

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA



Evaluación del desarrollo del zacate picoso (*Amelichloa clandestina*)  
posterior a un pastoreo intensivo no selectivo

Por:

**Yael Moises Vargas Beltran**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

Junio 2026

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

Evaluación del desarrollo del zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) posterior a un  
pastoreo intensivo no selectivo

Por:


**Yael Moises Vargas Beltran**


TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
DR. PERPETUO ALVAREZ VAZQUEZ  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
DR. SAIT JUANES MARQUEZ  
Asesor Principal Externo

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSUE ISRAEL GARCIA LOPEZ  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
DR. RICARDO VASQUEZ ALDAPE  
Coasesor

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



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México  
Junio 2026

## DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio 2026

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado “**Evaluación del desarrollo del zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) posterior a un pastoreo intensivo no selectivo**” es una producción personal donde, no sé a copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenida de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector estando consiente que en caso de comprobarse plagio en el texto o no se respetaron los derechos de autor, esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar, quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación de este ni a un nuevo envío.

Yael Moises Vargas Beltran

Nombre



Firma

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por permitirme culminar esta etapa fundamental de mi formación profesional.

A mi madre: **Sandra Beltran Espejel**, por su confianza y amor durante este trayecto, que han sido fundamentales en mi desarrollo personal y profesional. Gracias por el aliento contante y por creer en mi incluso en los momentos más complejos.

A mi padre: **Antonio Vargas León**, por enseñarme el cariño y la dedicación por el ámbito pecuario, sus enseñanzas formaron las bases de mi conocimiento profesional y son aquellas que pongo en práctica día con día.

A mis amigos: **Lessly Corpus, Sara Matías, Jhoana Cruz, Yatzuri Galmich, Udiht Vargas, Ramiro López, Felipe Reyes, Arely Morales, Victoria Barrera**; quienes me acompañaron durante todo este trayecto, dándome palabras de aliento y brindándome su compañía estando lejos de casa.

Al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez**, por su orientación académica, sus valiosos consejos como amigo y profesor que contribuyeron en mi formación profesional.

Al **Dr. Sait Juanes Márquez**, por su disposición incondicional para resolver dudas y brindarme su apoyo, convirtiéndose en mi mentor y uno de mis más grandes amigos. Agradezco la amistad construida a lo largo de este proceso, del cual me llevo muchas experiencias y enseñanzas.

## DEDICATORIA

A **mis padres**, por su amor incondicional, su paciencia y su esfuerzo que realizaron para que cumpliera este gran paso en mi formación académica y profesional.

A **mi hermano**, por su cariño, compañía.

A **mis profesores**, por compartir sus conocimientos, experiencias y brindarme sus consejos durante este trayecto

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Hipótesis de investigación .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Pastizales .....	3
2.1.1 Pastizales en el mundo.....	3
2.1.2 Pastizales en México .....	4
2.2 Definición y tipos de sistemas de pastoreo .....	5
2.2.1 Sistema de pastoreo continuo .....	5
2.2.2 Sistema de Pastoreo Rotacional Voisin (PRV) .....	7
2.2.3 Sistema de pastoreo corta duración (Savory).....	8
2.2.4 Sistema de pastoreo rotacional alta intensidad baja frecuencia .....	9
2.2.5 Sistema de pastoreo no selectivo .....	10
2.3 Análisis de los sistemas de pastoreo .....	12
2.3.1 Diferencias entre el sistema de pastoreo continuo y los sistemas rotacionales e intensivos .....	12
2.3.2 Diferencias entre el Pastoreo Racional Voisin (PRV) y el pastoreo continuo .....	13
2.3.3 Contraste entre el Pastoreo Racional Voisin (PRV) y el sistema de pastoreo de corta duración (Savory) .....	14
2.3.4 Diferencias entre el sistema de pastoreo de corta duración (Savory) y el pastoreo de alta intensidad–baja frecuencia .....	14

2.3.5 Diferencias entre el pastoreo de alta intensidad–baja frecuencia y el pastoreo no selectivo.....	15
2.3.6 Contraste entre el pastoreo continuo y el pastoreo no selectivo .....	15
2.4 Efectos del pastoreo en los pastizales.....	16
2.4.1 Efecto de la carga animal .....	16
2.4.2 Impacto de la estacionalidad en los pastizales.....	18
2.5 Descripción de la especie .....	20
2.5.1 Clasificación taxonómica .....	21
2.6 Análisis de crecimiento .....	22
2.7 Componentes de rendimiento.....	23
2.7.1 Rendimiento de materia seca .....	23
2.7.2 Altura de la planta .....	23
2.7.3 Relación: hoja/tallo .....	24
2.7.4 Radiación interceptada.....	24
2.7.5 Elongación foliar .....	25
2.8 Importancia de la biomasa aérea.....	26
2.9 Métodos para medir biomasa aérea .....	27
2.9.1 Directos .....	27
2.9.2 Indirectos .....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
3.1 Área de estudio.....	29
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	30
3.3 Variables evaluadas.....	31
3.3.1 Rendimiento de materia seca total .....	31
3.3.2 Altura .....	31

3.3.3 Intercepción luminosa .....	31
3.3.4 Elongación foliar .....	32
3.3.5 Relación: Hoja/Tallo .....	32
3.4 Análisis estadístico.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1 Análisis de componentes principales .....	34
4.2 Análisis de varianza (ANOVA).....	37
4.2.1 Rendimiento de materia seca (RMS).....	38
4.2.2 Altura de planta (ALT) .....	39
4.2.3 Intercepción luminosa (IL) .....	40
4.2.4 Elongación foliar (ELF) .....	42
V CONCLUSIONES .....	43
VI. REFERENCIAS.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Amelichloa clandestina</i> (Hack.) Arriaga & Backworth Fuente: Flora of North America.....	21
<b>Figura 2.</b> Imagen de espécimen de <i>Amelichloa clandestina</i> (Hack.) Arriaga & Backworth. Fuente: National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. ....	22
<b>Figura 3.</b> Localización geografía del área de estudio en el Rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila, México. Fuente Juanes Márquez <i>et al.</i> , (2024). ....	29
<b>Figura 4.</b> Temperaturas máxima, media y mínima, y precipitación acumulada durante el periodo de evaluación en el Rancho Experimental Ganadero “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila, México. Fuente Juanes Márquez <i>et al.</i> , (2024).....	30
<b>Figura 5.</b> Gráfico BIPLLOT de los principales componentes de <i>A. clandestina</i> . ....	37
<b>Figura 6.</b> Rendimiento de materia seca del zacate picoso ( <i>Amelichloa clandestina</i> ) bajo pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$ ). ....	39
<b>Figura 7.</b> Altura de <i>A. clandestina</i> meses después del rebrote posterior a un pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$ ).....	40
<b>Figura 8.</b> Intercepción luminosa de zacate picoso ( <i>Amelichloa clandestina</i> ) por efecto del pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$ ). ....	41
<b>Figura 9.</b> Elongación de hoja de zacate picoso ( <i>Amelichloa clandestina</i> ) por efecto del pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$ ). ....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Correlaciones de caracteres cuantitativos de <i>Amelichloa clandestina</i> en el rancho Los Ángeles, 2023-2024. ....	34
Cuadro 2. Valores propios, proporción de varianza y porcentaje acumulado de componentes principales de <i>Amelichloa clandestina</i> . ....	35
Cuadro 3. Vectores propios de los tres primeros componentes principales con una varianza acumulada del 85,2 %, respecto a variables evaluadas en el estudio en un zacatal de <i>Amelichloa clandestina</i> . ....	36

## RESUMEN

En el noreste de México se establece *Amelichloa clandestina*, una especie considerada invasora, presente en el sureste de Coahuila, donde se ha establecido en las tierras de cultivo que han sido abandonadas. El presente trabajo se realizó en el rancho ganadero experimental “Los Ángeles”, en el Sureste de Coahuila. El objetivo de la investigación fue evaluar el crecimiento y rendimiento de materia seca de *Amelichloa clandestina* tras un pastoreo intensivo no selectivo, efectuado en otoño del 2023. Se utilizaron parcelas de 600 m<sup>2</sup> (tres repeticiones), a una carga animal de 333 UA ha<sup>-1</sup> bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de Materia Seca (RMS), Altura de la planta (ALT), Intercepción Luminosa (IL), Elongación Foliar (ELF), Relación: Hoja/Tallo (R:H/T), Tallos Vivos (TVI), Diámetro de Corona (DC) y Densidad Poblacional (DP). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y un ANOVA con prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con base en el CP1, el cual estuvo constituido por RMS, ALT, IL y ELF. Los componentes principales mayores a la unidad explicaron el 85 % de la varianza de los datos. El CP1 expresó una respuesta lineal de las variables relacionadas al crecimiento y dimensiones de la planta, representando el 39 % de la varianza; el CP2 representó el 32 % de la varianza y fue complemento del CP1 con las variables de TVI, DC y DP. El CP3 representó una duplicación del CP2. El rendimiento más alto de RMS se presentó en el sexto mes de rebrote (MDR), con 1305 kg MS ha<sup>-1</sup>, y el menor en el MDR 1, con 677 kg MS ha<sup>-1</sup>. En cuanto al incremento de ALT, el MDR 11 presentó el mayor crecimiento con 51 cm, siendo el MDR 1 de menor crecimiento con 10 cm. Para IL, el MDR de mayor valor fue el 10, con 55%, y el MDR menor fue el 1, con 15%. Finalmente, la mayor ELF fue en MDR 11 (46 cm) y MDR 13 (44 cm) y el menor en el MDR 1 (15 cm). En conclusión, el mayor crecimiento y rendimiento de materia seca de *A. clandestina* después del pastoreo se presentó en el mes de marzo del 2024, así como las variables de mayor productividad con *A. clandestina* son RMS, IL, ELF y ALT.

**Palabras clave:** *Amelichloa clandestina*, meses de rebrote (MDR), pastizal, sistema de pastoreo, análisis de componentes principales.

## ABSTRACT

In northeastern Mexico, *Amelichloa clandestina*, a species considered invasive, has established itself in southeastern Coahuila, where it has taken over abandoned farmlands. This study was conducted at the "Los Ángeles" experimental cattle ranch in southeastern Coahuila. The objective of the research was to evaluate the growth and dry matter yield of *Amelichloa clandestina* after intensive non-selective grazing carried out in the fall of 2023. Plots of 600 m<sup>2</sup> (three replicates) were used with a stocking rate of 333 AU ha<sup>-1</sup> under a randomized complete block experimental design with three replicates. The evaluated variables were: Dry Matter Yield (DMY), Plant Height (PHT), Light Interception (LI), Leaf Elongation (LE), Leaf/Stem Ratio (L:S), Live Stems (LS), Crown Diameter (CD), and Population Density (PD). A principal component analysis (PCA) and an ANOVA with a Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) were performed based on PC1, which consisted of DMY, PHT, LI, and LE.

The principal components greater than unity explained 85% of the data variance. PC1 expressed a linear response of the variables related to plant growth and dimensions, accounting for 39% of the variance; PC2 accounted for 32% of the variance and complemented PC1 with the variables LS, CD, and PD. PC3 represented a duplication of PC2. The highest DMY yield occurred in the sixth month of regrowth (MOR), with 1,305 kg DM ha<sup>-1</sup>, and the lowest in MOR 1, with 677 kg DM ha<sup>-1</sup>. Regarding PHT increase, MOR 11 showed the highest growth at 51 cm, while MOR 1 had the lowest growth at 10 cm. For LI, the MOR with the highest value was 10, with 55%, and the lowest MOR was 1, with 15%. Finally, the highest LE was in MOR 11 (46 cm) and MOR 13 (44 cm), and the lowest in MOR 1 (15 cm). In conclusion, the highest growth and dry matter yield of *A. clandestina* after grazing occurred in March 2024, and the variables with the greatest productivity for *A. clandestina* are DMY, LI, LE, and PHT.

**Keywords:** *Amelichloa clandestina*, months of regrowth (MOR), rangeland, grazing system, principal component analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

En el norte de México, la productividad de los agostaderos enfrenta un desafío crítico debido a las condiciones de aridez extrema. La combinación de temperaturas elevadas y una precipitación estival errática acelera la evapotranspiración, lo que restringe el ciclo vegetativo de las gramíneas nativas y desploma la oferta forrajera entre noviembre y mayo (Ramírez *et al.*, 2024). Bajo este contexto de degradación del suelo y abandono de tierras en el sureste de Coahuila, se ha documentado la expansión de *Amelichloa clandestina*, comúnmente conocida como zacate picoso. Esta especie, nativa del noreste mexicano, posee una notable plasticidad fenotípica que le permite colonizar matorrales y áreas perturbadas con sustratos calcáreos, incluso en altitudes de hasta 2100 m. Aunque su presencia histórica en la región fronteriza se consolidó a mediados del siglo XX tras su identificación en Texas (Russell y Landers, 2017), su rol en los ecosistemas agropecuarios actuales es ambivalente.

Si bien las especies invasoras suelen percibirse como una amenaza para la biodiversidad local y la estabilidad de las poblaciones nativas (Mooney y Cleland, 2001; Pimentel *et al.*, 2005), la realidad de los sistemas de producción bovina bajo condiciones subóptimas exige la búsqueda de alternativas resilientes. Factores como la intensidad de la defoliación y la eficiencia en el rebrote son determinantes para la persistencia de la planta y la calidad nutricional de su biomasa (Liu *et al.*, 2018; Texeira *et al.*, 2008). Por consiguiente, resulta imperativo evaluar la dinámica de acumulación de materia seca de *A. clandestina*. El análisis de su comportamiento productivo no solo permitirá entender su capacidad de supervivencia, sino también determinar su viabilidad como un recurso alimenticio estratégico capaz de satisfacer los requerimientos de los herbívoros cuando los forrajes convencionales son insuficientes (Fisher *et al.*, 1994).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar el crecimiento y rendimiento de materia seca de *Amelichloa clandestina* durante el periodo de otoño de 2023 a otoño de 2024, posterior a un pastoreo intensivo no selectivo.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar mensualmente el incremento de la materia seca de *Amelichloa clandestina* durante un periodo anual.
- Determinar las variables más relacionadas en la producción de *Amelichloa clandestina*, en un periodo anual, posterior a un pastoreo intensivo no selectivo.

