UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TESIS

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PELETIZADO Y GERMINACIÓN DE UNA MEZCLA DE SEMILLAS DE GRAMÍNEAS DE LA PARTE CENTRAL DE DURANGO, MÉXICO.

Por:

DAIRA BETSABE RAMIREZ SEGURA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PELETIZADO Y GERMINACIÓN DE UNA MEZCLA DE SEMILLAS DE GRAMÍNEAS DE LA PARTE CENTRAL DE DURANGO, MÉXICO.

Por:

DAIRA BETSABE RAMIREZ SEGURA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Comité de Asesoría

Dr. José Javier Ochoa Espinoza
Director

Dr. José Antonio Hernández Herrera
Co-asesor

Dra. Aida Isabel Leal Robles
Co- asesora

Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Co-asesor

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

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre de 2026

Declaración de No Plagio

Saltillo, Coahuila, México
Octubre de 2026

DECLARO QUE:

El autor, quién es el responsable directo del trabajo de investigación titulado: **Evaluación del proceso de peletizado y germinación de una mezcla de semillas de gramíneas de la parte central de Durango, México,** jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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

DAIRA BETSABE RAMIREZ SEGURA

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por acompañarme durante todo este camino, por escucharme en cada momento. Gracias por permitirme llegar hasta aquí y acompañarme en cada paso que doy

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por ser ese lugar que me permitió crecer tanto de manera profesional como personal.

A mi **familia Ramírez Segura** por todo el amor y confianza que siempre depositaron en mí.

A la **familia Flores Ramírez** por apoyarme a distancia y por estar presentes en logros importantes de mi vida.

A mi **abuelita Mari** por su cariño, por estar presente y formar parte de este camino importante para mí.

A mi **Tico** y mi **Bongo** que, aunque estuvieron lejos de mí durante gran parte de este camino, gracias por ser siempre ese pedacito de casa al que sabía que siempre podía volver.

A mis amistades, **Natasha, Alo, Karen, Reina, María, Liz, Mariana y Yureidy** por haberme acompañado durante todo el proceso, y por hacer que este camino fuera mucho más fácil y bonito, las anécdotas juntas y por estar presentes en una etapa que recordaré siempre.

A la **Mtra. Antonia Ríos** por brindarme su apoyo en momentos en los que los necesite.

Al Dr. **Javier Ochoa**, por la paciencia y por esas enseñanzas adquiridas en clases. y por ser guía durante este proceso. Gracias por todo lo que aportó a mi formación profesional.

Al **Dr. José Antonio**, por apoyarme en aquellos procesos que se me dificultaron, por la paciencia y de igual manera, gracias por todo lo que aporto a mi formación profesional y por el aprecio que llegue a tenerle durante estos años.

A la **Dra. Aida Isabel y al Dr. Perpetuo Álvarez**, por su ayuda y asesoría durante la elaboración de este proyecto.

A todas aquellas personas que, de alguna manera estuvieron presentes durante este proceso, ya sea con un consejo, palabras de aliento, o simplemente su compañía. Gracias por dejar una huellita en mí.

DEDICATORIAS

A mi mami, María Cruz Segura Flores, por todo el amor que me da, por su apoyo infinito, por no soltar mi mano en ningún momento y darme esa seguridad de perseguir mis sueños. A mi papá, José Ramírez Contreras, por ser una inspiración para mí, por motivarme e incentivarme a creer en mí como tú siempre lo haces. A mis hermanos, Yaqui, Diana, Gibran, Alex y Larry, por acompañarme en cada etapa y hacerme sentir que nunca estoy sola; hay una parte de mi canción favorita *My Blood* de Twenty One Pilots que siempre me hace pensar en ustedes: esa idea de que no tengo que correr sola, porque sé que ustedes irían conmigo; no hay mejor manera de describir lo que ustedes son para mí en la vida. Y finalmente, a mí misma, por no rendirme, por confiar en mi capacidad, por abrazar mi proceso y por demostrarme que con paciencia, entrega y dedicación puedo cumplir cada meta que me proponga.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. ..... INTRODUCCIÓN 1
1.1. Objetivo General 4
1.2 Hipótesis 4
2.1 Rehabilitación de pastizales 5
2.1.1 Técnicas de Rehabilitación 5
2.1.2 Resiembra en Pastizales. 6
2.2 Mejoradores de Suelo 7
2.2.1 Importancia de la Nutrición del Suelo para las Plantas 7
2.2.2 Lixiviados 8
2.2.3 Otros Mejoradores del Tipo Orgánico 9
2.3 Diversidad de semillas de zacates en los pastizales 10
2.3.1 Importancia de los bancos de semillas para la producción ganadera sustentable 10
2.3.2 Principales variables fisiológicas en los zacates comerciales 11
2.3.3 Peletizado de semillas de zacates 12
III.MATERIALES Y MÉTODOS 14
3.1 Descripción del Área de Estudio 14
3.2 Clima 15
3.3 Geología y Edafología 16
3.4 Hidrología 18
3.5 Vegetación 19
3.6. Colecta de Semilla 21
3.7 Preparación de Sustratos 23
3.8 Pruebas de Germinación. 24
3.8.1 Germinación sin peletizado 24
3.8.2 Germinación de semillas peletizadas 25
3.9 Análisis de Datos. 26
3.9.1 Germinación en cajas Petri. 26
3.9.2 Germinaciones de semillas peletizadas. 26

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
V. ..... CONCLUSIONES 34
VI.LITERATURA CITADA 35
VII. ..... ANEXOS 44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Proporción de especies por localidad 22
Cuadro 2. Porcentaje de germinación en pellets 32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del Rancho Las Yucas, Durango, México. 14

Figura 2. Principales tipos de clima presentes en el Ranchos Las Yucas, Durango, México. 16

Figura 3. Tipos geológicos dominantes en el Rancho Las Yucas, Durango, México. .. 17

Figura 4. Principales tipos de suelo presentes en el Rancho Las Yucas, Durango, México. 18

Figura 5. Elevaciones e hidrología predominante en el Rancho Las Yucas, Durango, México. 19

Figura 6. Principales tipos de vegetación en el Rancho Las Yucas, Durango, México. 20

Figura 7. Localización de los sitios de colecta..... 22

Figura 8. Paisajes de los sitios de colecta..... 23

Figura 9. Proceso de preparación de la arcilla. 24

Figura 10. Preparación de cajas Petri (izquierda), y colocación de la semilla y etiquetado por repetición (derecha). 25

Figura 11. Proceso de establecimiento para germinación de los pellets en el invernadero, de izquierda a derecha: colocación de sustrato en charolas plásticas y establecimiento de los pellets en charolas etiquetadas 26

Figura 12. Porcentaje de germinación de mezclas de semillas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango sometidas a un periodo de germinación de 10 días en condiciones controladas. 27

Figura 13. Acumulación porcentual de la germinación en un período de 10 días de cinco mezclas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango, sometidas a germinación en condiciones controladas. 29

Figura 14. Acumulación del número de semillas germinadas en un período de 10 días, de cinco mezclas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango, sometidas a germinación en condiciones controladas. 31

RESUMEN

La degradación de pastizales en el norte de México, y la acelerada dispersión de especies invasoras que limitan el establecimiento y crecimiento natural de especies nativas, a pesar de que los sitios aún conservan su potencial para sostenerlo. Ante esta situación se buscó promover una opción de rehabilitación asistida de pastizales con el uso de mezclas de especies de gramíneas nativas de la región centro del estado de Durango y evaluar su potencial germinativo mediante el uso de pellets. En el Rancho las Yucas se realizó la colecta de las semillas y se evaluó la germinación en condiciones controladas en las instalaciones de la UAAAN. El objetivo principal fue evaluar el potencial germinativo de diferentes mezclas de especies de gramíneas nativas en presentación de pellet utilizando mejoradores de suelo como lixiviado de lombriz y Opunterra®. Se pusieron a prueba cinco localidades, donde cuatro fueron colectadas en Rancho las Yucas (LA-M1, CP-M2, EC-M3, LM-M4), y una externa colectada en Rancho los Ángeles en Saltillo, Coahuila (M5-Externa). Se realizaron pruebas de germinación en cajas Petri para determinar su capacidad de germinación de LA-M1 (30%), LM-M4 (29%), M5-Externa (27%), EC-M3 (23%) y CP-M2 (12%). Para el análisis estadístico se realizó una prueba de ANOVA y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Posteriormente se peletizaron las semillas, ya peletizadas se evaluaron en condiciones de invernadero, sin embargo, debido a la baja emergencia registrada, los datos se analizaron de manera descriptiva donde indicaron que el lixiviado de lombriz no superó el tratamiento con Opunterra®. En esta etapa, el tratamiento testigo consistió en agua y arcilla como principal sustrato, registró valores de emergencia de hasta 6.67%, superando en la mayoría de las mezclas a los tratamientos con aditivos. Con base en estos resultados, se rechazó la hipótesis planteada, concluyendo que no hubo efectos positivos con la adición de los lixiviados, lo cual representa una oportunidad de investigación para optimizar la formulación del peletizado y periodos de riego en proyectos de rehabilitación.

Palabras clave: Germinación, Gramíneas, Peletizado

I. INTRODUCCIÓN

Las tierras de pastoreo alrededor del mundo son espacios diversos tanto en su composición vegetal como en su estructura y en las interacciones que guardan con sus usuarios; estas tierras incluyen zacatales, terrenos áridos de matorral, bosques templados con amplias coberturas de pastos e inclusive áreas con baja aptitud que han sido transformadas por el interés humano como algunas selvas y bosques tropicales (Briske et al., 2020; Reid et al., 2022). Sabiéndose que los principales componentes de un sitio que es pastoreado son el suelo, el agua, el tipo de vegetación presente, el tipo de animales pastoreadores ya sea la fauna silvestre y también animales domésticos que son utilizados con fines productivos, resulta fundamental optimizar el aprovechamiento de ese material vegetativo es aprovechado. La clave para la preservación de las especies de plantas nativas involucra factores como el tiempo o temporada que es utilizado, la etapa fisiológica en la que se encuentra la planta, lo que puede llegar a ser indicadores de un buen o mal manejo de la vegetación (Teague & Barnes, 2019; Augustine et al., 2020).

Aunado a lo anterior, las principales amenazas que dañan los pastizales a continuación se mencionaran, en primer lugar es el cambio de uso de suelo, el cual puede ocasionarse por el aprovechamiento de sitios que han sido modificados por el ser humano con fines productivos como ejemplo, áreas naturales que fueron alteradas para usos agrícolas, fines urbanos, inmobiliarias, donde también se puede notar fragmentación de hábitats (IPBES, 2019; Haddad et al., 2018); otra amenaza es el uso inadecuado del pastoreo, donde el problema radica en no llevar un control del tiempo, ni de la utilización de la vegetación, ni de períodos de descanso, lo daña significativamente el sitio (Briske et al., 2020; Teague & Barnes, 2019);así como y la introducción de especies invasoras, una amenaza principal para las especies nativas ya que estas son desplazadas, el uso de estas especies con fines productivos o por su liberación accidental llegan a causar daños y alteraciones en el ecosistema, aunado a esto, las especies invasoras pueden tener un desarrollo fisiológico más rápido y una mayor adaptación a condiciones adversas del

clima y del suelo que las especies nativas, lo que facilita tanto su dispersión y establecimiento (Pyšek et al., 2020; Vilà et al., 2019).

Para conocer más sobre la disponibilidad de especies nativas, ¿cómo preservarlas?, ¿qué tan densa es la cantidad de plantas nativas, el banco de germoplasma y la cobertura? y ¿en qué proporción están?, es necesario considerar indicadores ecológicos y edáficos que reflejan la salud del ecosistema (Maestre et al., 2019). Todo se debe al entorno donde la calidad del suelo es un factor importante, ya que es el medio principal para que estas puedan llegar a desarrollarse y establecerse (Delgado-Baquerizo et al., 2020). La importancia de conservar las especies nativas mantiene en equilibrio el ecosistema y contribuyen como indicadoras de salud de pastizal (Isbell et al., 2018).

En el estado de Durango, las variedades de tipos de pastizal que se llegan a distinguir desde la distribución de la vegetación predominante son matorrales, poaceas, plantas acuáticas y subacuáticas, la condición climática que tiene cada sitio ha permitido el establecimiento de cierto tipo de especies, el tipo de suelo, si son suelos salinos, arcillosos, esto depende de la región del estado (CONABIO, 2021; INEGI, 2020).

