by Euryops floribundus in the Eastern Cape, South Africa. *Open Journal of Ecology*, *13*(6), 321-333. Open Journal of Ecology, 2023, 13, 321-333 https://www.scirp.org/journal/oje ISSN Online: 2162-1993 ISSN Print: 2162-1985. https://doi.org/10.4236/oje.2023.136020

Valle, H. F., & Blanco, P. D. (2006). Indicadores espectrales del rango de las microondas para la evaluación y monitoreo de la erosión eólica. *Indicadores de la desertificación para América del Sur. IICA-BID, Mendoza, Argentina*, 65-84.

Valle, M. A. V., Luna, R. G., & Villalobos, J. A. M. (2011). MANEJO DE LA VEGETACIÓN Y SU IMPACTO EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DEL SUELO EN UN PASTIZAL SEMIÁRIDO. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 3(1).

Vallejo, V. E., Afanador, L. N., Hernández, M. A., & Parra, D. C. (2018). Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*, *30*(1), 27-38.

Vargas G. L. J. (2015). Estimación de la erosión hídrica actual y potencial de la Sub-cuenca de Sayula, Jalisco, México. [Tesis de licenciatura, Centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias división de ciencias biológicas y ambientales, universidad de Guadalajara]

Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., ... & Alcántara, J. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

Vecchio, M. C. (2014). *Modificaciones en la vegetación y el suelo inducidos por el manejo del pastoreo en la estepa de halófitas de la Pampa Deprimida* [Tesis de doctorado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aire].

Vecchio, M. C., Bolaños, V. A., Golluscio, R. A., & Rodríguez, A. M. (2019). Rotational grazing and exclosure improves grassland condition of the halophytic steppe in Flooding Pampa (Argentina) compared with continuous grazing. *The Rangeland Journal*, *41*(1), 1-12 https://doi.org/10.1071/RJ18016

Velasco, M. E. V., Garay, A. H., Hernández, V. A. G., Pérez, J. P., Huerta, H. V., & Spinola, A. G. (2001). Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (dactylis glomerata l.). *Técnica Pecuaria en México*, *39*(1), 1-14. ISSN: 0040-1889. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61339101

Ventura Ríos, A. (2016). Reforestación: una estrategia empleada para rehabilitar zonas degradadas en el Porvenir, Hgo

Villadiego Lorduy, J., Villadiego Martínez, H., González Villadiego Lorduy *et al*., 2020 [Tesis de doctorado, Instituto de enseñanzas e Investigación en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados].

Villalba-Murrieta, J. C., Murrieta-Galindo, R., & Palacios-Wassenaar, O. (2022). Áreas verdes urbanas e infiltración de agua como servicio ambiental en Xalapa, Veracruz, México. *RINDERESU*, *6*(1-2). ISSN: 2448-5527

Volverás Mambuscay, B., & Amézquita Collazos, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta agronómica*, *58*(1), 35-39.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. USDA Agric. HB No. 537, Washington DC.

Yan, H., Xue, Z., & Niu, Z. (2021). Ecological restoration policy should pay more attention to the high productivity grasslands. *Ecological Indicators*, *129*, 107938.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107938

Zarria Samanamud, M. R. (2015). Inventario y estrategias de mejora de los pastizales de los sistemas de producción de alpacas en la sierra central [Tesis de licenciatura, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional la Molina].

Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Cabrera, C. R. F., Castañeda, A. L., & Tórres, E. S. (2011). Degradación y conservación de suelos en la Cuenca del río Grijalva, Tabasco. *Colegio de Postgraduados, Secretaría de recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México*.

Zhao, W., Wei, H., Jia, L., Daryanto, S., Zhang, X., & Liu, Y. (2018). Soil erodibility and its influencing factors on the Loess Plateau of China: a case study in the Ansai watershed. *Solid Earth*, *9*(6), 1507-1516, 2018 https://doi.org/10.5194/se-9-1507-2018

## ANEXOS

**Cuadro 1.** Análisis de varianza para las variables de vegetación.

| Variable | Media poblacional | Raíz CME | R-cuadrado | Coef Var | F-Valor | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vigor | 53.65 | 5.00 | 0.98 | 9.33 | 499.30 | <.0001 |
| Biomasa verde | 2.66 | 1.71 | 0.73 | 64.42 | 14.40 | <.0001 |
| Mantillo | 4.19 | 2.04 | 0.84 | 48.88 | 27.94 | <.0001 |
| Biomasa total | 6.84 | 2.33 | 0.90 | 34.14 | 48.80 | <.0001 |
| BRP | 34.23 | 6.03 | 0.94 | 17.63 | 145.86 | <.0001 |
| Densidad | 85.60 | 39.28 | 0.65 | 45.90 | 10.33 | 0.0005 |
| Especies deseables | 30.43 | 14.44 | 0.58 | 47.45 | 7.23 | 0.0028 |
| Especies menos deseables | 35.22 | 15.50 | .82 | 44.00 | 25.06 | <.0001 |
| índice forrajero | 65.66 | 12.68 | 0.68 | 19.32 | 11.41 | 0.0003 |
| Condición del pastizal | 46.87 | 8.27 | 0.53 | 17.65 | 6.02 | 0.0060 |