## **1.2 Hipótesis de investigación**

- Las condiciones climáticas de los meses de rebrote de mayo a junio favorecerán la mayor acumulación de materia seca de *Amelichloa clandestina*.
- Una mayor producción de materia seca de *Amelichloa clandestina* se correlaciona con una mayor altura, intercepción luminosa y diámetro de corona, de la planta.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Pastizales

#### 2.1.1 Pastizales en el mundo

Los pastizales abarcan una amplia diversidad de ecosistemas y formas de relieve, extendiéndose por aproximadamente el 42 % de la superficie terrestre del planeta, con excepción de la Antártida y Groenlandia (Teague *et al.*, 2013). Estos ecosistemas se caracterizan por una vegetación abierta dominada principalmente por especies herbáceas, cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros. Generalmente se localizan en regiones con baja productividad agrícola, donde el pastoreo constituye una estrategia eficiente para transformar la biomasa vegetal en productos de interés para el consumo humano (Reboloso y Gómez, 2003). Existen dos clases de pastizales: naturales (conformados por especies nativas utilizadas para el consumo animal) y artificiales (corresponden a áreas con manejo intensivo, generalmente con especies forrajeras introducidas y prácticas culturales específicas). Ambos tipos están integrados por factores bióticos, como productores, consumidores y descomponedores, y por factores abióticos, entre ellos el clima, el suelo, la topografía y la altitud, cuya interacción determina el funcionamiento y la estabilidad del ecosistema (Lok, 2010).

No obstante, en zonas de pastizal, los animales se desplazan continuamente en busca de alimento, lo que convierte el consumo de forraje en un factor determinante para el equilibrio del ecosistema. Ante esto, los ungulados influyen de manera significativa en el entorno al modificar la estructura del suelo mediante el pisoteo y al aportar nutrientes mediante sus excretas y orina. Estas interacciones contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo, favorecen la actividad microbiana y fortalecen la salud integral del pastizal, de las plantas y de los propios animales (Teague *et al.*, 2008).

### 2.1.2 Pastizales en México

Los pastizales y matorrales de las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México representan aproximadamente una cuarta parte del territorio nacional, lo que les confiere una relevancia estratégica considerable. Estos ecosistemas suministran múltiples bienes y servicios ambientales, entre los que sobresalen su papel en la producción pecuaria bajo sistemas de ganadería extensiva y su capacidad para almacenar carbono, una función ecosistémica esencial en el contexto del cambio climático actual (Guerra *et al.*, 2021).

Desde una perspectiva espacial, los pastizales semiáridos se distribuyen en una franja que va del norte al suroeste del país, incluyendo estados como Sonora y Guanajuato. En contraste, los matorrales áridos presentan una distribución más extensa, abarcando desde Baja California hasta el sur del territorio nacional, incluso en Oaxaca. En las últimas cinco décadas, ambos tipos de vegetación han experimentado una reducción significativa de superficie debido a su conversión para actividades agrícolas, con una disminución aproximada del 14 % en pastizales y del 26 % en matorrales. Actualmente, se estima la existencia de aproximadamente 9.77 millones de hectáreas de pastizales y 40.95 millones de hectáreas de matorrales. De acuerdo con registros oficiales, el sobrepastoreo continúa siendo el principal factor de presión, afectando a la mayoría de los pastizales y a una proporción considerable de los matorrales, lo que limita su capacidad de recuperación y la provisión de servicios ecosistémicos (Guerra *et al.*, 2021). Además, estos ecosistemas han sido sometidos a procesos continuos de degradación asociados al cambio de uso del suelo, el manejo inadecuado del pastoreo y la variabilidad climática, lo que ha provocado alteraciones sustanciales en su estructura y funcionamiento. Frente a esta problemática, los primeros programas formales de manejo y restauración se implementaron en la década de 1950 en el rancho experimental La Campana, bajo la coordinación del entonces Instituto Nacional de Investigación Pecuaria (Guerra *et al.*, 2021).

## **2.2 Definición y tipos de sistemas de pastoreo**

El sistema de pastoreo es una forma de organizar el uso del pastizal natural que permite programar y controlar el impacto del ganado sobre su condición. De esta manera, se transforma en una herramienta clave para la recuperación de pastizales degradados y la conservación de aquellos que se encuentran en un buen estado, a su vez, permite combinar distintos números de potreros según las necesidades del sistema (Griggs *et al.*, 2005).

### **2.2.1 Sistema de pastoreo continuo**

Históricamente, el pastoreo continuo ha sido uno de los sistemas de manejo más utilizados en los pastizales debido a la facilidad de su aplicación, la reducida necesidad de infraestructura y la baja inversión inicial requerida para su implementación. En este esquema, la regulación de la presión de pastoreo se realiza principalmente mediante el ajuste de la carga animal, lo que puede favorecer ganancias individuales aceptables en los animales. Sin embargo, la productividad por unidad de superficie suele ser limitada, lo que reduce la eficiencia en el uso del terreno y del recurso forrajero disponible. Una de las principales desventajas de este sistema es que tiende a concentrar el pastoreo en determinadas áreas del potrero, que genera un uso desigual del pastizal y provoca el deterioro progresivo de los recursos forrajeros. Este patrón de aprovechamiento se traduce, con el tiempo, en una disminución de la cobertura vegetal y de la capacidad productiva del ecosistema (Holechek *et al.*, 2010; Teague *et al.*, 2008).

La distribución heterogénea del pastoreo en este sistema se explica por el comportamiento selectivo del ganado y la permanencia continua de los animales en una misma unidad de manejo. El consumo de forraje no se reparte de manera uniforme ni en el espacio ni en el tiempo, lo que favorece la selección reiterada de sitios con mejores condiciones, como áreas cercanas a fuentes de agua o con forraje de mayor calidad nutricional. Esta preferencia genera una presión excesiva sobre dichas zonas, mientras que otras áreas permanecen subutilizadas, lo que ocasiona un desequilibrio

en la estructura del pastizal. Con el paso del tiempo, este manejo conduce a procesos de sobrepastoreo, localizados o generalizado que afectan negativamente la productividad y la estabilidad del ecosistema (Bailey *et al.*, 1996; Bailey *et al.*, 2008; Holechek *et al.*, 2010).

Los herbívoros presentan una elevada capacidad de selección de especies vegetales, lo que provoca un aprovechamiento desigual del forraje disponible y una respuesta diferencial de las plantas al pastoreo. Este comportamiento está influido por cuatro factores fundamentales: la selectividad, la intensidad, la frecuencia de defoliación y la época del año en que se realiza el pastoreo. Cada uno de estos factores incide de manera distinta en la fisiología y la persistencia de las plantas forrajeras. Cuando la defoliación es excesiva o se repite con alta frecuencia, las plantas reducen su área basal y su capacidad de recuperación, lo que incrementa su susceptibilidad al estrés hídrico y a la mortalidad. Como consecuencia, el suelo queda parcialmente descubierto, lo que favorece la erosión y la invasión de especies no deseadas para el pastizal (Thorne *et al.*, 2007; Teague *et al.*, 2008).

A pesar de las limitaciones asociadas al pastoreo continuo, este sistema presenta ventajas operativas que explican su amplia adopción, especialmente en sistemas de producción con recursos limitados. La ausencia de subdivisiones internas reduce los costos de instalación y mantenimiento de los cercos, así como la necesidad de un manejo intensivo del ganado. Cuando la carga animal se ajusta adecuadamente a la capacidad de carga del pastizal y se consideran las condiciones climáticas, el pastoreo continuo puede ofrecer resultados productivos y económicos aceptables. No obstante, su éxito depende en gran medida de un monitoreo constante del estado del pastizal y de la aplicación oportuna de ajustes en el manejo para evitar procesos de degradación a largo plazo (Villantine, 1990; Holechek *et al.*, 2010).

### **2.2.2 Sistema de Pastoreo Rotacional Voisin (PRV)**

A comienzos del siglo XX, el científico Warmhold fue pionero al proponer la rotación de potreros, una práctica que permitió establecer periodos de descanso para las pasturas, favoreciendo así su recuperación tanto en cantidad como en calidad. No obstante, esta técnica no se popularizó sino hasta mediados del siglo, gracias a la labor del Dr. André Marcel Voisin, quien, a través de sus escritos y conferencias, impulsó su adopción (Rúa, 2009). Más adelante, el Dr. Luis Pinheiro Machado, especialista en ciencias agronómicas, tomó la posta del trabajo iniciado por Voisin. Tras años de estudio y aplicación en campo, plasmó su experiencia en el libro “Pastoreo Racional Voisin (PRV) - Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio”. Esta obra fue clave para la difusión del modelo en América Latina, motivo por el cual hoy conocemos ampliamente este sistema como Pastoreo Racional Voisin (PRV) (Quintana, 2001).

El PRV representa mucho más que una simple rotación de potreros: es un método racional y estratégico que busca maximizar el uso del pasto como alimento para el ganado, evitando el deterioro, la degradación y la pérdida de calidad nutricional de las pasturas (Rúa, 2010). Una de sus ventajas más destacadas es el aprovechamiento eficiente de los desechos del ganado, que se distribuyen de manera uniforme en el terreno, lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reduce considerablemente la necesidad de fertilizantes químicos (Nallar *et al.*, 2017). Este sistema se basa en un conocimiento profundo de la fisiología vegetal y considera la interacción entre las plantas forrajeras y su entorno: el suelo, el ganado, el clima y el ecosistema en general. Todos estos factores influyen en el comportamiento y rendimiento de las especies forrajeras y son fundamentales dentro del enfoque del PRV (Rúa, 2015).

A menudo, los ganaderos tienden a confundir el PRV con los sistemas de pastoreo rotacional tradicionales, aunque comparten la práctica de rotar potreros, el PRV no se limita a ello. Su enfoque permite aumentar la carga animal sin comprometer la salud del pasto, mediante una planificación cuidadosa de los tiempos de ocupación y

descanso, lo que favorece tanto la productividad como el valor nutricional de las pasturas. En contraste, los sistemas rotacionales convencionales suelen requerir un manejo más extensivo y no siempre garantizan la recuperación adecuada del forraje (Rúa, 2009). Para asegurar su aplicación en diversos contextos ganaderos, el Dr. Voisin formuló cuatro leyes fundamentales. Dos de ellas se centran en el manejo del pasto: la Ley del Reposo y la Ley de Ocupación; y las otras dos están enfocadas en el ganado: la Ley de los Rendimientos Máximos y la Ley del Rendimiento Regular. Estas leyes constituyen la base del PRV y permiten su adaptación a distintos sistemas productivos, promoviendo una ganadería más eficiente, sostenible y respetuosa con el entorno (Quintana, 2001). El PRV busca un equilibrio entre productividad, economía y sostenibilidad ambiental, promoviendo una ganadería más rentable y ecológicamente responsable (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

### **2.2.3 Sistema de pastoreo corta duración (Savory)**

El pastoreo de corta duración induce una utilización homogénea del ecosistema al concentrar la densidad animal en tiempos reducidos. La interacción dinámica del hato genera el denominado "efecto de manada", donde el pisoteo controlado rompe la costra superficial del suelo, facilitando la incorporación de mantillo y mejorando la infiltración de agua. Este proceso mecánico favorece la fijación de semillas y el reclutamiento de plántulas, incrementando simultáneamente el aporte de materia orgánica. Tales modificaciones fortalecen la estructura del suelo y estimulan la microbiota edáfica, parámetros esenciales para elevar la fertilidad y la capacidad de retención de humedad (Savory, 1979a).

Desde la perspectiva zootécnica, este método mantiene la vegetación en estadios fenológicos precoces, caracterizados por una mayor densidad de nutrientes. Al reducir la ventana de selectividad del ganado, se logra una palatabilidad más uniforme entre las especies presentes, lo que minimiza el consumo extremo de plantas deseables y la acumulación de material senescente en las menos preferidas. Este patrón de pastoreo equilibrado favorece la persistencia de especies forrajeras clave y aumenta

la cobertura vegetal basal a largo plazo. De este modo, se asegura una oferta nutritiva constante que mejora la condición corporal del ganado incluso bajo condiciones ambientales variables (Savory, 1979b).

Por último, la viabilidad del sistema se sustenta en su capacidad para acelerar los ciclos biogeoquímicos y enriquecer el suelo mediante una rápida descomposición de residuos. Para una transición efectiva, se sugiere un diseño mínimo de seis potreros, aunque una mayor subdivisión otorga un control superior sobre la carga y los tiempos de descanso. Si bien la adopción del método requiere reestructurar la infraestructura del rancho, el empleo de cercos eléctricos representa una alternativa de bajo costo que facilita la implementación gradual. Este enfoque no solo mejora la rentabilidad económica, sino que asegura la sostenibilidad ecológica de la producción pecuaria (Quintana, 2001; Savory, 1979b).

#### **2.2.4 Sistema de pastoreo rotacional alta intensidad baja frecuencia**

El sistema de pastoreo de alta intensidad y baja frecuencia se caracteriza por dividir grandes extensiones de terreno en potreros más pequeños, lo que permite establecer periodos controlados de ocupación y descanso en este sistema. Los animales pastorean hasta alcanzar un punto óptimo de aprovechamiento del forraje, evitando así el sobrepastoreo. Una vez cumplido este objetivo, el ganado se traslada a otro potrero, lo que inicia el periodo de recuperación del área previamente utilizada. Es fundamental que los animales no regresen a un potrero ya pastoreado sin que se haya cumplido el tiempo necesario para que la vegetación se recupere, de acuerdo con las necesidades de la especie forrajera en cuestión. Este tipo de manejo permite una mayor producción de forraje, lo que, a su vez, se traduce en una mejor conversión alimenticia (Estrada y Ñaupari, 2021).

Por su parte, es una estrategia integral de manejo del suelo que busca su restauración y mejora, considerando tanto las necesidades del ganado como el aumento de la productividad del pasto (Carrera *et al.*, 2015). Esta práctica promueve una mayor eficiencia fotosintética en las plantas forrajeras, lo que estimula su desarrollo y

favorece una mayor producción de biomasa. Al mejorar la calidad del suelo, también mejora la calidad del forraje, lo que repercute positivamente en la ganancia de peso del ganado, superando el rendimiento de los sistemas de pastoreo tradicionales y continuos, incluso en épocas de sequía o de lluvia (Bullock y Marriot, 2000). Además, fomenta la biodiversidad y la recuperación de pastizales degradados, especialmente aquellos afectados por la práctica de monocultivos forrajeros, que tienden a reducir la productividad por unidad de superficie (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

Uno de los indicadores clave en este tipo de sistema es la contribución de distintas especies forrajeras a la producción total, ya que esto permite evaluar la calidad de la pastura durante el año, su evolución en el tiempo, y los cambios generados por las prácticas de manejo y fertilización (Bellon *et al.*, 1999). Para lograr la recuperación de un pastizal y alcanzar niveles aceptables tanto ecológicamente como económicamente, es crucial estimular la presencia y conservación de especies forrajeras deseables. Este enfoque regenerativo también es la base del pastoreo racional voisin (PRV), un sistema que integra el manejo del pasto con el desempeño animal y la salud del suelo (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

### **2.2.5 Sistema de pastoreo no selectivo**

El pastoreo no selectivo se define como una técnica de gestión orientada a la concentración de altas densidades animales en áreas restringidas durante intervalos de tiempo mínimos, alternados con fases extensas de recuperación. El propósito fundamental de esta estrategia es mitigar la selección preferencial de especies palatables, induciendo un consumo uniforme de la biomasa disponible y optimizando el aprovechamiento de la diversidad vegetal (Urdaneta, 2023). Este modelo se sustenta en una rotación intensiva sobre praderas polifíticas (pastizales compuestos por múltiples especies de diferentes familias botánicas), donde la coexistencia de múltiples especies no solo diversifica la dieta, sino que permite la ingesta de forrajes con distintos niveles de madurez. Esta heterogeneidad alimenticia contribuye a una

mejor digestibilidad y a un funcionamiento ruminal más eficiente en comparación con los esquemas de pastoreo convencionales (Cárdenas, 2013; Urdaneta, 2023).