Hay técnicas de rehabilitación que pueden llegar a recuperar sitios que ya han sido degradados, técnicas como la resiembra, donde puede ser al voleo, pero que no garantiza que funcione en su totalidad, debido a pérdidas de semilla por la dispersión y condiciones ambientales (James et al., 2019). La remoción del suelo puede favorecer al movimiento del banco de semillas y mejorar la infiltración de agua (Ladouceur et al., 2020). El uso de biofertilizantes o mejoradores orgánicos con el fin de aumentar los microorganismos presentes en el suelo beneficia el desarrollo de las semillas y crecimiento de las plantas, aumentando la cobertura del suelo (Bashan et al., 2020). La utilización de quemas prescritas tiene el objetivo de acelerar el ciclo de nutrientes y permitir la regeneración del ecosistema (Pausas & Keeley, 2019).

Por lo anterior, la recuperación de germoplasma nativo ayuda a que estos pastos se sigan preservando en el sitio, promoviendo la restauración y adaptabilidad de las especies (Pedrini et al., 2020). Una técnica para conservar la semilla es almacenarla en espacios secos, evitando humedad que afecte su viabilidad (Walters et al., 2018). La

recolección de germoplasma nativo de cada sitio ayuda a preservar las especies, así como la creación de bancos de germoplasma bajo condiciones óptimas (FAO, 2021). Otra técnica es el peletizado de semillas, procedimiento en donde se recubre la semilla con materiales como arcilla y bioestimulantes, lo cual facilita su manejo, mejora su protección y favorece la germinación y establecimiento (Pedrini et al., 2020; Madsen et al., 2018).

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo el desarrollar una mezcla a base de sustratos naturales como el lixiviado de lombriz, líquido residual de la vermicomposta, y un producto líquido a base de fermentado de nopal, con el fin de analizar qué tanto es el desempeño del líquido orgánico, que tanto beneficia a la germinación de las semillas de zacates, esto con el fin de promover una opción de rehabilitación asistida de pastizales con el uso de mezclas de especies de gramíneas nativas. (Bashan et al., 2020; Delgado-Baquerizo et al., 2020).

1.1. Objetivo General

Evaluar el potencial germinativo de mezclas de especies de gramíneas nativas en presentación pellet con sustratos de suelo usando mejoradores de la fertilidad del suelo como lixiviado de lombriz y Opunterra ®.

1.3 Hipótesis

- El porcentaje de germinación de los pellets de mezclas de gramíneas nativas de la parte central del estado de Durango es mayor cuando se usa lixiviado de lombriz en comparación con el uso de Opunterra ®.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Rehabilitación de pastizales

2.1.1 Técnicas de Rehabilitación

El objetivo de la rehabilitación de pastizales es devolverle su estado natural al ecosistema características cercanas a su estado natural. La ganadería extensiva al ser una fuente principal de ingreso en zonas rurales en el mundo, permite que se lleve a cabo el comercio de los animales durante periodos críticos, ahora pese a esto, la demanda de la pastura al ser la principal fuente de alimentación de los animales, fomenta a los propietarios a buscar maneras de ampliar e implementar pastoreo extensivo, algo que puede verse afectado, principalmente porque el uso extensivo de los recursos naturales está asociado con deforestación de zonas para ser utilizado para pastorear, degradación de suelo y pérdida de diversidad biológica (FAO, 2026**;** Torres, 2023).

Se menciona la relevancia de los pastizales, porque principalmente estos abarcan alrededor del 70% de superficie en todo el mundo, y la gran parte de estos se encuentran en malas condiciones, deteriorados, y degradados por malas prácticas, mal uso del suelo y vegetación. Dado lo anterior y que los pastizales tienen un papel fundamental para mantener la versatilidad del ecosistema, es requerida asistencia para rehabilitarlos o restaurarlos, en ese sentido Török *et al* (2021) consideran tres enfoques: el primero desde una escala global se debe considerar que la restauración cumpla el objetivo de cada sitio y fortalecer investigaciones en base a los requerimientos de cada sitio de pastizal a través de escalas; el segundo menciona que pastizales que ya han sido restaurados previamente tienen que ser manejados continuamente; y por último cuando se pretende promover resiembras donde haya las condiciones óptimas para que la semilla en conjunto con el suelo tengan éxito en su establecimiento; otros autores (Huang & Hou, 2024) mencionan que con el paso del tiempo, la degradación de pastizales se va volviendo un problema serio, provocando un desequilibrio en el ecosistema y también en la producción de forraje, se han considerado aplicar técnicas para rehabilitar sitios degradados que permitan mejorar y restaurar el potencial del ecosistema, algunas técnicas claves importantes como sistemas de pastoreo, quemas, resiembras, uso de

biofertilizantes y fertilizantes con el fin de aumentar la biomasa en el área son algunos ejemplos usados ampliamente en la rehabilitación no solo de pastizales, sino de otros ecosistemas o hábitats degradados.

2.1.2 Resiembra en Pastizales.

La resiembra como técnica de rehabilitación en pastizales, en este se explica la importancia de la relación que se tiene la planta como el caso de los zacates, con el tipo de suelo, y los microorganismos presentes en el suelo, esto para que sea beneficioso y haya un cambio positivo tanto en la regeneración de suelo como en el desarrollo de la planta (Li *et al*. 2025). En el mismo sentido, la resiembra se ha considerado una técnica muy importante para la restauración de ecosistemas que han sido degradados, especialmente los pastizales, la cobertura vegetal es un elemento fundamental para la estabilidad del suelo y también para la inhibición de semillas de plantas indeseables (James & Svejnar, 2010), por lo que la recuperación de la cobertura vegetal es siempre una prioridad cuando se piensa en rehabilitación o restauración. Li *et al.* (2025) mencionan también que las personas encargadas de rehabilitar pastizales tienen que identificar el tipo de semilla que van a introducir, que sean forrajes de buena calidad, priorizando que sean nativos del sitio, también mencionan que la mezcla de zacates con leguminosas tiene ventaja para una mayor producción y una menor cantidad de uso de fertilizantes nitrogenados.

En algún sentido, las casas comerciales encargadas de la venta y producción de semillas recomiendan que para la selección de la especie o variedad se tome en cuenta al menos, según el tipo de uso para el que es requerida, si es para forraje, para recuperación, o restauración de algún sitio, o césped , la tolerancia al suelo, si son suelos salinos, ácidos, arcillosos o arenosos, el nivel de pH, y la dosis de siembra; se tienen otras recomendaciones al tomar en cuenta la tasa de siembra, en donde se toma en cuenta si es siembra directa, o si es al voleo, las pendientes del terreno, si se usa riego o precipitación anual, y a la cantidad de semillas por libra (Pawnee Buttes Seed, 2016). Las consecuencias positivas de una selección adecuada de semillas con el objetivo de una resiembra son entre otras, una mayor cantidad de diversidad vegetal, la mejora en

la fertilidad del suelo y la comunidad microbiana se ve beneficiada brindando mayor salud al suelo.

2.2 Mejoradores de Suelo

2.2.1 Importancia de la Nutrición del Suelo para las Plantas

La nutrición del suelo es un factor sumamente importante, ya que esto determina el crecimiento, el desarrollo y la productividad de la planta (Mihai et al, 2023). En este sentido, el suelo se puede considerar un ecosistema muy complejo, ya que hay presencia de microorganismos y comunidades de bacterias benéficas, protozoarios y arqueas que ayudan con el ciclo de nutrientes importante en la nutrición vegetal, contribuyen a la descomposición de materia orgánica y permiten que se lleve a cabo la simbiosis, logrando una mejor absorción de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, que son los principales nutrientes para las plantas (Kumar et al, 2025).

Por otro lado, el conocer sobre nutrición vegetal implica conocer todo el movimiento de los nutrientes, cómo es que se transportan, sus funciones específicas, cómo se adquieren, dónde se acumulan en el suelo y si se encuentran disponibles para la planta. Bajo este enfoque, se realizó una clasificación de elementos minerales donde se establecieron dos grupos: esenciales y no esenciales. Para que un elemento sea considerado esencial debe cumplir con tres requisitos principales, el primero indica que la planta debe ser incapaz de desarrollarse o completar su ciclo de vida en ausencia del elemento; el segundo menciona que la función de dicho elemento no puede ser sustituida por otro; y el tercero establece que debe estar estrechamente relacionado con el metabolismo de la planta (Tubana y Cruz, 2023).

Asimismo, Sahrawat y Wani (2012) mencionan que la fertilidad del suelo y un manejo adecuado de nutrientes, a partir de un análisis completo de suelo, se ve reflejado en un mejor rendimiento en los cultivos. En este mismo sentido, se destaca la importancia de la optimización de la dinámica de nutrientes y de las asociaciones simbióticas que se establecen entre el suelo y la planta, considerando cómo actúa la comunidad microbiana, los exudados radiculares y la circulación de los nutrientes durante toda la planta (Kumar

et al, 2025). Finalmente, un balance de nutrientes se ve comprometido al desarrollo fisiológico de la planta, ya que tanto la disponibilidad adecuada de minerales como su déficit pueden interrumpir los procesos fisiológicos y afectar directamente el rendimiento de la planta (Cachipuendo et al, 2017).

2.2.2 Lixiviados

El uso de fertilizantes químicos altera las propiedades biológicas y químicas, lo que ha llevado a la degradación del suelo y, de igual manera, ha comprometido la sostenibilidad de la agricultura, por lo que se han buscado alternativas orgánicas como el lixiviado de composta o de otros extractos fermentados, como mencionan Maraña et al. (2018). En este contexto, estos subproductos líquidos, derivados tanto de la actividad metabólica microbiana como de la descomposición aeróbica de la materia orgánica durante el proceso de lombricomposta, son ricos en nutrientes esenciales para el suelo, además de que ayudan a optimizar las propiedades fisicoquímicas del suelo y a un mejor rendimiento para cualquier cultivo (Caballero et al., 2023).

Por otro lado, los lixiviados contienen sustancias húmicas, carbohidratos y aminoácidos, entre algunos elementos esenciales, que estimulan la regulación hormonal vegetal, como señalan Hurtado *et al.* (2020). En este mismo sentido, el líquido residual tanto de composta como de lombricomposta ha demostrado ser una alternativa para sustituir el uso de fertilizantes químicos, debido a que, a través de la fermentación anaeróbica, apoyan a que haya un mayor espectro de nutrientes en las plantas, así como en el suelo. Además, se han demostrado en varios experimentos buenos resultados en parámetros productivos, específicamente de crecimiento (Del Ángel Campo et al., 2021).

Asimismo, estos bioles son ricos en nutrientes esenciales, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; estos resultan muy favorables para que haya una nutrición equilibrada. Además, estos procesos de transformación de materia y gestión de nutrientes, que también involucran el ciclo de minerales, transforman los residuos en digestatos que, al ser aplicados, incrementan los niveles de secuestro de carbono y promueven la estabilidad biológica del suelo a largo plazo, de acuerdo con Espinoza *et al* (2023).

Finalmente, una caracterización rigurosa de su microbiota funcional y estos factores resultan determinantes para maximizar la sinergia planta-suelo-microorganismo y reducir las tasas de incidencia de patógenos fúngicos y bacterianos (Chanduvi-García et al, 2023; Colchado et al, 2021).

2.2.3 Otros Mejoradores del Tipo Orgánico

Los mejoradores del suelo son enmiendas orgánicas utilizadas para optimizar la productividad agrícola, además constituyen un papel fundamental para la sostenibilidad de agro ecosistemas, como señalan Gómez y Castro (2025). En este sentido, la degradación por el uso de suelo representa una amenaza significativa para la salud del suelo, afectando suelos utilizados con fines agrícolas y pecuarios, y también afectando ecosistemas, por lo tanto, se ve comprometida la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental (Matišić et al., 2024). En este escenario, se considera que la agricultura orgánica se posiciona como una alternativa sostenible, ya que ayuda a recuperar, preservar y a mejorar la calidad del suelo sin dañarlo (Felles-Leandro et al., 2025).

Por otro lado, estos mejoradores se obtienen a base de materiales orgánicos, como estiércoles y compostas; estos residuos reintegran materia orgánica al suelo, brindando estabilidad y salud, además de que estimulan la actividad microbiana, mitigan la acidificación y favorecen incrementos en el rendimiento de producciones agrícolas (). En este mismo sentido, la valoración de los residuos orgánicos no solo permite aprovechar desechos, sino que favorece evitar el uso de fertilizantes químicos cuyos productos, con el paso del tiempo, degradan el suelo y deterioran sus propiedades (Xu et al., 2025).

Asimismo, la materia orgánica cumple un papel importante para la sostenibilidad de ecosistemas agrícolas, siendo de gran ayuda para la salud del suelo; esto se debe a la capacidad de la materia orgánica para mejorar tanto las propiedades físicas y químicas, además de incrementar la actividad biológica, potenciando la productividad (Díaz-Pérez et al., 2023; Oldfield et al., 2019). De igual forma, el uso de abonos orgánicos tanto de residuos vegetales es crucial para recuperar la salud del suelo y, por lo tanto, también mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Dávila y Zambrano, 2021).

Además, estas enmiendas actúan como agentes aglutinantes, fortaleciendo la agregación de las partículas del suelo y fomentando la creación de espacios porosos que optimizan la circulación de aire y agua, como indican Naghman *et al*. (2023). Consecuentemente, esta mejora multifacética es fundamental para recuperar la salud edáfica, aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a estreses ambientales y restaurar el equilibrio biológico y la diversidad microbiana (Sillo et al., 2024).

En conclusión, el uso de mejoradores orgánicos del suelo representa una estrategia clave para contrarrestar los efectos de la degradación edáfica, promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles y eficientes mediante la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

2.3 Diversidad de semillas de zacates en los pastizales

2.3.1 Importancia de los bancos de semillas para la producción ganadera sustentable

La conservación de los recursos fitogenéticos es esencial para la sostenibilidad agrícola, esto porque un gran porcentaje es relevante para la alimentación mundial y algunas especies se ven limitadas por diversos factores (Villamil et al., 2018). En este contexto, los forrajes cumplen un papel muy fundamental al ser el principal recurso para la alimentación de ganado y fauna silvestre, además de ser aliados ecológicos en la captura del carbono y funcionar como mantillo para proteger al suelo de ser erosionado. No obstante, actualmente se enfrenta una crisis con especies debido a la transformación de sitios de pastizal para ser utilizados como medios de cultivo o para otros tipos de uso de suelo; ante esto, se ven en riesgo los bancos de germoplasma de ese lugar. Al respecto, Hanson y Ellis (2020) mencionan que es esencial buscar alternativas para conservar ese germoplasma para garantizar especies resilientes y productivas, nativas del sitio.

Bajo esta premisa, la importancia de los forrajes como biodiversidad vegetal radica específicamente en la conservación de bancos de germoplasma. Según indican Gerónimo *et al.* (2022), estos bancos no sólo resguardan ese germoplasma nativo adaptado a las condiciones del sitio, sino que también se resguarda reserva genética para que pueda ser aprovechada para el desarrollo de pastizales productivos y

resilientes. Asimismo, se conoce que el principal tipo de ganado que pastorean en praderas o se establecen de manera extensiva es el ganado bovino, pero también equinos y ovinos. El ganado produce una cantidad grande de heces en donde se incluyen semillas de zacates que han sido consumidos; de acuerdo con Wang y Hou (2021), estas semillas van germinables y son reincorporadas al suelo, formando y fortaleciendo un banco de semillas de ese sitio.

Por otra parte, estos sistemas de producción extensiva brindan forraje de mejor calidad y, consecuentemente, permiten maximizar la disponibilidad de zacates en periodos críticos (Canu et al., 2018). En este sentido, la implementación de infraestructuras para eficientizar la disponibilidad de forraje en periodos críticos como sequías permite que sea una estrategia indispensable para la alimentación del ganado cuando hay escasez de alimento (Sibaja & Solís, 2017). Finalmente, la diversidad de especies forrajeras, incluyendo aquellas con alto valor nutritivo y capacidad de adaptación, facilita la creación de programas de alimentación estratégica que benefician la producción animal y sus índices de rendimiento productivo (Buitrago–Guillen et al., 2020).

2.3.2 Principales variables fisiológicas en los zacates comerciales

Los cambios fisiológicos de las plantas dependen de su genotipo; sin embargo, en ocasiones son alterados por cambios en el entorno, como el clima y el ambiente, así como por la asimilación del carbono, como mencionan Fariaszewska *et al.* (2020). En este contexto, las gramíneas comerciales son de gran importancia, ya que constituyen la base estructural de la agricultura a nivel mundial al ser uno de los principales recursos y componentes para la producción de forraje, bioenergía y cobertura vegetal. Asimismo, la productividad de estas especies está determinada por la naturaleza de variables fisiológicas complejas, como la tasa fotosintética, la permeabilidad estomática (paso de los gases) y la eficiencia fotoquímica (Shariatipour et al., 2023).

Por otro lado, la literatura actual menciona que los indicadores fisiológicos se evalúan de manera individual, sin tener en cuenta el balance metabólico que condiciona la respuesta de cada genotipo cuando se presentan condiciones climáticas alternas (González, 2026; Zhang et al., 2020). En este mismo sentido, la arquitectura radicular es un aspecto clave,

ya que ayuda a definir el anclaje de las raíces, la absorción de nutrientes y, además, actúa como un factor determinante para la producción de biomasa y la adaptabilidad a diversas limitaciones ambientales (Irfan et al., 2026). Es por eso que varias investigaciones se han especializado en desarrollar mejoras genéticas con base en la selección hacia la tolerancia a diversos tipos de estrés (Estrada et al., 2025).

Consecuentemente, debe de haber evaluaciones multiparamétricas que evalúen tanto las métricas morfológicas como las vías de señalización metabólica, esto para caracterizar la resiliencia de la planta (Füzy et al., 2019; Noor et al., 2024). Además, Adepoju y Faniyi (2025), así como Gupta y Khan (2026), mencionan que la integración de evaluaciones de fluorescencia de la clorofila y de la asimilación de carbono ayuda a definir con mayor claridad la precisión de los reguladores que sostienen rendimientos estables a pesar de los cambios en el clima.

Finalmente, estas evaluaciones son fundamentales debido a que la frecuencia de fenómenos meteorológicos, como las olas de calor prolongadas y las precipitaciones irregulares, amenazan la estabilidad de los cultivos forrajeros (Loka et al., 2018).

2.3.3 Peletizado de semillas de zacates

La industria de venta de semillas de gramíneas ha recurrido al peletizado de la semilla como solución para la implementación de praderas artificiales, esto para superar limitaciones que se presentan al ser semillas pequeñas e irregulares durante la siembra y favorecer el éxito del establecimiento inicial de las plántulas, como mencionan Bozdar et al. (2026). En este sentido, al recubrir las semillas con materiales específicos para producir unidades globulares de un mayor tamaño, se facilita la distribución mecánica y, además, se permite incorporar aditivos que sean funcionales (Dadlani & Yadava, 2023; Patel et al., 2026).

Por otro lado, las capas que recubren a las semillas suelen ser compuestos bioactivos, como enmiendas nutricionales e inoculantes microbianos; esto permite que la semilla sea más resistente a factores como el estrés ambiental, además de ayudar a optimizar el crecimiento en sitios deficientes (Bozdar et al., 2026; Patel et al., 2026). En este contexto, esta línea de investigación fue desarrollada para el ámbito de la restauración

ecológica (Pedrini, 2025). Asimismo, hay varias revisiones donde el objetivo es sintetizar los avances actuales, tanto en las tecnologías del peletizado como en la evaluación de los rendimientos de los diversos materiales que se han utilizado como enmiendas (Faraji-Hajibaba et al, 2026; Pedrini, 2025). Particularmente, esta síntesis examina desde los rasgos morfológicos de las semillas hasta la estructura de la peletización, ya que esto influye en la emergencia de la plántula (Andrés et al., 2024; Lieurance et al, 2024).

No obstante, el uso de esta tecnología enfrenta obstáculos; el primero consiste en que eleva los costos de mano de obra y en los prolongados plazos de desarrollo asociados con la optimización de las fórmulas (Jia et al., 2023; Ren et al., 2025). Pese a esto, Meglioli et al. (2026) mencionan que las metodologías actuales de peletizado presentan bajas tasas de éxito, esto debido a los parámetros de recubrimiento y a la falta de protocolos bien estandarizados para cada especie (Xue et al., 2024).

Finalmente, el peletizado de semillas constituye una estrategia orientada a mejorar el establecimiento de las plántulas y apoyar la restauración ecológica; sin embargo, su aplicación requiere continuar optimizando las formulaciones y estandarizando los protocolos de recubrimiento para incrementar su eficacia en las diferentes especies de gramíneas (Faraji-Hajibaba et al, 2026; Pedrini, 2025). Además, estudios recientes destacan que, aunque las tecnologías de mejoramiento de semillas muestran efectos positivos sobre la germinación, la emergencia y el establecimiento, es necesario fortalecer la investigación en condiciones de campo para mejorar su adopción y efectividad en programas de restauración (Berto et al., 2024).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del Área de Estudio

El área donde se llevó a cabo la colecta de suelo y la recolección de germoplasma, en el Rancho las Yucas municipio de Durango (24° 1'22.05"N y 104°45'8.19"O) (Figura 1) el cual cuenta con una superficie aproximada de 1,188 ha.

El experimento fue realizado en el invernadero del departamento de Recursos Naturales Renovables, dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila y pruebas de germinación en el laboratorio de Agrobiología.

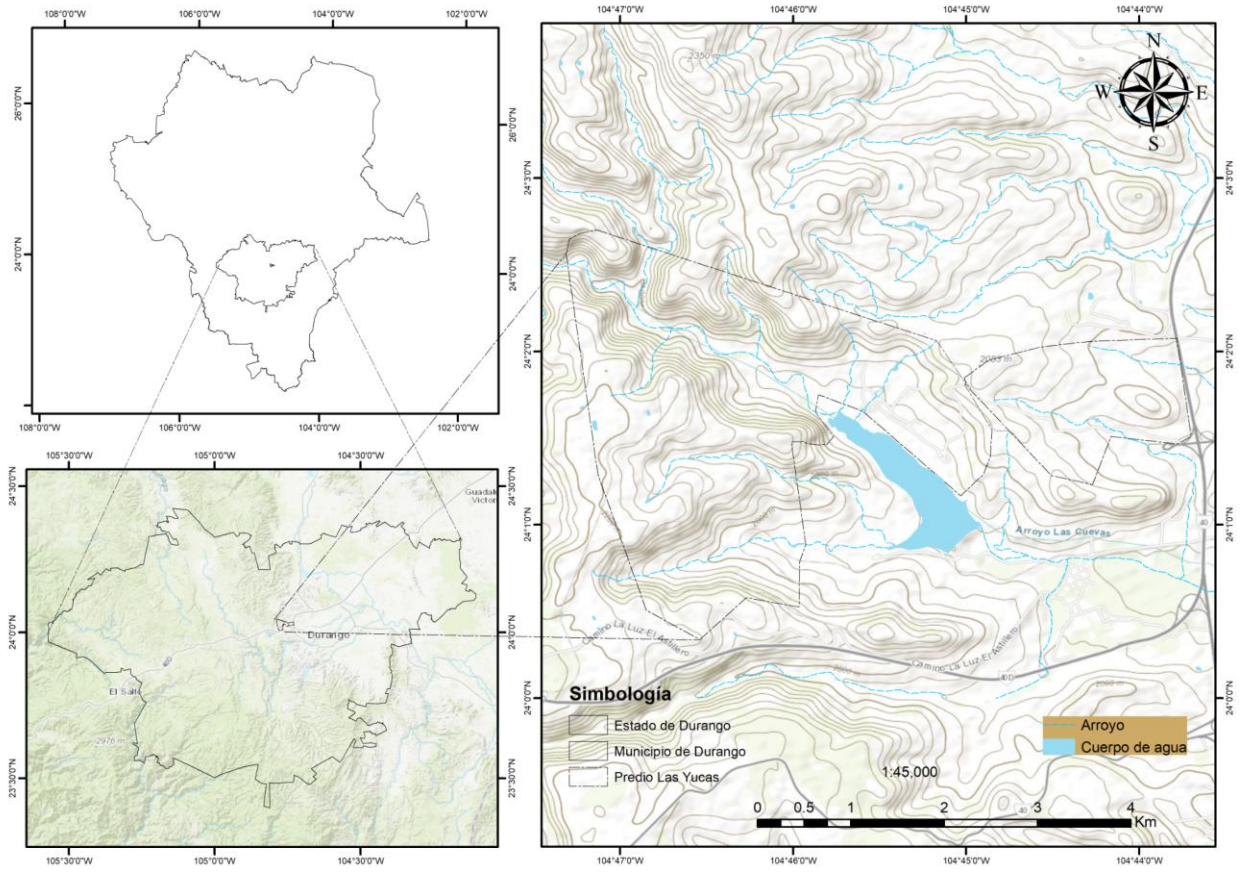


Figura 1.