Bajo una planificación adecuada, el pastoreo trasciende su función productiva para convertirse en un mecanismo de regulación y restauración ecológica. En ecosistemas degradados o vulnerables a invasiones biológicas, el diseño del manejo debe priorizar la regeneración vegetal y la integridad del suelo para evitar la proliferación de nichos ecológicos colonizables por especies exóticas (Holmes *et al.*, 2021). Un pilar esencial de este enfoque es el disturbio controlado de alta intensidad; esta perturbación debe ser lo suficientemente fuerte para activar los procesos de renovación sucesional, pero lo suficientemente breve para impedir el daño crónico del ecosistema. Al homogeneizar la presión de consumo, se fortalece la competitividad de las especies nativas deseables, limitando la "ventana de invasión" que suele abrirse ante disturbios mal gestionados (Holmes *et al.*, 2021).

Un segundo principio operativo establece que la permanencia en cada potrero debe restringirse estrictamente, idealmente entre 7 y 14 días, para prevenir el sobrepastoreo del rebrote y la compactación mecánica del terreno. El incumplimiento de estos límites temporales compromete la estructura edáfica y ralentiza la recuperación del sistema. Complementariamente, el tercer principio destaca la obligatoriedad de periodos de descanso que permitan la restauración foliar, la reproducción sexual de las plantas clave y la recuperación de las funciones hidrológicas del suelo. Estos intervalos, aunque variables según el estado del ecosistema, suelen oscilar entre las 6 y 12 semanas. Finalmente, el cuarto principio subraya la necesidad de una distribución espacial equilibrada mediante la subdivisión de parcelas, evitando el desarrollo de zonas de degradación localizada que actúen como focos de invasión (Holmes *et al.*, 2021).

La base lógica del pastoreo no selectivo, que menciona Acocks (1966), reside en revertir las deficiencias del pastoreo selectivo tradicional, el cual suele desaprovechar el crecimiento inducido por los descansos prolongados. Al distribuir la presión de

consumo equitativamente entre especies palatables y aquellas menos apetecibles, se promueve la regeneración de especies clímax y se mejora la cobertura del suelo. Para su ejecución técnica, se consideran cuatro parámetros fundamentales: una carga animal ajustada a la pluviometría local, periodos de ocupación máximos de dos semanas, descansos de al menos seis semanas (que pueden extenderse en fases de restauración inicial) y la subdivisión estratégica de potreros para facilitar una rotación de alta frecuencia.

Desde una perspectiva operativa, este sistema requiere de infraestructura flexible, como el uso de cercados eléctricos móviles y sistemas de agua portátiles, alineándose con filosofías de manejo como el Pastoreo Racional Voisin o los modelos de regeneración de Zietsman (2014). Los beneficios incluyen el fortalecimiento de los ciclos ecológicos del agua y nutrientes, el aumento de la biodiversidad funcional y una mayor captura de carbono atmosférico, lo que posiciona a esta técnica como una herramienta para la mitigación del cambio climático (Borrelli, 2016; Gosnell *et al.*, 2020). No obstante, su implementación exitosa enfrenta barreras como la necesidad de capacitación técnica especializada y la inversión inicial en equipamiento. Asimismo, es imperativo adaptar las cargas instantáneas a las condiciones locales de humedad y tipo de suelo para evitar riesgos de compactación y asegurar la sostenibilidad del sistema a largo plazo (Chamane *et al.*, 2017).

## **2.3 Análisis de los sistemas de pastoreo**

### **2.3.1 Diferencias entre el sistema de pastoreo continuo y los sistemas rotacionales e intensivos**

El sistema de pastoreo continuo se distingue clara y de manera estructural de los demás sistemas analizados debido a la ausencia de control sobre los tiempos de ocupación y descanso del pastizal. En este sistema, el ganado permanece en una misma unidad durante periodos prolongados, lo que favorece un patrón de pastoreo altamente selectivo y una distribución desigual de la presión de consumo. Esta condición contrasta con sistemas como el PRV, el pastoreo de corta duración, el

sistema de alta intensidad-baja frecuencia y el pastoreo no selectivo, que regulan explícitamente la frecuencia, la intensidad y la duración del pastoreo. Como resultado del manejo continuo, se generan zonas de sobrepastoreo y áreas subutilizadas, lo que provoca la pérdida de cobertura vegetal, la reducción de la productividad por hectárea y el deterioro progresivo del suelo. En cambio, los sistemas rotacionales e intensivos buscan optimizar el uso del recurso forrajero mediante descansos planificados, una mejor distribución del estiércol y un aprovechamiento más homogéneo del pastizal. Aunque el pastoreo continuo presenta ventajas operativas por su simplicidad e infraestructura mínima, su desempeño ecológico y productivo es inferior al de los sistemas que incorporan planificación del manejo (Bailey *et al.*, 1996; Teague *et al.*, 2008; Holechek *et al.*, 2010).

### **2.3.2 Diferencias entre el Pastoreo Racional Voisin (PRV) y el pastoreo continuo**

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) se diferencia del pastoreo continuo principalmente por su enfoque basado en la fisiología vegetal y en la regulación estricta del tiempo de reposo del pasto. Mientras que el pastoreo continuo somete a las plantas forrajeras a defoliaciones frecuentes e irregulares, el PRV establece periodos de descanso suficientes para permitir la restauración de las reservas de carbohidratos y el desarrollo óptimo del follaje. Además, el PRV busca maximizar la eficiencia productiva sin comprometer la persistencia del pastizal, integrando el comportamiento animal, la calidad del forraje y la salud del suelo en un mismo esquema de manejo. En contraste, el pastoreo continuo depende casi exclusivamente del ajuste de la carga animal, lo que rara vez es suficiente para evitar la degradación del recurso a largo plazo. Asimismo, el PRV promueve una distribución más uniforme del estiércol y reduce la necesidad de insumos externos, mientras que el pastoreo continuo tiende a concentrar nutrientes en zonas específicas. Estas diferencias convierten al PRV en un sistema más eficiente y sostenible en los aspectos productivo y ecológico (Quintana, 2001; Rúa, 2009; Rúa, 2015).

### **2.3.3 Contraste entre el Pastoreo Racional Voisin (PRV) y el sistema de pastoreo de corta duración (Savory)**

Aunque tanto el PRV como el sistema de pastoreo de corta duración comparten el uso de la rotación de potreros, ambos difieren significativamente en la intensidad instantánea del pastoreo y en el papel del disturbio físico en el suelo. El sistema Savory se caracteriza por concentrar altas densidades de animales durante periodos muy cortos, promoviendo el denominado efecto de manada, que genera la ruptura de costras superficiales, la incorporación de materia orgánica y la estimulación de procesos regenerativos. En contraste, el PRV prioriza la protección del rebrote y el control preciso del momento de ingreso y salida del ganado, evitando impactos mecánicos excesivos sobre el suelo. Mientras que el sistema Savory considera el pisoteo un componente funcional del manejo, el PRV lo acepta únicamente como un efecto secundario regulado. Asimismo, el PRV ajusta los periodos de descanso en función del estado fisiológico del pasto, mientras que el sistema Savory busca realizar múltiples rotaciones anuales con descansos más dinámicos. Estas diferencias reflejan enfoques distintos sobre la regeneración del pastizal y el manejo del suelo (Savory, 1979a; Savory, 1990; Rúa, 2010).

### **2.3.4 Diferencias entre el sistema de pastoreo de corta duración (Savory) y el pastoreo de alta intensidad–baja frecuencia**

El sistema de pastoreo de corta duración y el sistema de alta intensidad–baja frecuencia coincide en el uso de cargas animales elevadas; sin embargo, difieren principalmente en la frecuencia de utilización del potrero y en los objetivos del manejo. El sistema Savory promueve entradas frecuentes con descansos relativamente cortos, ajustados a la velocidad de crecimiento del forraje, con el fin de mantener una alta productividad y favorecer la regeneración mediante disturbios controlados. Por su parte, el sistema de alta intensidad–baja frecuencia enfatiza la necesidad de permitir la recuperación completa del pastizal antes de una nueva entrada, priorizando la restauración de la biomasa, la eficiencia fotosintética y la calidad del forraje. En este último, los periodos de descanso suelen ser más prolongados y menos dinámicos que

en el sistema Savory. Además, el sistema de alta intensidad–baja frecuencia se orienta de manera más directa a mejorar la conversión alimenticia y la productividad ganadera, mientras que el sistema Savory integra con mayor énfasis los procesos físicos del suelo (Bullock y Marriot, 2000; Holechek *et al.*, 2001; Carrera *et al.*, 2015).

### **2.3.5 Diferencias entre el pastoreo de alta intensidad–baja frecuencia y el pastoreo no selectivo**

El pastoreo de alta intensidad–baja frecuencia y el pastoreo no selectivo comparten la aplicación de altas cargas animales durante periodos cortos; no obstante, se diferencian en su enfoque ecológico y en el papel de la selectividad animal. El sistema de alta intensidad–baja frecuencia busca optimizar la producción forrajera y mejorar el desempeño animal mediante una adecuada recuperación del pastizal, lo que permite que las plantas alcancen un estado óptimo antes de ser reutilizadas. En contraste, el pastoreo no selectivo tiene como objetivo central reducir o eliminar la selección preferencial del ganado, promoviendo un consumo homogéneo de la biomasa vegetal y favoreciendo la regeneración de especies deseables. Además, los periodos de descanso en el pastoreo no selectivo suelen ser más largos, especialmente en fases de restauración, con el fin de permitir la floración, la reproducción y la recuperación estructural del ecosistema. Por ello, el pastoreo no selectivo se orienta más a la restauración ecológica que a la maximización inmediata de la productividad ganadera (Acocks, 1966; Bellon *et al.*, 1999; Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

### **2.3.6 Contraste entre el pastoreo continuo y el pastoreo no selectivo**

El contraste entre el pastoreo continuo y el no selectivo representa dos extremos del manejo del pastizal. Mientras que el pastoreo continuo permite una alta selectividad y carece de control sobre la presión de pastoreo, el pastoreo no selectivo concentra deliberadamente a los animales para inducir un consumo uniforme y un disturbio controlado. El pastoreo continuo tiende a degradar el recurso forrajero debido al uso reiterado de las mismas plantas, mientras que el pastoreo no selectivo busca revertir estos procesos mediante altas densidades temporales y descansos prolongados.

Asimismo, el pastoreo no selectivo promueve la mejora de la cobertura vegetal, la biodiversidad funcional y la restauración de los ciclos ecológicos, aspectos que no se atienden en el sistema continuo. Sin embargo, el pastoreo no selectivo requiere un mayor nivel de planificación, infraestructura flexible y capacitación técnica, lo que representa una diferencia operativa significativa entre ambos sistemas (Acocks, 1966; Holmes *et al.*, 2021; Urdaneta, 2023).

## **2.4 Efectos del pastoreo en los pastizales**

### **2.4.1 Efecto de la carga animal**

Las plantas forrajeras son organismos dinámicos en los que los procesos de producción y pérdida de tejido ocurren simultáneamente y de forma continua. El manejo del pastoreo influye directamente la acumulación neta de forraje, ya sea modificando la tasa de crecimiento, la tasa de pérdida o ambas tasas. Entre los factores de manejo, la defoliación representa la influencia más importante del animal sobre el pasto, ya que implica la remoción de material vegetal mediante el consumo, el pisoteo o el corte (Pando, 2010). Es importante analizar cuatro aspectos clave de la defoliación: la intensidad, la frecuencia, la época del año en que ocurre y la selectividad del consumo. No se reduce el área foliar disponible, sino que también se altera el microambiente, especialmente en lo que respecta a la luz, la temperatura y la humedad del suelo (Pando, 2010).

La intensidad de defoliación se define como la proporción de biomasa que es consumida o destruida por el pastoreo, y puede aplicarse a una planta individual, una población específica o toda la comunidad vegetal (Heady y Child, 1994). Esta intensidad puede expresarse de dos formas: a) el grado de uso o porcentaje del forraje removido con relación al crecimiento anual de la planta; y b) el residuo o biomasa remanente, que corresponde a la cantidad o altura de las hojas después del pastoreo (Borrelli y Oliva, 2001). Una defoliación severa puede reducir significativamente el rendimiento del forraje, al disminuir la densidad de plantas, el peso de los tallos, el índice de área foliar y la longevidad de las hojas, además de afectar la eficiencia

fotosintética y agotar las reservas de carbohidratos. Sin embargo, en pasturas con suficientes reservas y área foliar remanente, la tasa de rebrote puede mantenerse alta. En contraste, una defoliación ligera y prolongada puede disminuir la producción de materia seca por el aumento de senescencia y descomposición asociado al autosombreo (Pando, 2010).

Por otra parte, la frecuencia de defoliación se refiere al número de veces que una planta es pastoreada en un periodo determinado (Heady y Child, 1994). En sistemas extensivos como el pastoreo continuo o el rotacional diferido, resulta casi imposible controlar esta frecuencia. Según Kothmann (1984), en potreros grandes los animales suelen regresar a las zonas ya rebrotadas antes de alcanzar las áreas más alejadas, lo que provoca un uso desigual del forraje. Esto refuerza la tendencia al pastoreo en parches y a la acumulación de material senescente en ciertas zonas lo que afecta negativamente la calidad y la disponibilidad del forraje. Frente a estas limitaciones, algunos autores han propuesto que manejar la frecuencia de defoliación es más importante que controlar su intensidad. A partir de este principio, surgieron sistemas de pastoreo con varios potreros, alta carga animal instantánea y periodos breves de ocupación, diseñados para evitar que los animales pastoreen repetidamente las mismas plantas (Borrelli y Oliva, 2001).