Figura 1. Localización general del Rancho Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

3.2 Clima

Con base en los datos disponibles de la estación meteorológica Durango (10017), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2026), para 2024 se describe que la temperatura media fue de 22.5°C, pero considerando que se tienen registros de siete meses del año, mientras que para 2025 la temperatura media mensual fue de 20.3°C, y el promedio de la temperatura máxima fue de 29.7°C para el 2025.

La precipitación total acumulada registrada para el año 2024 fue de 72.52 mm (considerando los meses con registro disponible de junio a octubre), mientras que para el año 2025 se registró un acumulado anual total de 187.5 mm, siendo el mes de septiembre de 2025 el de mayor precipitación con 60.3 mm, seguido de agosto (41.9 mm) y julio (34.9 mm). Los datos obtenidos de evaporación mensual del año 2023 el promedio es de 59 mm y la acumulada de 177.06 mm.

El año 2025 se realizó la colecta de semillas. Este periodo abarcó las estaciones de primavera durante el crecimiento activo de la mayoría de las especies de gramíneas, el verano cuando se expresa el mayor desarrollo, y otoño, época en la cual se colectó la semilla ya madura. De acuerdo con el monitor de sequía (MSM) es un sistema administrado por la CONAGUA y el SMN evalúa quincenalmente los niveles de sequía y disponibilidad hídrica en el territorio nacional, en este caso del periodo evaluado de marzo a octubre, donde se inicia de marzo-abril (Anormalmente seco), Mayo 1ra quincena (Sequía moderada), mayo segunda quincena (sin sequía) Julio- agosto primera quincena (Anormalmente seco) y de agosto- Octubre (sin sequía).

.

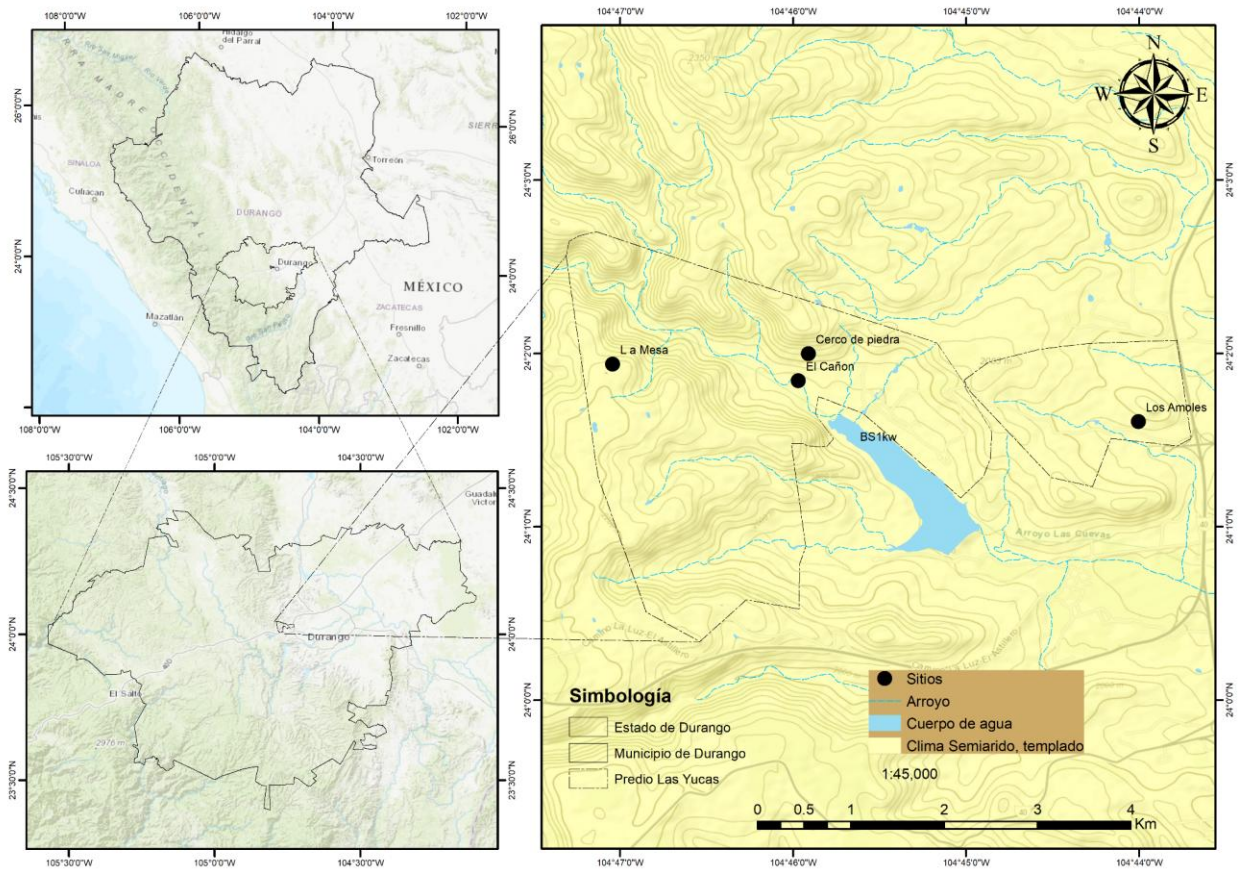


Figura 2. Principales tipos de clima presentes en el Ranchos Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

3.3 Geología y Edafología

En términos geológicos la estratigrafía del sitio la conforman rocas volcánicas, de la secuencia volcánica superior en el estrato ígneo y de otros sedimentos continentales, con edades geológicas que varían desde el oligoceno al cuaternario, esto en base a información de la carta geológico- minera Durango Oeste, G13-D81, elaborada por el Sistema Geológico Mexicano (SGM, 2026).

El material geológico tuvo su origen de manera específica en el periodo Cenozoico, donde predomina la roca ígnea extrusiva, que cubre una superficie de 1,131 hectáreas, distribuidas de la siguiente forma 1,038.47 hectáreas ocupada por riolita-toba ácida, y 92.39 hectáreas por basalto, mientras que el resto del área, con 41.46 hectáreas, está

conformado por roca sedimentaria, que corresponde al conglomerado de la superficie restante.

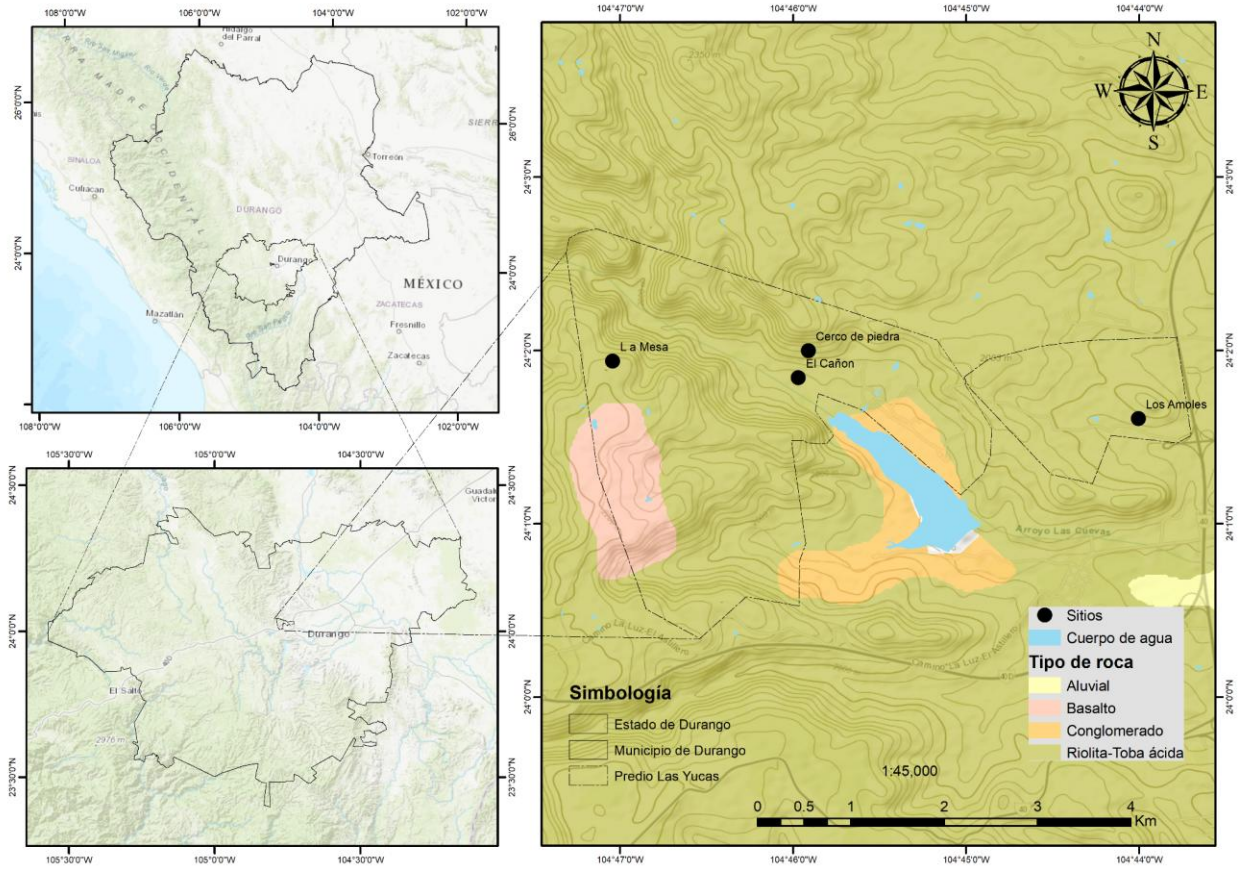


Figura 3. Tipos geológicos dominantes en el Rancho Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

En cuanto a la edafología el principal tipo de suelo en el área de estudio es el leptosol eútrico, este tipo de suelo se caracteriza por que contiene altas cantidades de carbonatos de calcio, magnesio y potasio; los leptosoles se consideran suelos muy delgados sobre roca continua y suelos que son extremadamente ricos en fragmentos gruesos (FAO 2014); los leptosoles dentro del área de estudio ocupan una superficie de 1085.65 hectáreas, mientras que el resto es phaeozem con 86.65 hectáreas.

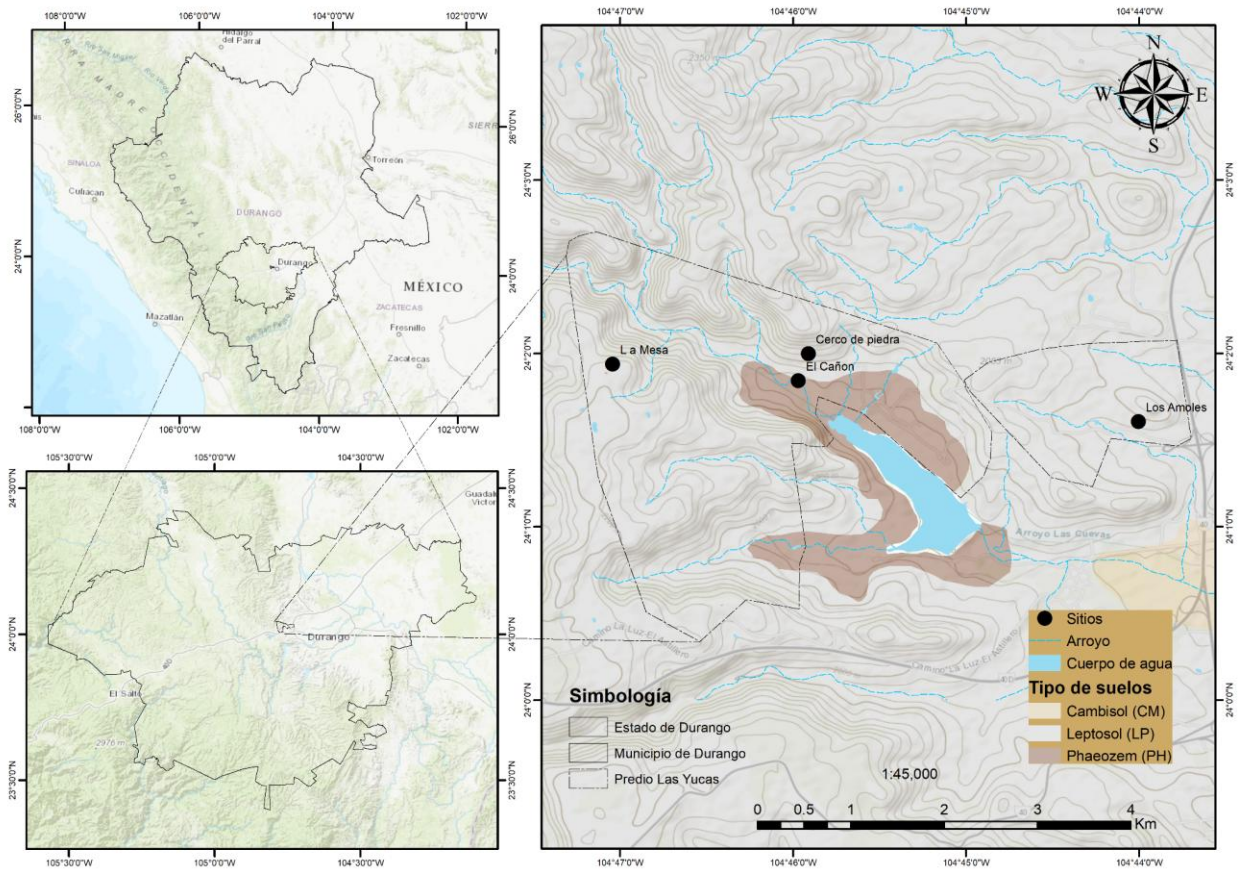


Figura 4. Principales tipos de suelo presentes en el Rancho Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

3.4 Hidrología

El Rancho las Yucas ubicado en el municipio de Durango, de acuerdo a la CONAGUA (2020), se localiza dentro de la región hidrológica RH-11 Presidio- San Pedro, (subcuenca del Río El Tunal- Río Durango). La escorrentía superficial del área es captada por arroyos que alimentan a la zona, esto por la influencia del cuerpo de agua Presa de Garabitos como el principal depósito de los flujos pluviales, del sector suroeste del municipio. Así mismo, el rancho se sitúa sobre la zona de recarga del acuífero valle del Guadiana (1003) de la CONAGUA.

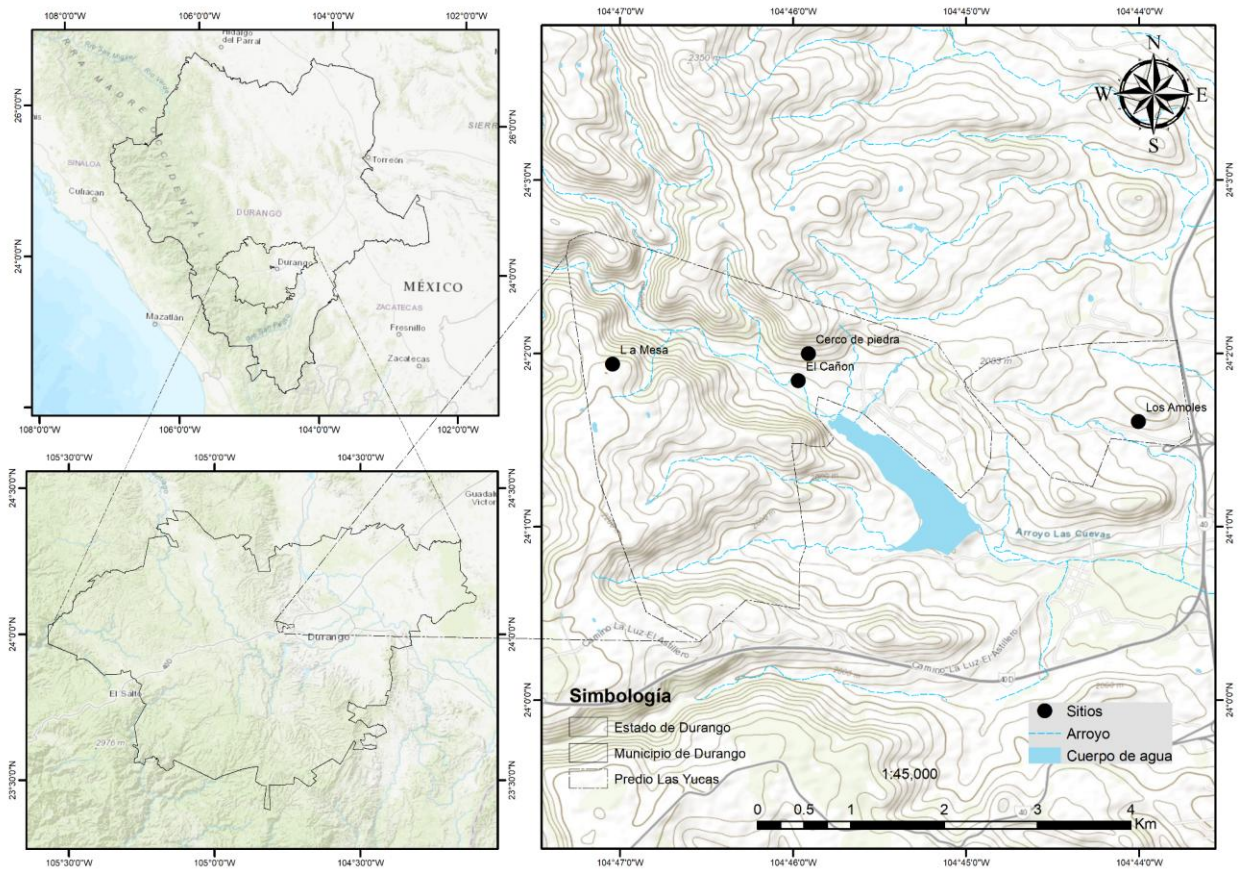


Figura 5. Elevaciones e hidrología predominante en el Rancho Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

3.5 Vegetación

Los pastizales del estado de Durango presentan una amplia diversidad de asociaciones vegetales, cuya distribución está determinada por las características del suelo, la topografía y las condiciones climáticas. En este sentido, Gentry (1957) describió varias asociaciones en el estado de Durango, donde la principal especie que destaca es la asociación Bouteloua–Muhlenbergia, propia de suelos profundos, de mayor elevación y con mayor precipitación. Asimismo, describió la asociación Bouteloua–Heteropogon, característica de laderas pedregosas; la asociación Bouteloua–Lycurus–Aristida, ampliamente distribuida, pero con señales de disturbio; y la asociación Bouteloua–Bouteloua, considerada la más común de todas.

Por otro lado, Gentry (1957) también describió los pastizales de Quercus–Enebro, en los cuales destacan Quercus cordifolia, Quercus chihuahuensis, Quercus emoryi y Juniperus monosperma. Además, explicó el pastizal cactus-acacia, donde estos elementos son leñosos y las principales especies que destacan son Acacia schaffneri, Opuntia spp. y Prosopis. De igual forma, describió el pastizal con arbustos, donde intervienen especies arbustivas y las principales son Acacia, Larrea, Mimosa y Prosopis.

Se estima que entre el 15 y el 20 % de la extensión del estado está cubierta por pastizales naturales, matorrales xerófilos, bosques bajos abiertos y sotobosque de bosque templado de pino-encino (Herrera y Pámanes, 2006), lo que evidencia la importancia de estos ecosistemas en la cobertura vegetal y en la diversidad ecológica de Durango.

Con base al mapa (Figura 6), la cobertura vegetal principal del rancho las Yucas está representada en mayor parte por pastizal natural, áreas de vegetación secundaria de pastizal, y vegetación secundaria de matorral crasicaule.

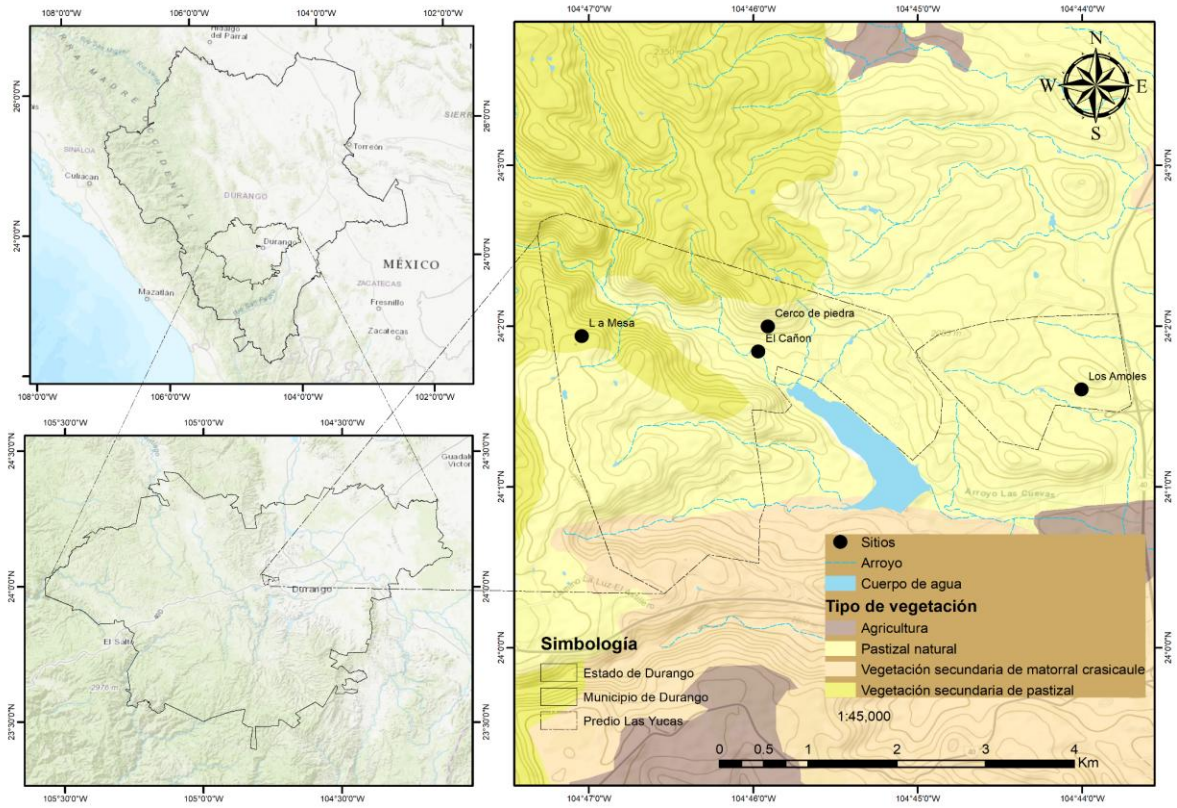


Figura 6. Principales tipos de vegetación en el Rancho Las Yucas, Durango, México. Elaboración propia.

3.6 Colecta de Semilla

La colecta se realizó del 18 al 20 de octubre de 2025, durante el otoño. Se identificaron los principales sitios de donde se realizó la colecta de germoplasma de especies de gramíneas nativas, la selección de sitio se realizó con caminatas por las diferentes secciones del rancho donde se observó la composición de la vegetación, se identificaron las especies presentes esto se realizó en campo mediante observación directa de estructuras, específicamente inflorescencias, en el sitio y el tipo de asociación vegetal predominante. Los criterios de colecta para las especies nativas de gramíneas fueron: a) que la planta presenta una inflorescencia desarrollada; b) que el flósculo no presentara anterosis y tuviera facilidad de desprendimiento ya que esto indica que la semilla tiene un alto grado de maduración. Con base al volumen de semilla colectada por sitio, se estimó una proporción basada en dos o tres de las principales especies, convirtiéndola en una mezcla de zacates nativos específica del rancho.