La época de defoliación es otro factor determinante, ya que se refiere al momento del año en que se realiza la remoción del follaje, dentro de la curva de crecimiento de la planta (Borrelli y Oliva, 2001). Según Heady y Child (1994), muchas gramíneas y herbáceas son altamente sensibles a la defoliación durante el periodo de crecimiento activo, especialmente cuando se eliminan tejidos verdes y yemas en desarrollo. Esta sensibilidad disminuye a medida que la planta madura. En este sentido, Heady (1984) identificó dos principios clave: primero, que las plantas responden de manera diferente a la defoliación según el momento fenológico en que se encuentren; y segundo, que ninguna defoliación previa a la maduración de las semillas mejora el vigor o la producción de semillas. Además, aunque los estudios detallados son escasos, la observación en campo indica que los potreros intensamente utilizados durante la

primavera suelen estar muy degradados, lo que sugiere que el pastoreo primaveral intenso tiene un mayor efecto negativo sobre los pastizales (Borrelli y Oliva, 2001).

Finalmente, la selectividad en el pastoreo refleja cómo los herbívoros escogen ciertos tipos de plantas por encima de otras, a pesar de su disponibilidad relativa. Este comportamiento está influido tanto por las características del animal (como su tamaño corporal, tipo de sistema digestivo, relación el volumen ruminal y el peso corporal y el tamaño de la boca) como por las propiedades intrínsecas de las plantas (Heady y Child, 1994; Borrelli y Oliva, 2001). La selectividad implica una compleja interacción entre los animales, las plantas y el ambiente, y se manifiesta cuando ciertas especies vegetales, (aunque representen una menor proporción de la oferta forrajera), son consumidas en mayor medida por el ganado. Este tipo de defoliación selectiva provoca un aprovechamiento desigual del forraje disponible, lo que puede conducir a la desaparición de especies preferidas, a la proliferación de plantas no palatables y a la degradación progresiva del pastizal (Heady y Child, 1994).

#### **2.4.2 Impacto de la estacionalidad en los pastizales**

La estacionalidad climática constituye uno de los principales factores ecológicos que condicionan la productividad y la sostenibilidad de los sistemas pastoriles, particularmente en las regiones tropicales y subtropicales. La alternancia entre estaciones húmedas y secas genera fluctuaciones marcadas en la cantidad y calidad del forraje disponible, lo que impacta directamente el desempeño del ganado y compromete la estabilidad de los sistemas de producción. Durante la estación lluviosa, la disponibilidad hídrica promueve el crecimiento vigoroso de los pastos naturales y cultivos forrajeros, incrementando sustancialmente la oferta de biomasa. En esta fase se alcanza un contenido más elevado de proteína cruda, energía metabolizable y digestibilidad de la materia seca, lo que permite cubrir de manera más eficiente los requerimientos nutricionales del hato, favoreciendo así su desarrollo y productividad (Sánchez Matta, 2005; Ayele *et al.*, 2021).

Sin embargo, a pesar de esta abundancia, una parte importante del forraje producido durante la temporada lluviosa se desperdicia por falta de prácticas adecuadas de conservación. Muchas veces el forraje alcanza estados de madurez avanzados (como floración o semillado), lo que implica un aumento de la lignificación de las fibras y una marcada disminución de su digestibilidad. Esta situación reduce el valor nutritivo del forraje disponible, ya que el contenido de fibra indigestible aumenta mientras disminuye la energía aprovechable. Esta pérdida de calidad puede limitar la eficiencia alimenticia del ganado, especialmente en sistemas donde no se dispone de alternativas suplementarias o de conservación de forraje mediante técnicas como el ensilaje o la henificación (Sánchez-Matta, 2005).

En contraste, durante la estación seca (especialmente en fases media y crítica) la producción de forraje se reduce drásticamente, tanto en volumen como en calidad. Los pastizales disminuyen su capacidad de crecimiento, y los residuos disponibles presentan bajos niveles de proteína y energía, lo que los convierte en una fuente nutricional inadecuada para sostener la condición corporal del ganado. Los animales en estas condiciones dependen en su mayoría de residuos de cosecha y de forrajes alternativos (arbustos, árboles o especies no convencionales), que no siempre son suficientes para cubrir sus requerimientos nutricionales para producción y reproducción. Esta escasez prolongada de nutrientes puede provocar consecuencias graves, como reducción en la producción de leche, retraso en la edad al primer servicio, y elevadas tasas de mortalidad en crías por desnutrición (Ayele *et al.*, 2021).

Este desequilibrio nutricional generado por la variabilidad estacional se traduce en ineficiencias productivas que afectan de manera estructural a los sistemas pastoriles. Por ejemplo, en ciertos sistemas agroecológicos como los observados en Etiopía occidental, se ha determinado que los requerimientos anuales de materia seca del hato solo se cubren durante 7 a 9 meses del año, mientras que los de proteína digestible apenas se satisfacen entre 3,0 y 3,5 meses. Este desajuste crónico entre la oferta y la demanda de nutrientes compromete la viabilidad económica del sistema ganadero y

aumenta la vulnerabilidad ante eventos extremos como sequías prolongadas o lluvias irregulares, cada vez más frecuentes debido al cambio climático (Ayele *et al.*, 2021).

Frente a este desafío estructural, se han propuesto estrategias orientadas a amortiguar los efectos de la estacionalidad en la producción forrajera. Entre las más destacadas se encuentran la conservación de forrajes mediante técnicas como el ensilaje, la henificación, el uso de especies forrajeras tolerantes a la sequía, la implementación de planes de pastoreo rotacional bien diseñados y la suplementación estratégica durante los periodos críticos. Estas medidas permiten estabilizar la oferta de nutrientes a lo largo del año, reducir las pérdidas económicas asociadas a la estacionalidad y mejorar la eficiencia global de los sistemas ganaderos en entornos frágiles o con alta variabilidad climática (Sánchez-Matta, 2005).

## **2.5 Descripción de la especie**

*Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth

Sinónimo (s): *Stipa clandestina* Hack

Cuenta con una composición amacollada por culmos de 50-90 cm de alto, grosor de 1 a 2.9 cm de espesor, erectos, glabros; cuenta con nudos que comúnmente son 3. Sus hojas son basales; solo 2 son clasificadas como conspicuas. La composición de sus hojas es de crecimiento erecto (10-50 cm de largo), los bordes pueden ser enrollados o doblados, mientras que en estado plano miden de 2 a 4 mm de ancho, cuenta con una punta afilada cuando está seca. Los tallos generan una inflorescencia menor a 1 m de altura. Estas inflorescencias en los tallos tienen una panícula o en algunos casos un racimo con forma de espiga compacta y delgada; ocasionalmente en sus ramas contraídas, presenta panículas cleistógamas las cuales se ocultan en las axilas de las vainas basales. Las panículas tienen una longitud de 10 a 20 cm y un ancho de 1-5 cm, en ocasiones incluidas en las vainas de las hojas. Tiene aristas de 11 a 23 mm, que se geniculan 2 veces. Las semillas tienen 1 a 1.4 mm de grosor, 3 mm de largo, con costillas longitudinales lisas (Arriaga y Backworth, 2006).

### 2.5.1 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

Filo: Traqueofita

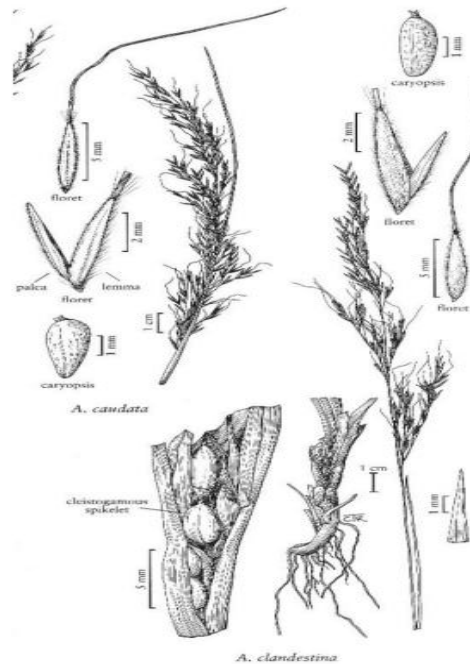
Clase: Magnoliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceas

Especie: *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga &

Barkworth



**Figura 1.** *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Backworth Fuente: Flora of North America.



**Figura 2.** Imagen de espécimen de *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Backworth. Fuente: National Museum of Natural History, Smithsonian Institution.

## 2.6 Análisis de crecimiento

El análisis del crecimiento constituye una herramienta fundamental en la fisiología vegetal, mediante la cual se cuantifica y evalúa el desarrollo de los organismos, en particular de las plantas, a lo largo del tiempo. Este procedimiento se basa en la medición de variables morfológicas y fisiológicas, como son el peso seco, el área foliar y la acumulación de biomasa, con el fin de describir de manera precisa los patrones de crecimiento y su dinámica (Calanza *et al.*, 2014).

Asimismo, entre los principales indicadores utilizados en este tipo de análisis se encuentran la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN), la razón de área foliar (RAF), entre otros, los cuales permiten establecer relaciones funcionales entre el incremento de biomasa y la capacidad fotosintética del organismo (Calanza *et al.*, 2014). De esta manera, el análisis de crecimiento no solo permite interpretar cómo las plantas utilizan eficientemente los recursos del entorno, como la luz, el agua y los nutrientes, sino que también permite identificar etapas fenológicas

críticas y comparar distintos tratamientos agronómicos o condiciones ambientales (Álvarez *et al.*, 2017).

## **2.7 Componentes de rendimiento**

Estos componentes nos sirven para un aprovechamiento efectivo del forraje, es importante conocer el momento oportuno de cosecha desde el punto de vista del rendimiento, la calidad y la persistencia de las plantas. Estos componentes en la acumulación de forraje pueden ser modificados por la carga animal, la cual depende del grado de defoliación; se ha indicado que, con defoliaciones ligeras en periodos prolongados, la acumulación de materia seca puede disminuir; en cambio, con defoliaciones moderadas a severas, disminuye la disponibilidad de fotosintatos en los tallos (Hernández *et al.*, 2017).

### **2.7.1 Rendimiento de materia seca**

Es un indicador fundamental para evaluar la producción de forraje. El rendimiento materia seca (RMS) representa la fracción del producto que permanece después de eliminar por completo su contenido de humedad, lo cual es clave, ya que el nivel de agua puede variar considerablemente y afectar tanto la calidad como la cantidad del producto final. Para calcular el RMS, se recolecta una muestra significativa del forraje y la cual se somete a un proceso de secado, eliminando la humedad total. Este rendimiento se expresa comúnmente en kilogramos de materia seca por hectárea ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) o en porcentaje. El proceso de secado puede realizarse mediante distintas técnicas, como el uso de aire caliente o secado forzado en hornos o secadores especializados. Una vez seco, se pesa nuevamente el material para determinar su peso seco. En general, un mayor RMS se asocia con una mayor productividad y una mejor eficiencia en el uso de los recursos disponibles (Fuentes, 2022).

### **2.7.2 Altura de la planta**

Uno de los métodos más confiables para calcular el rendimiento de forraje es medir la altura del pastizal, lo cual se debe realizar antes de cada pastoreo o corte. La altura

muestra una relación positiva con el RMS y con la estabilidad en la producción de forraje, permitiendo estimar con mayor precisión la cantidad disponible. Esta medición se considera un método indirecto, ya que gran parte de la planta influye en la producción total de forraje. Una desventaja sería que alturas excesivas pueden afectar negativamente la producción, ya que las plantas más altas tienen mayor probabilidad de encamarse o doblarse, lo que reduce el volumen aprovechable. Por ello, es fundamental realizar un monitoreo constante de la altura de la pradera antes de cada intervención, con el fin de mantener una producción eficiente y sustentable (Adams *et al.*, 1977).

### **2.7.3 Relación: hoja/tallo**

Funciona como un indicador clave para evaluar la calidad del forraje. Se obtiene dividiendo el peso de la materia seca de las hojas entre el de los tallos. A medida que la planta madura y avanza en su desarrollo fenológico, esta relación tiende a disminuir, ya que las hojas pierden peso mientras que los tallos se vuelven más prominentes. Este cambio reduce la calidad nutricional del forraje. Un forraje de alta calidad se caracteriza por una mayor proporción de hojas respecto a tallos, ya que las hojas son más digeribles y nutritivas. Por esta razón, los productores ganaderos dan especial importancia a la acumulación de biomasa foliar, ya que representa la parte más apetecible y adecuada de la planta para la alimentación animal (Quiroga *et al.*, 2008).

### **2.7.4 Radiación interceptada**

Sage y Kubein (2007) mencionan que, a medida que el índice de área foliar aumenta, también lo hace la cantidad de luz interceptada por la planta, lo que favorece un mayor crecimiento y altura. No obstante, un exceso en el área foliar puede reducir la calidad de la luz que llega a las hojas inferiores, afectando negativamente su desarrollo y disminuyendo la tasa de asimilación neta. Por ello, los mayores rendimientos de forraje suelen coincidir con altos valores del índice de área foliar y con una mayor altura de las plantas (Galvis *et al.*, 2001).

En relación con el momento óptimo de cosecha, diversos estudios han indicado que, este se alcanza cuando las plantas interceptan aproximadamente el 95% de la radiación solar. Este nivel de intercepción está vinculado a un mayor aporte de hojas al rendimiento total y a una mínima acumulación de material senescente o muerto (Wilson *et al.*, 2017).

### **2.7.5 Elongación foliar**

La elongación foliar, cuantificada como tasa de elongación foliar (TEF), constituye un proceso central en la morfogénesis de las gramíneas y es un determinante clave de la estructura y la dinámica del dosel vegetal. La TEF se define como el incremento diario en la longitud de las hojas en crecimiento, normalmente expresado en milímetros por macollo o tallo por día ( $\text{mm/macollo}\cdot\text{día}^{-1}$ ), y constituye una medida directa del crecimiento vegetativo (Ramírez *et al.*, 2010; Saldanha *et al.*, 2013). Desde el punto de vista fisiológico, la elongación foliar se debe a la actividad meristemática, especialmente de los meristemas intercalares ubicados en la base de las hojas, cuya actividad permanece activa incluso después de la defoliación. Esta propiedad morfológica dota a las gramíneas de una elevada capacidad de rebrote y tolerancia al pastoreo (Ruolo, 2010; Ramírez *et al.*, 2010).

La TEF está determinada genéticamente, pero es altamente modulada por factores ambientales como la temperatura, la radiación, la disponibilidad de agua y nitrógeno en el suelo. Entre estos, la temperatura es el principal regulador, ejerciendo un efecto directo sobre la tasa de crecimiento celular en la zona de elongación. Se ha documentado una relación positiva entre la suma térmica acumulada (grados día de crecimiento, GDC) y la TEF, lo cual permite utilizar esta variable como indicador predictivo de crecimiento estacional (Ruolo, 2010; Saldanha *et al.*, 2013;).