Se obtuvieron cuatro mezclas de zacates nativos, de igual número de localidades, donde el material recolectado se resguardaba en una bolsa de papel, previamente identificada con el nombre o número de sitio, coordenadas, nombre científico de las principales especies recolectadas y fecha de la recolección. La proporción de especies por localidad (Cuadro 1), la localización geográfica de los sitios (Figura 7), y una representación gráfica del paisaje en los sitios de colecta (Figura 8), se describen a continuación:

Adicionalmente se utilizó como testigo otra mezcla externa 5 (M5- Externa), que contaba con un periodo de letargo de mayor tiempo, y de diferentes especies como: *Bouteloua gracilis, Aristida curvifolia, Muhlenbergia phleoides* entre otras, esa mezcla fue recolectada al sur del estado de Coahuila, en el municipio de Saltillo.

Cuadro 1. Proporción de especies por localidad.

Sitio de colecta/Tratamiento	Dominante/ Codominante	Subdominante 1	Subdominante 2
Los Amoles, Mezcla 1(LA-M1)	Bo ra	Bo cu	Bo hi
Cerco de Piedra, Mezcla 2 (CP-M2)	El ba/ Bo hi	Mu pl	Bo la
El Cañón, Mezcla 3 (EC-M3)	Bo cu	Bo gr	Le du
La Mesa, Mezcla 4 (LM-M4)	Mu ri	Mu pl	Ar ad

Nota. Acrónimos de especies en el Anexo 1

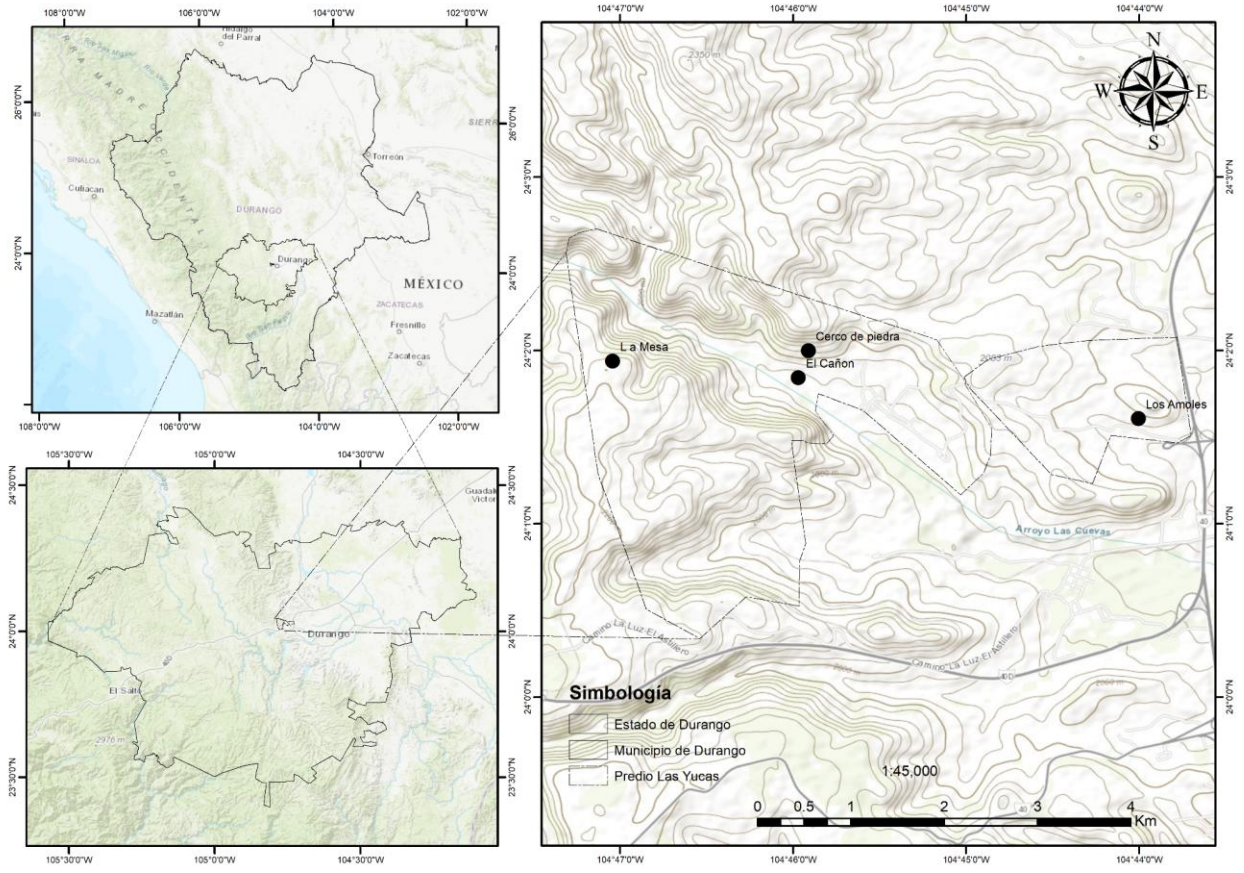


Figura 7. Localización de los sitios de colecta. Elaboración propia.

			
A) Los Amoles	**B) Cerco de Piedra**	**C) El Cañón**	**D) La Mesa**

Figura 8. Paisajes de los sitios de colecta.

La distribución de las localidades está acorde a los diferentes sitios de pastoreo del rancho Las Yucas; la propiedad presenta un problema de invasión de zacate rosado *(Melinis repens),* sin embargo, el potencial original aún está presente. Como parte del proceso post colecta y con el fin de eliminar la humedad o poca cantidad de agua que aún podrían tener las semillas, las bolsas se secaron bajo el sol, durante dos días. Posteriormente fueron almacenadas para permitirles un periodo de acondicionamiento de al menos nueve meses, hasta la fecha en la que se hicieron las pruebas de germinación y los pellets.

3.7 Preparación de Sustratos

Adicionalmente, se colectó suelo del sitio con el objetivo de la elaboración posterior de los pellets, el suelo fue colectado en una localidad dentro del rancho, ahora la característica que tiene ese tipo de suelo es arenosa, este tipo de suelo no ayuda a dar textura y cohesión al pellet, por lo tanto, se realizó una segunda colecta donde la característica del suelo permitiera dar cohesión, esto para mezclar ambos suelos, dar textura y forma a los pellets.

Para manejar la muestra de suelo con seguridad, y para evitar la presencia de patógenos y semillas que no son deseables, se aplicó tratamiento con calor para esterilizar, donde

se colocó agua, y previamente se llevó a un horno durante 8-10 min para que adquiriera más temperatura, esto hace que al elevarse la temperatura del suelo a niveles altos dañan o destruyen las semillas que pudiesen estar presentes y que sean viables, además que reduce el riesgo de microorganismos patógenos y otros contaminantes (Wolf y Skipper, 1994). Posteriormente el suelo fue colocado bajo el sol para acelerar el tiempo de secado, el cual fue de quince días, una vez que el suelo se secó, se almacenó por siete meses (del 15 de diciembre de 2025 al 15 de julio de 2026).

Se realizaron las mezclas de sustratos, se mezclaron dos partes iguales de tierra arcillosa con dos de tierra más arenosa (recolectada en el rancho). Los tratamientos fueron preparados de la siguiente manera:

Tratamiento uno, el lixiviado de lombriz (T1-Lix) fue de 500 ml agua y 500 ml lixiviado, Tratamiento dos, con Opunterra® (T2-Op) 750 ml de agua y 250 ml, Testigo (T0) fue 1L de agua y se dejó que se absorbiera para que hubiera mayor facilidad para mezclarse.



Figura 9. Proceso de preparación de la arcilla.

3.8 Pruebas de Germinación.

3.8.1 Germinación sin peletizado.

Como primer paso, se realizó la limpieza de la semilla con ayuda de un tamiz para quitar glumas y tallos secos. Posteriormente, se realizaron pruebas de germinación en cajas Petri, donde lo primero que se realizó fue el corte de papel, y se colocó posteriormente, se tomaron cinco cajas por mezcla, es decir un total de 25 cajas, se humedece el papel con ayuda de una piseta, y se colocaron en promedio 25 semillas de las cuatro mezclas, de la mezcla externa (testigo) fue en promedio 30 semillas por caja. Las condiciones

experimentales se mantuvieron bajo control, las cajas fueron colocadas sobre una repisa, con iluminación durante todo el día y riego controlado, monitoreadas por 10 días. Esto se hizo con el propósito de ver el porcentaje de germinación de las mezclas de semillas.



Figura 10. Preparación de cajas Petri (izquierda), y colocación de la semilla y etiquetado por repetición (derecha).

3.8.2 Germinación de semillas peletizadas

Para realizar las pruebas de germinación en el invernadero, se contó con cuatro mezclas de semillas y una externa la cual cumplió la función de testigo, una vez peletizadas se les aplicaron tres tratamientos, tratamiento uno con lixiviado de lombriz, tratamiento dos con Opunterra®, y el otro tratamiento tres, que se utilizó como testigo, sólo agua, cada tratamiento llevó un número de tres repeticiones, con diez unidades experimentales (10 pellets por charola), esto en charolas plásticas.

Para estimar cuántas semillas eran tomadas y cuantas aproximadas tendría cada pellet, se realizó un conteo, con diez repeticiones al azar, para tomar la muestra se humedeció ligeramente el dedo índice, esto se hizo con cada mezcla, los datos obtenidos se utilizaron para sacar el promedio y la desviación estándar.

Para las pruebas de germinación en invernadero se prepararon charolas plásticas, se les colocó una capa delgada de sustrato, que está conformado por peat moss y agrolita en una proporción de 8:2 previamente ya esterilizado en autoclave.

Se realizaron 10 pellets por cada tratamiento, se tomaba una pequeña muestra de la mezcla de sustrato y una cantidad de semillas, aproximadamente lo que tomará un dedo índice, una vez unidos el sustrato y las semillas, se les dio forma de círculo, de manera envolvente, de esta manera las semillas quedan envueltas, y ya se pasaban a las

charolas, solo se colocaron encima del sustrato, se humedeció el sustrato de germinación con agua, o con el tratamiento que corresponde (lixiviado y Opunterra®) se revisaron diariamente que el sustrato se mantuviera húmedo y que los pellets no se sequen (Figura 11). Cada charola fue identificada con el tratamiento, número de repetición y mezcla. Fueron distribuidas completamente al azar en dos mesas. Cabe señalar que durante el periodo de evaluación en el invernadero las condiciones fueron muy variables la humedad, el clima, temperatura propia del entorno.



Figura 11. Proceso de establecimiento para germinación de los pellets en el invernadero, de izquierda a derecha: colocación de sustrato en charolas plásticas y establecimiento de los pellets en charolas etiquetadas.

3.9 Análisis de Datos.

3.9.1 Germinación en cajas Petri.

Se realizó el conteo diario de emergencia de las semillas durante 10 días (7 de agosto-16 de agosto) para determinar el porcentaje de germinación acumulada. Los datos se registraron en hojas de cálculo de Excel, donde además también se elaboraron las gráficas representativas. Los datos obtenidos capturados en una hoja de Excel para su posterior análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p< 0.05$) para diferenciar el porcentaje de germinación.

3.9.2 Germinaciones de semillas peletizadas.

Para los pellets se cuantificó la emergencia por pellet los registros en hojas de cálculo en Excel, y elaboración de gráficas en hojas de cálculo, debido a los bajos registros de germinaciones los datos se analizaron de forma descriptiva.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación en cajas Petri.

Se evaluaron las mezclas de semillas para conocer el porcentaje de germinación, el ANOVA mostró diferencias significativas (F = 5.35, p = 0.042; HSD= 5.27)**.** El porcentaje de germinación en semillas silvestres, es decir aquellas que nunca han sido sujetas a procesos de mejoramiento y selección artificial, suele ser bajo (Ghaleb et al. 2021). Las localidades evaluadas mostraron un porcentaje de germinación total entre 30 y 12 % (Figura 12). Donde las que resaltaron por un alto porcentaje de germinación fueron LA-M1, LM-M4, y M5-Externa. Algunos de los factores comunes entre estas tres localidades son**:** Las especies que estas mezclas tienen en común eran especies del género *Bouteloua,* caracterizada por su respuesta germinativa rápida*,* y exceptuando a LM-M4, donde la semilla tenia mayor limpieza y las especies eran de *Muhlenbergia***,** mientras que la mezcla con más bajo desempeño en la germinación fue CP-M2.