En términos de manejo de pasturas, la TEF es una herramienta útil para definir el momento oportuno de la defoliación. Su monitoreo permite maximizar la eficiencia de cosecha de forraje, evitar pérdidas por senescencia anticipada, y adaptar los sistemas de corte o pastoreo a las condiciones ambientales imperantes. En sistemas de

defoliación intensiva, la reducción de la longitud del tubo de vainas limita el desarrollo de hojas largas, y afecta negativamente la TEF. Por tanto, tanto la frecuencia como la intensidad de defoliación deben ajustarse cuidadosamente para no comprometer la capacidad de rebrote de la planta (Ruolo, 2010; Ramírez *et al.*, 2010).

## **2.8 Importancia de la biomasa aérea**

La cuantificación de la biomasa aérea es un parámetro determinante para diagnosticar el vigor de los ecosistemas terrestres, ya que representa la acumulación neta de materia orgánica viva (tallos, hojas y estructuras reproductivas) sobre el nivel del suelo. Desde una perspectiva agronómica, esta fracción vegetal no solo es un indicador de la productividad primaria, sino que permite proyectar la capacidad de carga animal y la resiliencia del ecosistema ante disturbios climáticos o presión de pastoreo (Álvarez *et al.*, 2017).

Más allá de su valor forrajero, la biomasa aérea opera como un componente crítico en la dinámica del carbono. Mediante la fotosíntesis, la vegetación actúa como un sumidero biológico que captura el CO<sub>2</sub> atmosférico para transformarlo en tejidos estructurales, desempeñando un rol estratégico en la mitigación del cambio climático y en la estabilidad climática regional. En ecosistemas de pastizal y matorral, una mayor densidad de biomasa suele correlacionarse con una eficiencia superior en el uso de recursos y una estabilidad hídrica más robusta (Hernández *et al.*, 2017).

Finalmente, la arquitectura tridimensional de la vegetación aérea configura el hábitat y sustenta la biodiversidad local, proveyendo refugio y sustrato alimenticio. Su importancia se extiende al ciclo de nutrientes: al senecer y descomponerse, los residuos vegetales reintegran minerales esenciales al perfil del suelo, cerrando ciclos biogeoquímicos que sostienen la fertilidad edáfica. En consecuencia, la gestión adecuada de la biomasa aérea garantiza servicios ecosistémicos vitales, desde la prevención de la erosión eólica hasta la mejora de la calidad del aire y la provisión sustentable de recursos naturales (García *et al.*, 2021).

## **2.9 Métodos para medir biomasa aérea**

Álvarez (2008) menciona que, la modelación alométrica se basa en la existencia de correlaciones entre las dimensiones físicas de un espécimen y su acumulación de materia orgánica. Estas ecuaciones suelen representar relaciones curvilíneas que vinculan variables morfométricas (como el diámetro basal o la altura) con la biomasa aérea total o por componentes. El valor estratégico de estas herramientas radica en su capacidad para realizar estimaciones rápidas y precisas a escala de ecosistema, evitando la necesidad de muestreos destructivos extensos. De acuerdo con Segura *et al.*, (2008), la generación de un modelo confiable requiere una secuencia técnica rigurosa: desde la delimitación del sitio y la selección representativa de la muestra, hasta la validación estadística de modelos genéricos frente a datos colectados en campo, asegurando así el mayor ajuste y precisión en los resultados finales.

### **2.9.1 Directos**

La cuantificación directa de la biomasa aérea, aunque se reconoce como el estándar de mayor precisión, conlleva un carácter intrínsecamente destructivo a través del método de cosecha. Este procedimiento implica la remoción total del espécimen para su posterior deshidratación y pesaje, lo cual, Lerma y Orjuela (2014) mencionan, imposibilita el monitoreo temporal de los mismos individuos y limita la comprensión de la dinámica de crecimiento multiestacional. Por otro lado, la aplicación de técnicas directas en entornos naturales enfrenta restricciones éticas y logísticas significativas; de acuerdo con Montes *et al.*, (2000), el elevado costo operativo y la alteración del ecosistema (derivada de la extracción masiva de material vegetal) hacen que este enfoque sea poco viable para estudios de largo alcance o en sitios con alto valor de conservación.

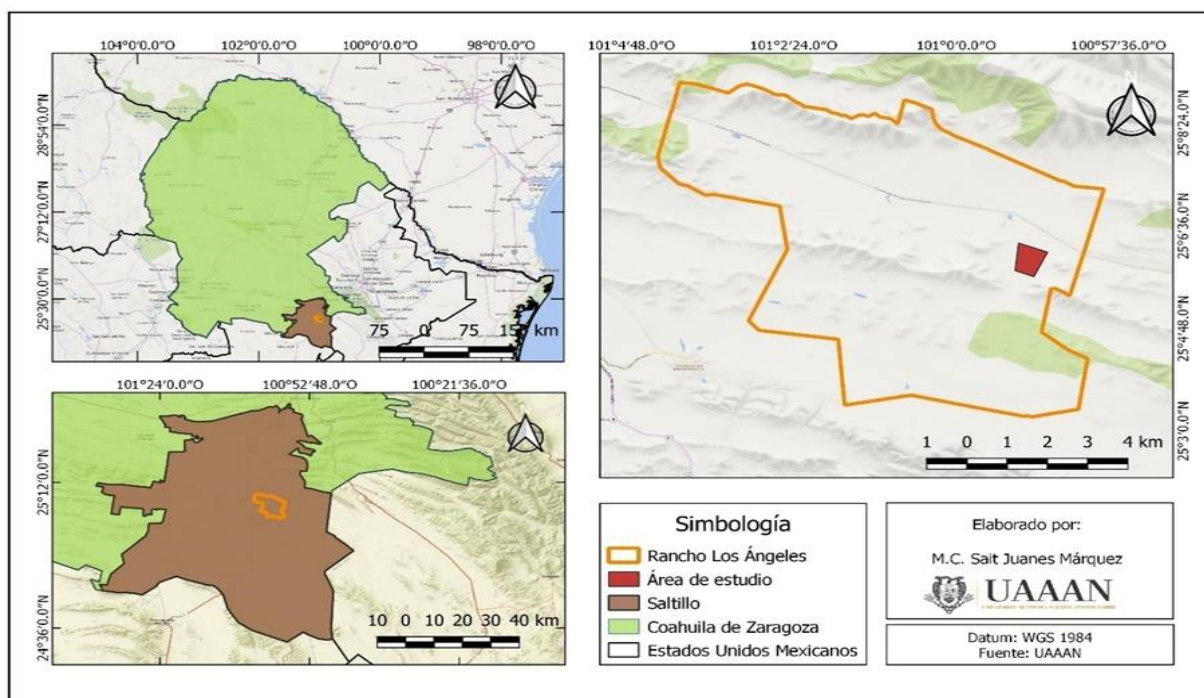
### **2.9.2 Indirectos**

La cuantificación de la biomasa aérea mediante vías no destructivas se fundamenta en la aplicación de modelos biométricos derivados de análisis de regresión, tanto lineales como no lineales. Estas herramientas, denominadas ecuaciones alométricas, permiten inferir la acumulación de materia orgánica a partir de atributos físicos medibles en campo, tales como el diámetro basal, la altura, la densidad específica y el área de cobertura. En el territorio mexicano, esta metodología se ha consolidado como el estándar para inventarios forestales y estudios de dinámica vegetal, ya sea a escala de individuo o de ecosistema. La tendencia metodológica actual sugiere que la precisión óptima se alcanza mediante la integración sinérgica de mediciones directas de control y modelos indirectos de estimación, permitiendo obtener datos confiables con un menor impacto ambiental (Kebede y Soromessa, 2018; Abich *et al.*, 2018).

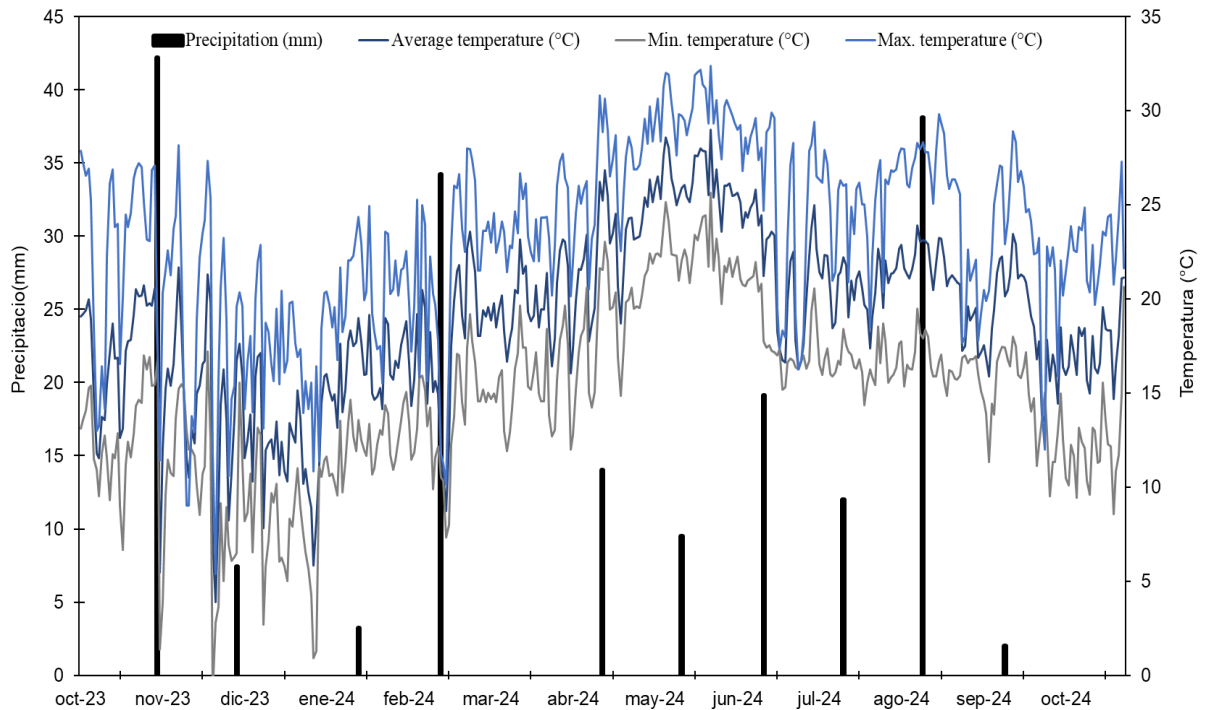
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Rancho Ganadero Experimental “Los Ángeles” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado a 34 km de Saltillo, Coahuila, México, a una altitud de 2,150 m, con coordenadas geográficas entre 25° 04' 12" y 25° 08' 51" N y 100° 58' 07" y 101° 03' 12" O (Figura 3). El clima predominante de acuerdo con Köppen y modificado para México por García (2004) es semiárido, con frescos inviernos, con un promedio anual de temperatura de 19 °C y una precipitación media anual entre 450 y 550 mm, distribuida principalmente durante la estación de verano (Figura 4).



**Figura 3.** Localización geográfica del área de estudio en el Rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila, México. Fuente Juanes Márquez *et al.*, (2024).



**Figura 4.** Temperaturas máxima, media y mínima, y precipitación acumulada durante el periodo de evaluación en el Rancho Experimental Ganadero “Los Ángeles”, Saltillo, Coahuila, México. Fuente Juanes Márquez *et al.*, (2024).

### 3.2 Diseño experimental y tratamientos

El periodo experimental fue de octubre del 2023 a noviembre del 2024 en un área de estudio de 54.6 ha<sup>-1</sup> dominada por *A. clandestina*, donde se delimitaron 3 parcelas de 600 m<sup>2</sup> (10 x 60 m), las cuales fueron perturbadas a inicio de la estación de otoño, mediante el sistema de pastoreo intensivo no selectivo (Acocks, 1966) con una carga animal de 333 UA ha<sup>-1</sup>, con dos a tres días de ocupación, dependiendo de la disponibilidad de forraje. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones donde el factor bloque fue el relieve del terreno y de variación los meses de rebrote.

### **3.3 Variables evaluadas**

#### **3.3.1 Rendimiento de materia seca total**

El muestreo realizó durante catorce meses de rebrote, posteriores al pastoreo, en los que se cosechó la biomasa presente de cuatro individuos de *A. clandestina* por repetición. El forraje cosechado fue depositado en bolsas de papel previamente identificadas, para posteriormente ser sometido a un proceso de deshidratación en estufa de aire a temperatura de 60 °C, durante 48 h, a peso constante. Una vez finalizado el secado, se determinó el peso de materia seca, para establecer la productividad por unidad de superficie (Fuentes, 2022).

#### **3.3.2 Altura**

Para la determinación del promedio de altura en *A. clandestina*, se llevó a cabo un muestreo aleatorio de 12 ejemplares por cada repetición. El procedimiento técnico consistió en posicionar el origen de la regla (0 cm) a nivel de la superficie del suelo, extendiéndose verticalmente hasta alcanzar el ápice o punto de máxima elongación de cada planta. Se utilizó una escala con un límite de 100 cm para asegurar la precisión en la captura de datos. Una vez recolectados los valores individuales de cada unidad experimental, se procedió a realizar el cálculo estadístico para obtener la altura media del zacatal, correlacionando estos resultados con la edad del rebrote bajo los lineamientos metodológicos de Arévalo *et al.*, (2021).

#### **3.3.3 Intercepción luminosa**

La determinación de intercepción luminosa o también llamado porcentaje de luz interceptada se ejecutó mediante la barra light o también denominado sensor de quantum de 70 cm de longitud, modelo PS-100, Apogee, Inst, Utah, USA, la cual se ubica de manera horizontal con orientación norte – sur, nivelada con la burbuja de agua. Las lecturas fueron hechas sobre y por debajo del dosel de las plantas, para que al realizar la primera lectura se registrara la luz recibida (100 %), mientras que la lectura

bajo el dosel representa la luz que no intercepto la planta, considerada como la energía lumínica no aprovechable para generar biomasa. Se tomaron tres lecturas por cada parcela (inicio, parte media y al final), entre las 12:00 y 13:00 horas; siendo estas las horas de mayor incidencia luminosa de forma perpendicular sobre la superficie de las parcelas. Con los registros lecturas se calculó el porcentaje de luz interceptada por zacatal mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ LI} = 100 - (\text{LT} * 100) / \text{LR}$$

Dónde:

% LI = Porcentaje de luz interceptada.

LT = Cantidad de luz transmitida ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}^{-1}$ )

LR = Cantidad de luz recibida ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ nm}^{-1}$ )

(Cámara-Acosta *et al.*, 2022).

### 3.3.4 Elongación foliar

Cinco individuos de *A. clandestina* por parcela fueron identificados al inicio del estudio para determinar la de elongación foliar. La identificación se realizó un aro de color a un tallo por individuo, al cual se le tomó la elongación mensual en cada edad de rebrote con una regla graduada de 100 cm, procurando que esta quedara al inicio de la lámina foliar. Una vez obtenidas las lecturas de cada repetición se calculó el promedio de elongación foliar por repetición (Jácome-Gómez *et al.*, 2023).

### 3.3.5 Relación: Hoja/Tallo

Para la relación: hoja/tallo se tomaron diez tallos al azar de *A. clandestina* por parcela, los cuales fueron cortados desde la base de la plata, estos fueron depositados en bolsas de papel etiquetadas con edad de rebrote y repetición, se sometieron a un proceso de secado en estufa de aire a 60 °C por 48 h a peso constante. Posteriormente se separó la hoja del tallo y se pesaron ambos componentes por separado, con estos datos se calculó la relación: hoja/ tallo mediante la siguiente formula:

R:H/T = Relación del peso de la hoja, respecto a la del tallo

Dónde:

H = Peso de la hoja (g MS planta-1)

T = Peso del componente tallo (g MS planta-1)

(Quiroga *et al.*, (2008))

### 3.4 Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para evaluar la relación entre las variables específicas en el zacatal, calculando el ACP a partir de la matriz de correlación de los caracteres con el software JMP 14 Pro®. Asimismo, bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones, se llevaron a cabo un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ), utilizando el mismo software.

Se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = valor de la variable de respuesta en el tratamiento  $i$ , repetición  $j$

$\mu$  = media general de la población estudiada

$\alpha_i$  = efecto del tratamiento o grupo  $i$

$\epsilon_{ij}$  = error aleatorio

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de componentes principales

De acuerdo con, los valores de correlación presentados en el Cuadro 1, se identificaron valores superiores a 0.60, considerados como valores con mediano a alto grado de asociación. Las variables sobresalientes fueron: altura (ALT) vs rendimiento de materia seca (RMS), con un valor de 0.69, lo que indico que, por cada unidad de aumento de la ALT, el RMS aumento en un 69 %. Del mismo modo, la relación entre intercepción luminosa (IL) vs relación: hoja/tallo (R:H/T) que la IL aumento en un 61 % por cada unidad de aumento de la R:H/T, la elongación de hoja aumento en un 82 y 69%, por cada cm de aumento de altura, el diámetro de corona en un 68% al aumentar el RMS, y en un 61% al aumentar los tallos vivos, y, por último, la densidad poblacional de tallos aumenta en un 65% al incrementarse el diámetro de corona.

**Cuadro 1. Correlaciones de caracteres cuantitativos de *Amelichloa clandestina* en el rancho Los Ángeles, 2023-2024.**

	RMS	R:H/T	ALT	IL	ELF	TVI	DC	DP
RMS	1.00	-0.08	<b>0.69</b>	0.13	0.49	0.24	<b>0.68</b>	0.41
RHT		1.00	0.32	<b>0.61</b>	0.42	-0.08	-0.12	-0.30
ALT			1.00	0.55	<b>0.82</b>	-0.16	0.35	-0.05
IL				1.00	<b>0.69</b>	-0.17	0.20	-0.07
ELF					1.00	-0.44	0.20	0.02
TVI						1.00	<b>0.61</b>	0.54
DC							1.00	<b>0.65</b>
DP								1.00

RMS= rendimiento de materia seca, R:H/T= relación hoja tallos, ALT= altura, IL= intercepción luminosa, ELF= elongación foliar, TVI= tallos vivos, DC= diámetro de corona, DP= densidad poblacional.

En el Cuadro 2, se muestra los valores propios y la proporción de la varianza de los ocho componentes principales. El primer componente (CP1) concentró el 39.4 % de la varianza total; el segundo componente principal (CP2) explica el 32.5 % de la variabilidad; y el tercer componente principal (CP3) expreso el 13.2 %, sumando un total de 85.2 % en los tres principales componentes máximos, el resto de los componentes fueron menores a la unidad y con comparaciones menores a la varianza de los datos.

**Cuadro 2. Valores propios, proporción de varianza y porcentaje acumulado de componentes principales de *Amelichloa clandestina*.**

Componentes Principales	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
CP1	<b>3.15</b>	39.4	<b>39.4</b>
CP2	<b>2.60</b>	32.5	<b>72.0</b>
CP3	<b>1.06</b>	13.2	<b>85.2</b>
CP4	0.58	7.2	92.5
CP5	0.32	4.0	96.6
CP6	0.14	1.7	98.4
CP7	0.09	1.1	99.5
CP8	0.03	0.4	100.0

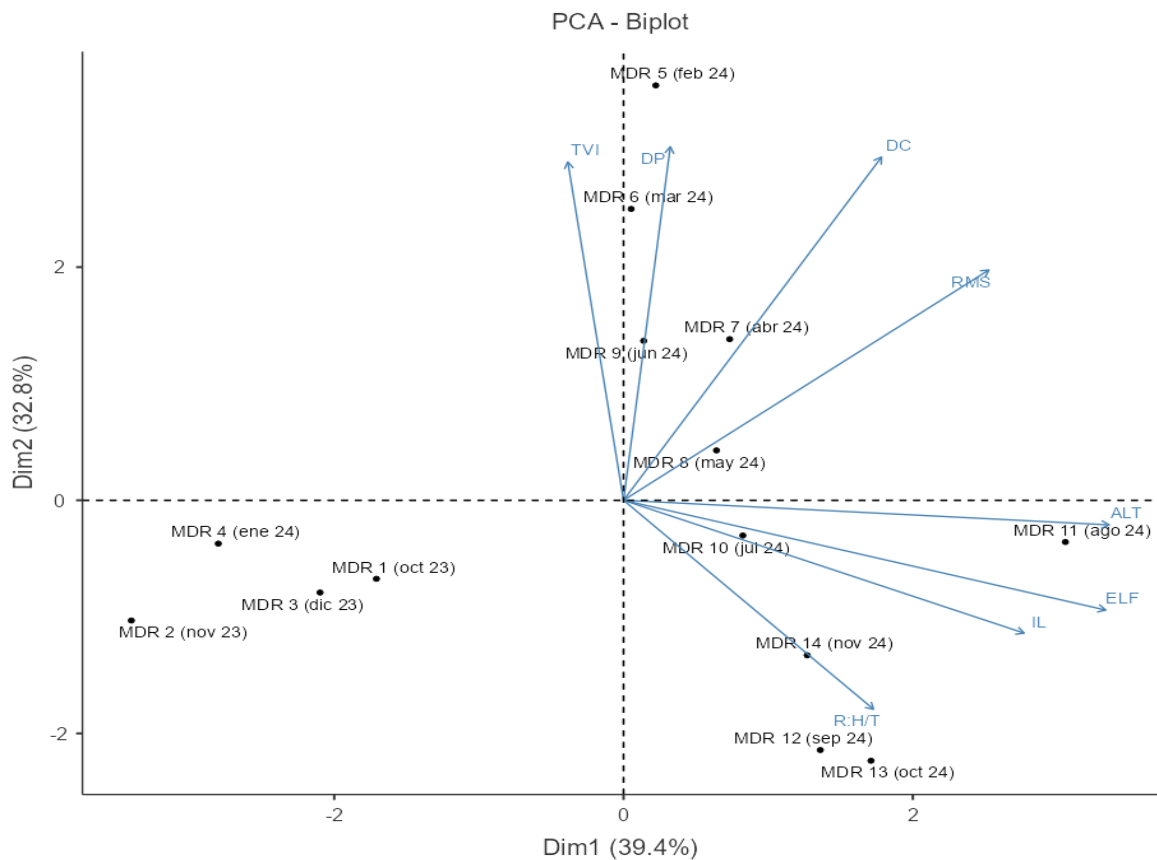
Los vectores propios de los primeros componentes principales en relación con las ocho variables se presentan en el Cuadro 3, donde se observa que las variables con mayor asociación con el CP1 Fueron: RMS, ALT, IL, ELF: dichas variables se relacionan con la dimensión y el crecimiento de la planta. El CP2 es un complemento del CP1, el cual es una respuesta lineal de las variables del crecimiento de la planta (TVI, DC, DP). Respecto al CP3 se observan valores de igual importancia del CP2 por lo que presento una estructura de carga similar.

**Cuadro 3. Vectores propios de los tres primeros componentes principales con una varianza acumulada del 85,2 %, respecto a variables evaluadas en el estudio en un zacatal de *Amelichloa clandestina*.**

Variables	Componentes principales		
	CP1	CP2	CP3
RMS	<b>0.41</b>	0.30	-0.33
R:H/T	0.24	-0.32	<b>0.63</b>
ALT	<b>0.51</b>	-0.08	-0.22
IL	<b>0.41</b>	-0.23	0.38
ELF	<b>0.50</b>	-0.20	-0.18
TVI	-0.02	<b>0.49</b>	<b>0.50</b>
DC	0.31	<b>0.47</b>	0.11
DP	0.11	<b>0.50</b>	0.07

RMS= rendimiento de materia seca, R:H/T= relación hoja-tallo, ALT= altura, IL= intercepción luminosa, ELF= elongación foliar, TVI= tallos vivos, DC= diámetro de corona, DP= densidad poblacional.

Para elaborar el grafico BIPLLOT se utilizaron los dos primeros componentes los cuales explican el 72.0 % de la varianza en los datos. En la Figura 5, se observó la primera agrupación de las variables: tallos vivos (TVI), densidad poblacional (DP), diámetro de corona (DC), rendimiento de materia seca (RMS); las cuales muestran estar relacionadas con los meses después del rebrote (MDR), 5, 6, 7, 8, 9. Por su parte, en la segunda agrupación se observa que existió un mayor incremento de las variables: altura (ALT), elongación foliar (ELF), intercepción luminosa (IL) , así como relación hoja tallo (R:H/T) en los MDR 10, 11, 12, 13, 14. El tercer grupo no presentó ninguna variable, el cual está conformado por los MDR 1, 2, 3, 4; lo cual nos indica que durante estos meses no tiende a haber ningún cambio respecto a la composición de la planta.



**Figura 5.** Gráfico BIPLLOT de los principales componentes de *A. clandestina*. MDR= Mes de Rebrote, RMS= rendimiento de materia seca, R:H/T= relación hoja-tallo, ALT= altura, IL= intercepción luminosa, ELF= elongación foliar, TVI= tallos vivos, DC= diámetro de corona, DP= densidad poblacional.

#### 4.2 Análisis de varianza (ANOVA)

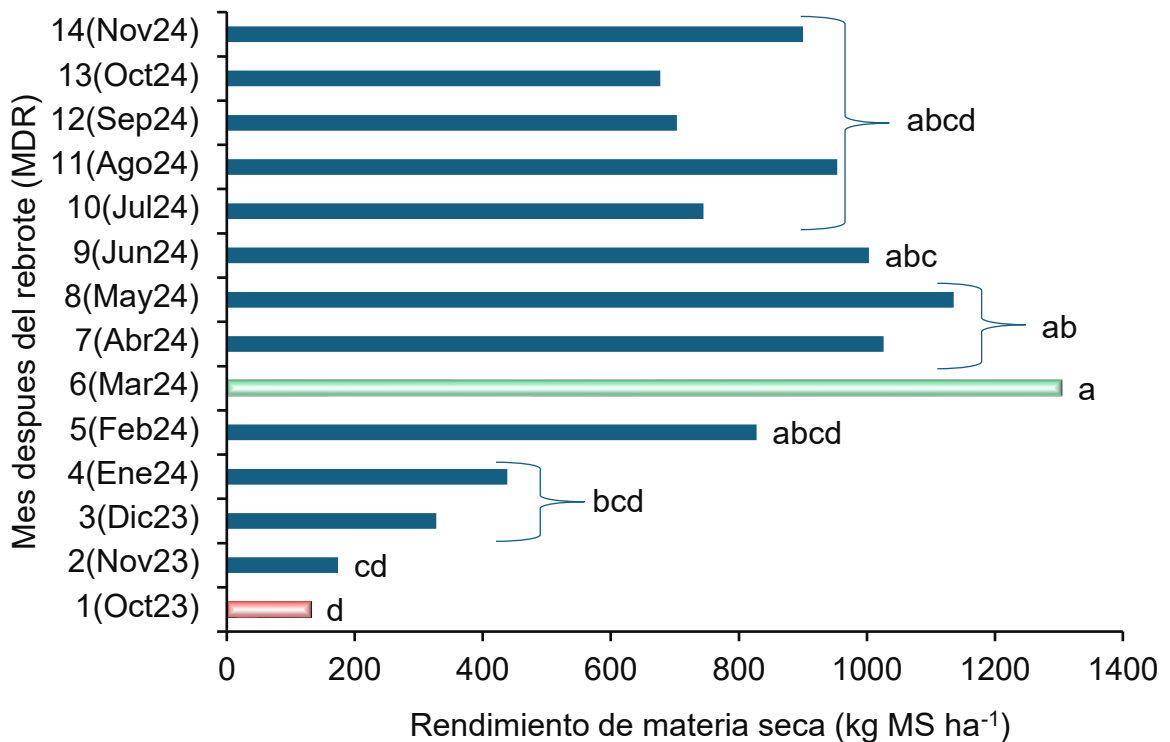
El análisis de componentes principales identificó dos componentes que resumen la variabilidad del multiespacio. El CP1 se relaciona con el desarrollo estructural y productivo, con cargas positivas en variables como rendimiento de materia seca (RMS), altura (ALT), intercepción luminosa (IL) y elongación foliar (ELF), las cuales influyen en el tamaño de la planta y en su eficiencia para captar radiación solar, favoreciendo la producción de biomasa (Pérez *et al.*, 2022; Guenni *et al.*, 2021).

En complemento a lo anterior, el CP2 se asocia con número de tallos vivos (TVI), densidad de poblacional (DP) y diámetro de corona (DC), variables que reflejan vigor y capacidad de rebrote, relevantes para evaluar el comportamiento de los forrajes bajo pastoreo (Metthew *et al.*, 1999; Morales *et al.*, 2024).

#### **4.2.1 Rendimiento de materia seca (RMS)**

En la Figura 6 se muestra el rendimiento de materia seca de *Amelichloa clandestina* durante catorce meses posteriores a un pastoreo intensivo no selectivo. La comparación de medias (Tukey = 0.05) indicó que el MDR-6 obtuvo el mayor rendimiento (1305 kg MS ha<sup>-1</sup>), seguido del MDR 8 (1136 kg MS ha<sup>-1</sup>), mientras que el MDR-1 presentó el menor rendimiento (677 kg MS ha<sup>-1</sup>). La alta producción del MDR-6 se atribuye a la precipitación registrada en febrero (34.2 mm; Figura 4), que favoreció el rebrote, como señalan Cruz Hernández *et al.* (2011) y Castro-Rivera *et al.* (2013), quienes destacan la influencia de las condiciones edáficas y climáticas en el desarrollo forrajero. En contraste, el bajo rendimiento del MDR-1 se relaciona con la ausencia de lluvias en el periodo de rebrote.