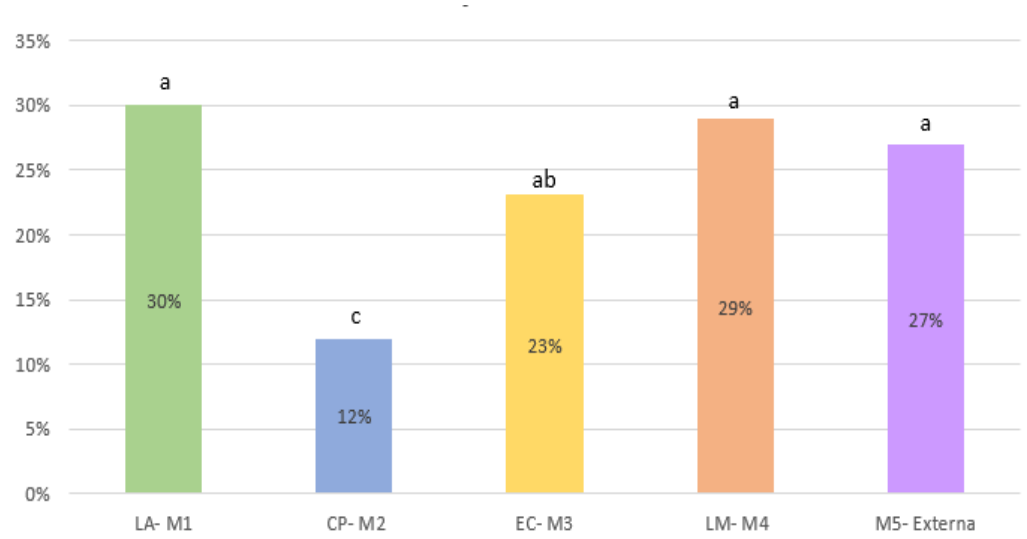


Figura 12. Porcentaje de germinación de mezclas de semillas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango sometidas a un periodo de germinación de 10 días en condiciones controladas**.**

La M5-Externa presentó el valor más alto con un promedio de 11.20 semillas germinadas clasificándose en el grupo a, diferenciándose significativamente de las mezclas EC-M3, LA-M1 y CP- M2. LM-M4 mostró un desempeño intermedio alto con un promedio de 8.60 germinadas (grupo ab), mostrando un comportamiento estadísticamente similar a la M5-Externa. Mientras que la EC-M3 y LA-M1 promediaron 6.00 y 5.20, siendo muy similares (grupo bc), la CP-M2, obtuvo el promedio más bajo de germinación con 3.40 semillas (grupo c).

Estas diferencias se relacionan con la composición de cada mezcla de zacates, al respecto cabe mencionar que la propiedad cuenta con un problema de invasión de zacate rosado (*Melinis repens)*, lo cual representa un reto para la rehabilitación del sitio, donde esta especie compite con estas especies nativas puestas a prueba. Hay que recordar que LA-M1 estaba conformada por tres especies de *Bouteloua;* mientras que CP-M2 contaba con dos especies dominantes que son *Elionurus barbiculmis* y *Bouteloua hirsuta;* EC-M3 con especies dominantes como *Bouteloua curtipendula,* y *Bouteloua gracilis,* y LM-M4 con especies dominantes de *Muhlenbergia rigida* y subdominante *Muhlenbergia phleoides*. Guzmán et al, (2017) menciona que los porcentajes de germinación para *Bouteloua curtipendula* se tienen registros de menos del 5% cuando se siembran diásporas completas (lema, palea, glumas, aristas) y un 95.6% al utilizar el cariópside, para *Bouteloua gracilis* registro 46%, pero se ha documentado hasta 95% de germinación, bajo algunas condiciones (Ochoa-Lechuga et al., 2025) para *Muhlenbergia rigida* se encontraron datos, donde la velocidad de germinación es rápida bajo condiciones controladas (López-Velázquez et al., 2023).

Al contrastar el porcentaje de germinación acumulado (Figura 13), se observa que del día 0 al día 2, no hubo germinación, fue a partir del tercer día cuando LA-M1 mostró un 19% de germinación siendo la más alta de todas las mezclas evaluadas, seguida de M5-Externa la cual registró un 6%, mientras que CP-M2 y EC-M3 mostraron bajos porcentajes, la germinación más tardía se registró por parte de LM-M4 con registro hasta el cuarto con sólo 2%. Entre el cuarto y séptimo día se registró un mayor incremento de las germinaciones en todas las mezclas, después del noveno día los registros se estabilizaron, finalizando el día 10 con el porcentaje de germinación acumulado.

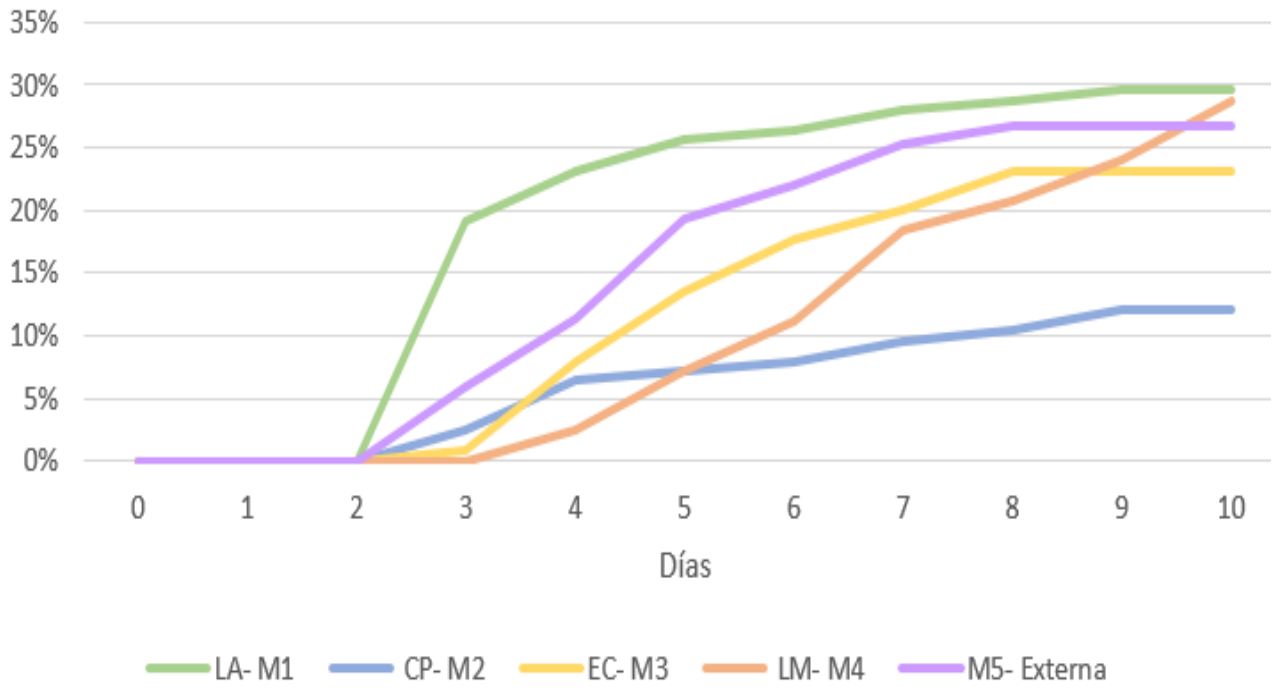
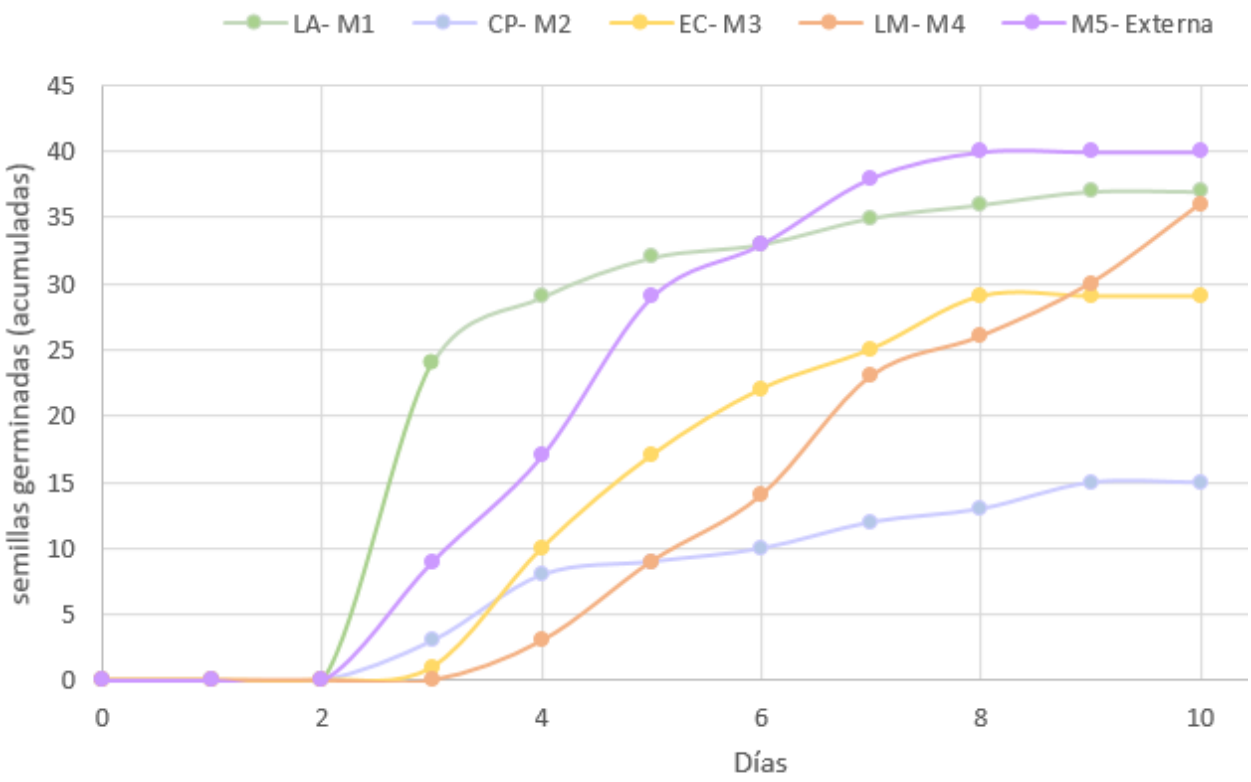


Figura 13. Acumulación porcentual de la germinación en un período de 10 días de cinco mezclas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango, sometidas a germinación en condiciones controladas.

En relación al número acumulado de semillas germinadas por día (Figura 14), LA-M1 mostró una alta emergencia de semillas en el tercer y cuarto día, a diferencia de LM-M4, que comenzó a germinar después del tercer día, y registró un mayor incremento hacia el final de la primera semana. M5-Externa acumuló un mayor número de semillas (40

semillas), debido al mayor número de semillas por repetición (150 semillas totales), pese a esto, en el porcentaje de germinación se mantuvo en 27%, por lo que no superó a LA-M1 con el 30%. Por lo que es fundamental contrastar el conteo absoluto con el porcentaje, ya que solo se estandariza la evaluación de las semillas puestas a prueba (Fernandes et al., 2023). Así mismo Kader (2005) menciona que un mayor número acumulado no indica necesariamente un mayor porcentaje, Además se demostró que las curvas acumuladas ayudan a sintetizar adecuadamente el porcentaje final y la velocidad de emergencia de las semillas (Larsen y Bibby., 2004). En cuanto al peletizado Meena et al. (2024) evaluó en campo pellets con forma redonda, cúbica y en bolsa plástica, donde los registros que tuvieron fue el promedio de plántulas germinadas por parcela, bolsa de tela (84,5) seguido del pellet cúbico (75,7) y el redondo con (71,1) si bien la mortalidad fue alta en siembra seca independientemente del tipo de pellet. Por otro lado, Faraji-Hajibaba et al. (2026) evaluaron 16 tratamientos de peletizado, (14 enmiendas y 2 testigos) reportaron que, aunque los pellets exclusivamente de arcilla mostraron un desempeño aceptable, la inclusión de enmiendas con estiércol 20%, aserrín 20% ceniza 10% y paja de trigo 10%, superaron los índices de germinación de los pellets solo de arcilla, mientras que el de almidón de maíz 20% presentó valores muy bajos. Esta dependencia de la composición del recubrimiento y tamaño coincide con lo observado por Teichroew y Rew. (2024) pues identificaron que las proporciones moderadas de arcilla (10%) y un mayor tamaño de pellet favorece la emergencia de la semilla.