Por su parte, Hervert Cruz (2025) menciona, que este pastizal mostró respuestas variables ante perturbaciones en invierno, primavera y verano, con rendimientos de 1880, 3320 y 2369 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aunque con baja producción en los primeros meses de cada estación (3, 15 y 80 kg MS ha<sup>-1</sup>). En general, se observa que, tras alcanzar el máximo rendimiento, la producción tiende a disminuir.

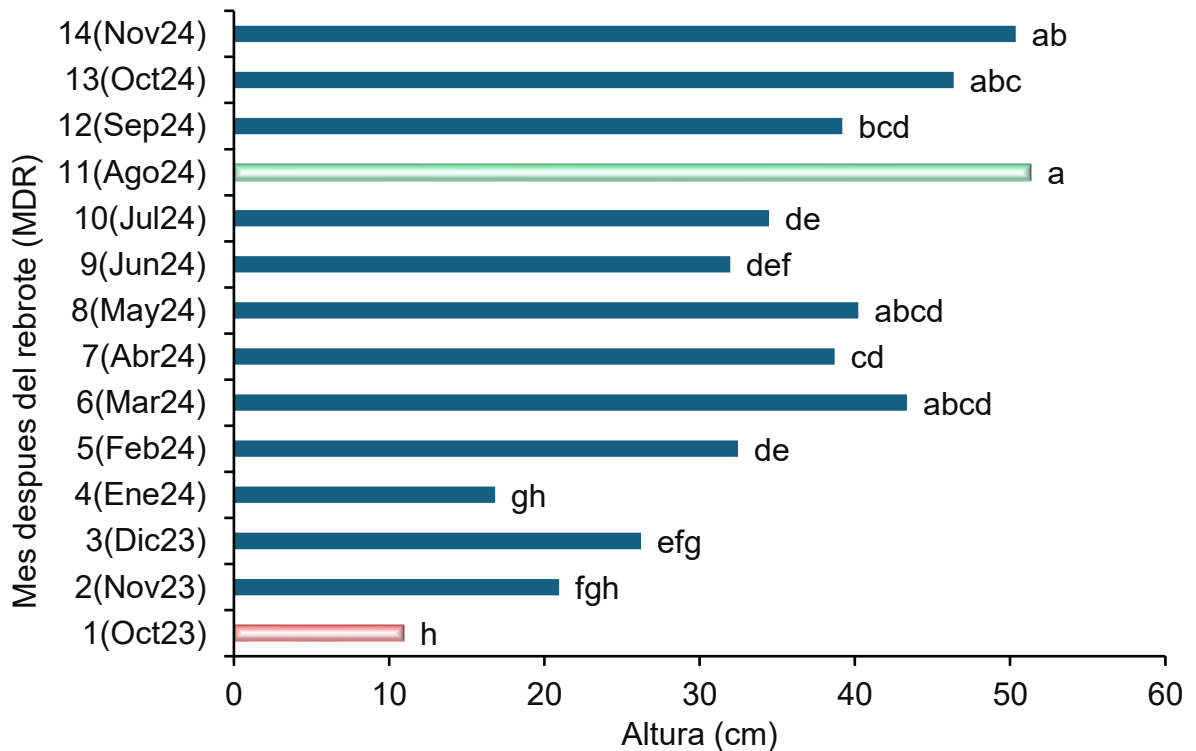


**Figura 6.** Rendimiento de materia seca del zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) bajo pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.2.2 Altura de planta (ALT)

En la Figura 7 se muestra el crecimiento en altura de *A. clandestina*, donde el MDR-11 alcanzó la mayor altura (51 cm), seguido del MDR-14 (20.94 cm), mientras que el MDR-1 presentó el menor crecimiento (10 cm) tras el pastoreo (Tukey = 0.05). Como se indica también en la Figura 6, existe una correlación entre la altura y la producción de biomasa, ya que la altura puede utilizarse como método indirecto para estimar el forraje (Rojas-García *et al.*, 2021). Este crecimiento está influenciado por factores ambientales como la precipitación, que favorece el desarrollo de la planta (Mónaco *et al.*, 2017; Wilson-García *et al.*, 2020). Durante los meses de junio a agosto de 2024, las lluvias constantes permitieron que el MDR-11 alcanzara su mayor altura.

Estos resultados coinciden con los reportados por Juanes *et al.*, (2022), quienes observaron alturas similares en *A. clandestina* bajo distintos tratamientos (defoliación, herbicida y control) en dos sitios, con valores entre 46 y 53 cm, lo que confirma que la altura es un indicador útil para estimar el rendimiento de biomasa.



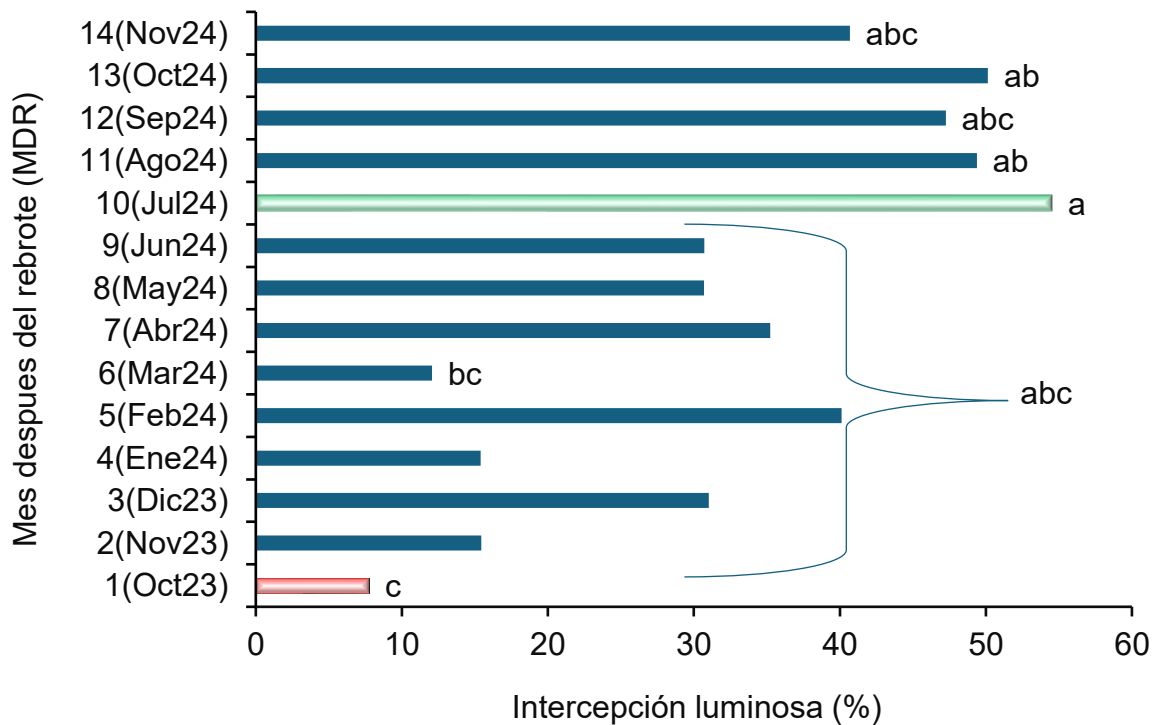
**Figura 7.** Altura de *A.clandestina* meses después del rebrote posterior a un pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.2.3 Intercepción luminosa (IL)

La Figura 8 muestra la intercepción luminosa durante catorce meses de evaluación, destacando al MDR-10 con el mayor valor (55 %) y al MDR-1 con el menor (8 %) (Tukey = 0.05). Estos valores fueron bajos en general para *A. clandestina*, y el máximo se relación con un mayor crecimiento en altura. Maddonni *et al.*, (2004) menciona que, la intercepción de la radiación fotosintética activa esta influencia por la arquitectura de la planta, incluyendo la altura, la densidad y la distribución foliar. Aunque el aumento

de altura puede mejorar la intercepción, esta también depende del índice de área foliar y la disposición vertical de las hojas (Valladares y Niinemets., 2008).

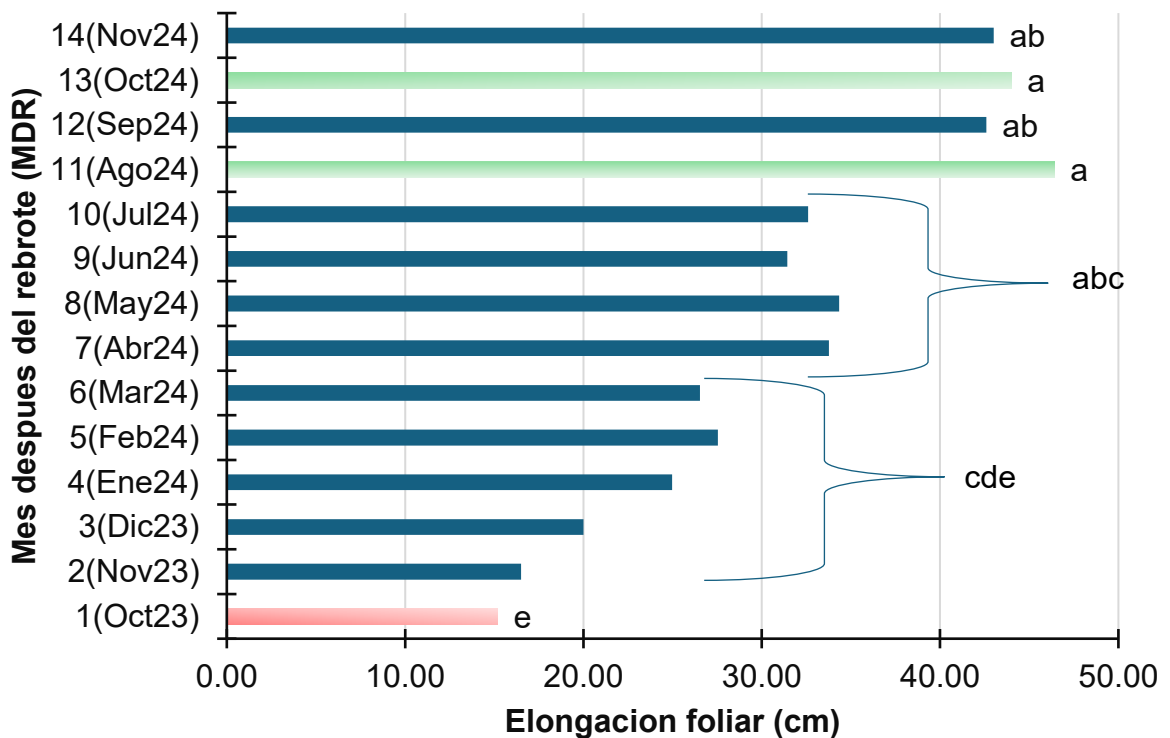
Por su parte, Juanes-Márquez *et al.*, (2022) reportaron una intercepción del 85 % en tratamientos sin perturbación prolongada, lo que indica que el descanso favorece la biomasa y la captación de luz. De forma similar, Da Silva y Do Nascimento (2007) observaron una intercepción del 100 % a los 28 días en verano, aunque advierten que este nivel provoca senescencia foliar y una mayor proporción de tallos y material muerto.



**Figura 8.** Intercepción luminosa de zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) por efecto del pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

#### 4.2.4 Elongación foliar (ELF)

La Figura 9, muestra la elongación posterior al pastoreo durante los catorce meses de evaluación. Una vez realizada la prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) indico, que los MDR con mayor elongación fueron el 11 (46 cm) y el 13 (44 cm), seguidos por el 14 (43 cm) y 12 (42 cm), mientras que el MDR-1 presentó la menor elongación (15 cm). La elongación se correlaciona con la altura de la planta, destacando el MDR-11 con ambos valores más altos. La elongación foliar influye directamente en la altura del dosel, al afectar la longitud y el número de hojas expandidas (Lenaire y Chapman, 1996). Estudios como el de Gauteir *et al.* (1999) han encontrado una correlación significativa ( $r > 0.85$ ) entre elongación foliar y la altura en gramíneas tropicales como *Panicum maximum* y *Brachiaria decumbens*.



**Figura 9.** Elongación de hoja de zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) por efecto del pastoreo intensivo no selectivo. Medias con diferentes literales minúsculas sobre las columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

## V CONCLUSIONES

Las variables de productividad y crecimiento que mantienen la mayor correlación positiva con el desarrollo del Zacate picoso (*Amelichloa clandestina*) son el rendimiento de materia seca, la intercepción luminosa, la elongación foliar y la altura de la planta. Dichas variables presentan una mayor magnitud durante los meses de abril, mayo, julio y agosto, periodos caracterizados por una elevada precipitación y temperaturas superiores a las del resto del año. Por tanto, se infiere que deben existir las condiciones climáticas ideales para el desarrollo de este forraje.

En cuanto a la producción de materia seca total, se estimaba que los meses de mayor productividad serían mayo y junio de 2024, contrario a lo observado, donde el mes de mayor productividad fue marzo de 2024. Esto se debe a que las variables de productividad ya mencionadas anteriormente tienen una alta correlación con la producción de biomasa en forrajes.

## VI. REFERENCIAS

- Abich, A., Mucheye, T., Tebikew, M., Gebremariam, Y., & Alemu, A. (2018).** Ecuaciones alométricas específicas de especies para mejorar las estimaciones de biomasa aérea de ecosistemas de bosques secos caducifolios. *Journal Bosque Investigación*, 29, 1–14.
- Acocks, J. P. H. (1966).** Pastoreo no selectivo como medio de recuperación de veld. *Actas de los Congresos Anuales de la Sociedad de Pastizales de África Meridional*, 1(1), 33–39. <https://doi.org/10.1080/00725560.1966.9648517>
- Adams, J. E., & Arkin, G. F. (1977).** A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Science Society of America Journal*, 41(4), 789–792.
- Álvarez, G. (2008).** Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. (Tesis de Magíster, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE), 1, 80.
- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Sierra-Tristán, J. S., & Villarreal-Guerrero, F. (2017).** Análisis del crecimiento de cinco genotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.), bajo condiciones de invernadero. *Tecnociencia Chihuahua*, 11(1), 25–32. <https://doi.org/10.54167/tch.v11i1.167>
- Arévalo, J. R., Encina-Domínguez, J. A., Juanes-Márquez, S., Álvarez-Vázquez, P., Núñez-Colima, J. A., & Mellado, M. (2021).** Restoration of rangelands invaded by *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth after 12 years of agriculture abandonment (Coahuila, Mexico). *Agriculture*, 11(9), 886. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090886>
- Arriaga, M. O., & Barkworth, M. E. (2006).** *Amelichloa*: a new genus in the Stipeae (Poaceae). *SIDA, Contributions to Botany*, 1, 145–149.
- Ayele, J., Tolemariam, T., Beyene, A., Tadese, D. A., & Tamiru, M. (2021).** Assessment of livestock feed supply and demand concerning livestock productivity in Lalo Kile district of Kellem Wollega Zone, Western Ethiopia. *Heliyon*, 7(10), e08177. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08177>

- Bailey, D. W., Gross, J. E., Laca, E. A., Rittenhouse, L. R., Coughenour, M. B., Swift, D. M., & Sims, P. L. (1996).** Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*, 49(5), 386–400. <https://doi.org/10.2307/4002919>
- Bellon, S., Girard, N., & Guérin, G. (1999).** Caractériser les saisons pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage. *Fourrages*, 158, 115–132.
- Borrelli, P. (2016).** El Antropoceno y la ganadería regenerativa: desafíos de una nueva era. *Ovis*, 21, 1–22.
- Borrelli, P., & Oliva, G. (2001).** Efectos de los animales sobre los pastizales. En P. Borrelli & G. Oliva (Eds.), *Ganadería sustentable en la Patagonia Austral*. INTA Región Patagonia Sur, 1, 99–128.
- Bullock, J. M., & Marriott, C. A. (2000).** Plant responses to grazing and opportunities for manipulation. En A. J. Rook & P. D. Penning (Eds.), *Grazing Management*. British Grassland Society, 1, 17–26.
- Calzada-Marín, J. M., Enríquez-Quiroz, J. F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., & Mendoza-Pedroza, S. I. (2014).** Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 247–260. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3664>
- Cámara-Acosta, J., Enríquez-Quiroz, J. F., Rueda-Barrientos, J. Á., Ortega-Jiménez, E., Ramírez Bribiesca, J. E., & de Dios Guerrero-Rodríguez, J. (2022).** Dinámica de tallos del pasto *Urochloa* híbrido cv Cobra en respuesta al tiempo de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 303–303.
- Cárdenas, M. (2013).** Efecto de la composición botánica sobre la dinámica de degradación ruminal de la MS y PC en praderas permanentes de la Región de Los Ríos (Tesis). Universidad Austral de Chile, 1, 112. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/fac266e/doc/fac266e.pdf>
- Carrera, R., Fierro, N., & Ordoñez, J. (2015).** Manual de pastoreo. Universidad Técnica Particular de Loja, 1, 19. [https://www.researchgate.net/publication/304825867 Manual de pastoreo](https://www.researchgate.net/publication/304825867_Manual_de_pastoreo)

- Castro-Rivera, R., Hernández-Garay, A., Ramírez-Reynoso, O., Aguilar-Benítez, G., Enríquez-Quiroz, J. F., & Mendoza-Pedroza, S. I. (2013).** Crecimiento de la longitud foliar y dinámica poblacional de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosas bajo pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 201–215. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/2838>
- Cruz-Hernández, A., Hernández-Garay, A., Enríquez-Quiroz, J. F., Gómez-Vázquez, A., Ortega-Jiménez, E., & Maldonado-García, N. M. (2011).** Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(4), 429–443. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242011000400007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242011000400007&script=sci_arttext)
- Estrada, Z. A. C., & Ñaupari, V. J. (2021).** Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, bofedales y tolar de puna seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 291–301.
- Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, M. A., Lascano, C. E., Sanz, J. I., Thomas, R. J., & Vera, R. (1994).** Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*, 371(6494), 236–238.
- Fuentes, A. E. H. (2022).** Comportamiento productivo estacional de tres especies forrajeras bajo condiciones del sureste de Coahuila, México. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), 1, 24.
- Galvis, S. A., González, H. V. A., Hernández, G. A., Pérez, J., Vaquera, H. H., & Velasco, Z. M. (2001).** Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), 123–134.
- García-Quintana, Y., Arteaga-Crespo, Y., Torres-Navarrete, B., Bravo-Medina, C., & Robles-Morillo, M. (2021).** Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*, 24(1), 45–59. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15939>
- Gautier, H., Hazard, L., & Varlet-Grancher, C. (1999).** Leaf elongation and plant height relationships in tropical grasses. *Field Crops Research*, 61(3), 241–250.

- Gosnell, H., Charnley, S., & Stanley, P. (2020).** Climate change mitigation as a co-benefit of regenerative ranching: insights from Australia and the United States. *Interface Focus*, 10(5), 1–14. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2020.0027>
- Griggs, T. C., & Burns, J. C. (2005).** Morphological development and nutritive value of switchgrass and big bluestem. *Crop Science*, 45(2), 661–671.
- Heady, H. F. (1984).** Concepts and principles underlying grazing systems. En NAS–NRC Committee on Developing Strategies for Rangeland Management (Ed.), *Developing strategies for rangeland management*. Westview Press Idem, 1, 903–916.
- Heady, H. F., & Child, R. D. (1994).** *Rangeland ecology and management* (1ª ed.). Westview Press, 1, 519. <https://doi.org/10.4324/9780429497841>
- Hernández-Ramos, J., De los Santos-Posadas, H. M., Valdez-Lazalde, J. R., et al. (2017).** Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51, 921–938. <https://www.researchgate.net/publication/328093923>
- Holechek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (2001).** Selection of grazing methods. En D. Yarnell (Ed.), *Range management: Principles and practices*. 4ª ed. Prentice-Hall, 1, 247–290.
- Holmes, M. A., Whitacre, J. V., Bennion, L. D., Poteet, J., & Kuebbing, S. E. (2021).** Land-use history and abiotic gradients drive the abundance of non-native shrubs in Appalachian second-growth forests. *Forest Ecology and Management*, 494, 119296. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119296>
- Juanes-Márquez, S., Álvarez-Vázquez, P., Encina-Domínguez, J. A., Mellado-Bosque, M., García-Martínez, J. E., & Flores-Naveda, A. (2022).** Response to cutting and herbicide treatment of Mexican needlegrass (*Amelichloa clandestina*) in northeastern México. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(1), 1–10. <https://www.researchgate.net/publication/363523373> [Response to cutting and herbicide treatment of Mexican needlegrass Amelichloa clandestina in northeastern Mexico](https://www.researchgate.net/publication/363523373)
- Juanes-Marquez, S., Alvares-Vázquez, P., Mellado-Bosque, M., Encina-Domínguez, J. A., Pedroza-Sandoval, A., y Cadena-Zapata, M. (2024).**

Cambios en la composición vegetal de un zacatal de *Amelichloa clandestina* tras un pastoreo intensivo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(2), 1-17.

**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>

**Kebede, B., & Soromessa, T. (2018).** Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea de *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* en el bosque Mana Angetu. *Ecosistema. Sostenimiento de la salud*, 4, 1–12.

**Kothmann, M. M. (1984).** Concepts and principles underlying grazing systems: a discussant paper. En NAS–NRC Committee on Developing Strategies for Rangeland Management (Ed.), *Developing Strategies for Rangeland Management*. Westview Press, 1, 903–916.

**Lemaire, G., & Chapman, D. (1996).** Tissue flows in grazed plant communities. En J. Hodgson & A. W. Illius (Eds.), *The ecology and management of grazing systems*. CAB International, 1, 3–36.

**Lindberg, J. (2023).** Review: nutrient and energy supply in monogastric food producing animals with reduced environmental and climatic footprint and improved gut health. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 17, 100832. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100832>

**Liu, Y., Yang, X., Tian, D., Cong, R., Zhang, X., Pan, Q., & Shi, Z. (2018).** Resource reallocation of two grass species during regrowth after defoliation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1767. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01767>

**Lok, S. (2010).** Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4), 333–344.

**Manddonni, G. A., & Otegui, M. E. (2004).** Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. *Field Crops Research*, 85(1), 1–13.

- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016).** Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México. *Botanical Sciences*, 94(1), 5–24.
- Matthew, C., Van Loo, E. N., & Thom, E. R. (1999).** Tiller dynamics in perennial ryegrass and tall fescue pastures. En J. G. Buchanan-Smith et al. (Eds.), *Proceedings of the 18th International Grassland Congress*. CAB International, 1, 431–438.
- Mónaco, N., Santa, V., Rosa, M. J., & Autran, V. (2017).** Evaluación de métodos indirectos para estimar biomasa en un pastizal natural del sur de Córdoba (Argentina central). *European Scientific Journal*, 13(36), 59–70.
- Monteverde, S. (2018).** Pastoreo racional Voisin. Red de Agroecología del Uruguay (RAU), Centro Agustín Ferreira, 1, 1–15. [https://www.researchgate.net/publication/328789909\\_Pastoreo\\_Racional\\_Voisin](https://www.researchgate.net/publication/328789909_Pastoreo_Racional_Voisin)
- Morales, J. T. (1999).** Análisis de sistemas de producción intensiva de forrajes. (Tesis de Maestría, UAAAN, Saltillo, Coahuila), 1, 19–20.
- Morales, L., & Hernández, J. (2024).** Morfometría y rebrote en especies forrajeras nativas bajo pastoreo intensivo. *Revista de Producción Animal*, 39(2), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.rpa.2024.115123>
- Nallar, R., Rolón, W., & Mollericon, J. L. (2017).** *Manual para la gestión de una ganadería sostenible* (1ª ed). Wildlife Conservation Society, 1, 110.
- Pando, L. (2010).** Efecto de la carga animal sobre la interacción animal-pastura. (Trabajo final de grado, Universidad Católica Argentina). Biblioteca Digital UCA, 1, 1–60. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efecto-carga-interaccion-animal-pastura.pdf>
- Pérez, A., Ramírez, R., & López, M. (2022).** Principal component analysis of the relationship between forage yield, number of tillers, and plant height in elephant grass genotypes. *Grassland and Forage Science*, 77(3), 455–468. <https://www.researchgate.net/publication/360508312>
- Quiroga, R. E., Ávila, R., Ferrando, C. A., & Blanco, L. J. (2008).** Dinámica de la calidad y del material verde en los componentes morfológicos de dos gramíneas

nativas del Chaco árido. En el 31° Congreso Argentino de Producción Animal, 1, 484–485.

**Ramírez-Ojeda, G., Ramírez-Segura, E., Barrera-Guzmán, L. Á., & Vázquez-González, A. (2024).** Ecogeography and climate change in forage grasses from arid and semi-arid regions of Mexico. *Grasses*, 3(2), 110–129. <https://doi.org/10.3390/grasses3020008>

**Ramírez Reynoso, O., Hernández-Garay, A., et al. (2010).** Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto Mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 303–311.

**Rebollo, S., & Gómez-Sal, A. (2003).** Aprovechamiento sostenible de los pastizales. *Ecosistemas*, 12(3), 1–10. <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion7.htm>

**Rojas-García, A. R., Aniano-Aguirre, H., et al. (2021).** Métodos de estimación de forraje en asociaciones de pasto ovillo, blanco perenne y trébol blanco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4A), 789–795. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4-A.789>

**Rúa, M. (2009).** Las leyes universales de André Voisin para el pastoreo racional. *Cultura Empresarial Ganadera*, 1, 41.

**Rúa, M. (2010).** Beneficios del pastoreo racional Voisin. *Cultura Empresarial Ganadera*, 1, 6.

**Ruolo, M. S. (2010).** Morfogénesis, estructura, producción y calidad de *Chloris gayana* Kunth bajo distintos regímenes de defoliación (Tesis de Magíster Scientiae, Universidad de Buenos Aires), 1, 115. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10171>

**Russell, M. L., & Landers Jr., R. (2017).** Mexican needlegrass. *Texas A&M AgriLife Extension Service*, 1, 1–3.

**Sage, R. F., & Kubien, D. S. (2007).** The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant, Cell & Environment*, 30(9), 1086–1106.

- Saldanha, S., Cechini, A., & Bentancur, O. (2013).** Variables morfogénicas y estructurales de cinco cultivares de *Lolium* sp. *Agrociencia Uruguay*, 17(2), 110–120.
- Savory, A. (1979a).** Ranch fencing designs in short duration grazing. En *Beef Cattle Science Handbook*, 1, 375–379.
- Savory, A. (1979b).** Range management principles underlying short-duration grazing. En *Beef Cattle Science Handbook*, 1, 375–379.
- Savory, A. (1990).** *Holistic resource management*. Island Press, 1, 564.
- Segura, M., & Andrade, H. J. (2008).** ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas*, 46, 89–96.
- Siniscalchi, D., Camargo, K., Fonseca, N., et al. (2023).** PSII-14 chemical composition of tropical forage fertilized with different sources of nitrogen fertilizers. *Journal of Animal Science*, 101(Supplement\_3), 482–483. <https://doi.org/10.1093/jas/skad281.573>
- Teague, R., Provenza, F., Kreuter, U., Steffens, T., & Barnes, M. (2013).** Multi-paddock grazing on rangelands: why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience? *Journal of Environmental Management*, 128, 699–717. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.064>
- Teague, R., Provenza, F. D., Norton, B., & Steffens, T. (2008).** Benefits of multi-paddock grazing management on rangelands: limitations of experimental grazing research and knowledge gaps. En H. G. Schroder (Ed.), *Grasslands: Ecology, Management and Restoration*. Nova Science Publishers, 1, 41–80.
- Teixeira, E. I., Moot, D. J., & Brown, H. E. (2008).** Defoliation frequency and season affected radiation-use efficiency and dry-matter partitioning to lucerne (*Medicago sativa* L.) roots. *European Journal of Agronomy*, 28(2), 103–111. [https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/4327/defoliation\\_frequency.pdf?sequence=1](https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/4327/defoliation_frequency.pdf?sequence=1)
- Thorne, M., Fukumoto, G., & Stevenson, M. (2007).** Foraging behavior and grazing management planning. (Publicación PRM-2). University of Hawai'i at Mānoa, 1, 11. <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/prm-2.pdf>

- Urdaneta, F. (2023).** Regenerative livestock or sustainable livestock? *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 40(Supplement), e2340Spl01. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v40.supl.01](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v40.supl.01)
- Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008).** Shade tolerance, a key plant feature with complex consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 237–257.
- Vallentine, J. F. (1990).** Introduction to grazing. En J. F. Vallentine (Ed.), *Grazing Management*. Academic Press, 1, 1–19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-710000-5.50004-5>
- Wilson, G. C. Y., Hernández, G. A., et al. (2017).** Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 1–15.
- Zietsman, J. (2014).** Alto impacto animal, tiempo controlado y pastoreo no selectivo. En *El hombre, el ganado y pastizal* (1ª ed). BEEFpower LLC, 1, 226–231.