Figura 14. Acumulación del número de semillas germinadas en un período de 10 días, de cinco mezclas de zacates nativos del rancho Las Yucas, Durango, sometidas a germinación en condiciones controladas.



Cálculo del promedio final del número de semillas germinadas acumuladas. M5-Externa registró un promedio de 8.00 ± 3.60 semillas, mostrando una respuesta similar a LA-M1 (7.40±3.97 semillas) y LM-M4 (7.20 ± 1.48 semillas), EC-M3 mostró un desempeño intermedio de 5.8 ± 2.78 semillas y CP-M2 mostrando un desempeño bajo con 3.0± 1.87 semillas. De acuerdo con la comparación múltiple de medias de Tukey (HSD= 5.27 semillas) no existieron diferencias estadísticamente diferentes

Al calcular el promedio final de las germinaciones de las mezclas, LA-M1 registró promedio de 7.4± 3.97 semillas, mostrando una respuesta similar con LM-M4 con 7.2± 1.48 semillas germinadas, y M5-Externa con 8.0± 3.60, la más baja CP-M2 con 3.0± 1.87, EC-M3 mostró un desempeño intermedio con un promedio de 5.8± 2.78.

Germinación con Pellets. Para conocer un estimado de semillas por pellet se hizo un conteo al azar donde los resultados fueron los siguientes, LA-M1: 20.1 ± 4.09 semillas, CP-M2: 22.4 ± 4.32, EC- M3: 19.3 ± 3.43, LM- M4: 42.1 ± 8.88, Mezcla 5- Externa: 28.9 ± 4.58. La variación en el número promedio por cada mezcla se debe a las características de la semilla, pues cada mezcla contaba con especies diferentes, LM-M4 al contar con mayor cantidad de especies de *Muhlenbergia* y al ser semilla de menor tamaño, que haya una mayor densidad en el mismo espacio que la de las demás mezclas.

Se evaluaron tres tratamientos (T1-Lix) Arcilla + Lixiviado de lombriz, (T2-Op) Arcilla + Opunterra®, Testigo (T0) Arcilla + Agua.

El porcentaje total de emergencia registrado fue del 2% sobre el total de 450 unidades experimentales evaluadas (Cuadro 2). El comienzo de las germinaciones de los pellets ocurrió a partir del día 3, donde la EC-M3 tuvo dos germinaciones una con T2 (Opunterra®), y otra con T1 (Lixiviado), y M5-Externa con una germinación con T3 (Agua/testigo), el día 4, se tomaron registros de 4 germinaciones, M5-Externa con T2, y T3, EC-M3 con T2, y finalmente LA-M1 con T2, después del día 4, no hubo registros de nuevas germinaciones hasta el día 14, donde se registraron sólo 2 germinaciones de CP-M2 con T3.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación en pellets.

TRATAMIENTO/MEZCLA	T1-LIX	T2-OP	T0 Agua	Promedio
LA-M1	0.00	3.33	0.00	1 .11
CP-M2	0.00	0.00	6.67	2.22
EC-M3	3.33	6.67	0.00	3.33
LM-M4	0.00	0.00	0.00	0.00
M5-Externa	0.00	3.33	6.67	3.33

Al comparar los resultados de ambas pruebas de germinación, se observó una diferencia importante en la respuesta de las semillas. En las cajas Petri, las observaciones mostraron que la semilla sí presenta viabilidad y capacidad germinativa, sin embargo, en

las semillas ya peletizadas y establecidas en condiciones de invernadero, únicamente se obtuvo un 2% de germinación. Esta diferencia pudo deberse a diversos factores relacionados con el proceso de peletización y las condiciones de la prueba, entre ellos, que los sustratos utilizados en los pellets crearon una barrera física que pudo inhibir la emergencia de la semilla o limitar la absorción de agua y la oxigenación necesaria para la germinación. Asimismo, la concentración de los lixiviados utilizados en las mezclas y las condiciones propias del invernadero pudieron influir en la baja respuesta observada.

A pesar de la baja germinación en los pellets, en ambas mezclas de sustratos con T1 (lixiviado de lombriz) y T2 (Opunterra®) se observó respuesta de germinación, lo que indica que estos lixiviados nutricionales tuvieron un efecto, aunque este se vio limitado bajo las condiciones de la prueba. En este sentido, Faraji-Hajibaba et al. (2026) señalan que la selección adecuada de aditivos para el proceso de peletización es fundamental para favorecer con éxito la germinación. Otra observación relevante fue que las mezclas que presentaron un mayor porcentaje de germinación en las cajas Petri, específicamente EC-M3 y M5-Externa, fueron también las que lograron germinar una vez peletizadas, lo que sugiere que las mezclas que favorecieron una mayor germinación bajo condiciones controladas mantuvieron, en cierta medida, esta capacidad después del proceso de peletización; sin embargo, la baja respuesta obtenida en invernadero indica que las condiciones generadas por el pellet o las propias condiciones del invernadero pudieron limitar la capacidad germinativa de las semillas.

V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, la hipótesis planteada se rechaza, pues esta menciona que el porcentaje de germinación de los pellets es mayor cuando se utiliza lixiviado de lombriz en comparación con el uso de Opunterra®. En realidad, la adición de ambos mejoradores no incrementó el porcentaje de germinación y emergencia en comparación con el tratamiento testigo T0 (agua + arcilla). Este resultado nos indica que la elección de cada aditivo puede favorecer o inhibir el proceso de germinación de las semillas de las especies puestas a prueba.

Se evaluó el potencial germinativo de gramíneas nativas de la región central del estado de Durango en cajas Petri para determinar el porcentaje de germinación de cada mezcla. A partir de esto, se concluye que, aunque la técnica de peletizado es una herramienta con alto potencial para la rehabilitación de sitios degradados, el uso y selección de los materiales adecuados es un factor de suma importancia para garantizar el éxito de los pellets. Es recomendable determinar el contenido óptimo de humedad en la formulación tanto de la mezcla como del sustrato del pellet.

VI. LITERATURA CITADA

Alvarado Dávila, T. L., & Rangel Zambrano, S. A. (2020). Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 7*(2), 76–94. https://doi.org/10.23850/24220582.3141

Andres, S. E., Lieurance, P. E., Mills, C. H., Tetu, S. G., & Gallagher, R. V. (2024). Morphological seed traits predict early performance of native species to pelletized seed enhancement technologies. *Plants, 13*(16), Artículo 2256. https://doi.org/10.3390/plants13162256

Augustine, D. J., Derner, J. D., & Milchunas, D. G. (2020). Grazing management and ecological resilience of grasslands. *Rangeland Ecology & Management, 73*(1), 1–10.

Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2020). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology. *Plant and Soil, 378*, 1–33.

Bozdar, B., Ahmed, N., Meghwar, M. R., Zhu, Z., Talpur, A., & Li, Z. H. (2026). Seed pelleting technologies: Paving the way for resilient and sustainable future farming. *Food and Energy Security, 15*(1), Artículo e70193. https://doi.org/10.1002/fes3.70193

Briske, D. D., Bestelmeyer, B. T., Brown, J. R., et al. (2020). Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology & Management, 73*(1), 1–14.

Buitrago-Guillen, M. E., Melo, D. S., & Narváez-Solarte, W. (2020). *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich (Urticales: Urticaceae): alternativa forrajera para la alimentación animal sostenible. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 24*(2), 61–75. https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.2.4

Cachipuendo Ulcuango, C, J., Requelme, N, D, J., Gualavisi Cachiguango, O. M., Sandoval Montenegro, C. E., & Sandoval Cuascota, J. L. (2017). Uso comunitario del agua y del suelo para la producción sustentable de pasturas. *La granja: Revista de ciencias de la vida, 26*(2),114-126.

Calero-Hurtado, A., Perez-Diaz, Y., Yanes-Simon, L, A., Olivera-Viciedo, D., Peña-Calzada, K., & Melendez-Rodriguez, F. (2020). Respuesta agroproductiva de la habichuela (*Phaseolus vulgaris L*.) a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de la Facultad de ciencias, 9*(1), 112-124. https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584

Canu, F. A., Wretlind, P. H., Audia, I., Tobar, D., & Andrade, H. J. (2018). *Estrategia de Desarrollo Bajo en Carbono (EDBC) para el sector de Ganadería bovina de Nicaragua.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; Universidad del Tolima.

Chanduví-García, R., Sandoval-Panta, M. A., Peña-Castillo, R., Javier-Alva, J., Álvarez, L. A., Quiroz-Calderón, M. V., Granda-Wong, C., Aguilar-Anccota, R., Galecio-Julca, M., & Morales-Pizarro, A. (2023). Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (Citrus aurantifolia Swingle). *Terra Latinoamericana*, 41, Article e1685. https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685

CONABIO. (2021). *Ecosistemas terrestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Corrales Sillo, E. E., Luna Murillo, R. A., Carrión Benavides, C. D., Quinatoa Lozada, E. F., & Espinoza Coronel, A. L. (2024). Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario*. Revista Ciencia y Tecnología, 17*(2), 64–72. https://doi.org/10.18779/cyt.v17i2.803

Del Ángel- Campo, M., Martínez- Dávila, J.P., López-Romero, G. Y Cruz- Hernández, J. (2021). Estrategia piloto de transferencia tecnológica de lixiviado para higo en Ixehuaco, Xochiapulco, Puebla, México. *Tropical and subtropical Agroecosystems, 25*(3), Articulo 69.

Del Ángel Gerónimo, M., Vite Cristóbal, C., Pech Canché, J. M., Ortega Vargas, E., & Arrieta González, A. (2022). Diversidad y abundancia de vegetación nativa e introducida en pastizales de Tantoyuca, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 25*(2), Artículo 063. https://doi.org/10.56369/tsaes.4037

Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., et al. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions. *Nature Ecology & Evolution, 4*, 210–220.

Estrada, F., González-Meler, M. A., Dias de Oliveira, E. A., del Pozo, A., & Lobos, G. A. (2025). Morphophysiological plant phenotyping for the development of plant breeding under drought and heat conditions: A practical approach. *Food and Energy Security, 14*(1), Artículo e70030. https://doi.org/10.1002/fes3.70030

FAO. (2021). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture.* Food and Agriculture Organization.

Faraji-Hajibaba, F., Sheidai-Karkaj, E., & Mofidi-Chelan, M. (2026). Selection of suitable additives for seed pelletizing to enhance germination and growth of Onobrychis viciifolia in restoration of semi-arid degraded rangelands. *Agrosystems, Geosciences & Environment, 9*(1), Artículo e70280. https://doi.org/10.1002/agg2.70280

Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., De Swaef, T., Baert, J., & Pecio, Ł. (2020). Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. *International Journal of Plant Production, 14*(2), 335–353. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3

Felles-Leandro, D., Zelada-López, J., y García-Bendezú, S. (2025). Impacto de enmiendas orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento del cultivo orgánico de palto (Persea americana Mill.) en Lima, Perú. Tropical and Subtropical *Agroecosystems,* 28, Artículo 149. https://doi.org/10.56369/tsaes.6469

Füzy, A., Kovács, R., Cseresnyés, I., Parádi, I., Szili-Kovács, T., Kelemen, B., Rajkai, K., & Takács, T. (2019). Selection of plant physiological parameters to detect stress effects in pot experiments using principal component analysis. *Acta Physiologiae Plantarum, 41*, artículo 56. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2842-9

Gonzalez, A. M. (2025). *A*n investigation into the photoefficiency, photoprotection, and carbon & nitrogen allocation in switchgrass [Tesis de maestría, Washington State University]. *Research Exchange*. https://doi.org/10.7273/000007374

Gupta, R., & Khan, B. R. (2026). Editorial: Optimizing photosynthetic efficiency for sustainable crop production in varied climatic conditions. *Frontiers in Plant Science*, 16, Artículo 1765839. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1765839

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., et al. (2018). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances, 4*(2), eaaq1129.

Hanson, J., & Ellis, R. H. (2020). Progress and challenges in ex situ conservation of forage germplasm: Grasses, herbaceous legumes and fodder trees. *Plants, 9*(4), Artículo 446. https://doi.org/10.3390/plants9040446

Huang, X., & Hou, F., (2024). Principle, technique and application of grassland improvement. *Journal of environmental management*, 369, 122264.

INEGI. (2020). *Uso de suelo y vegetación de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services**.**

Irfan, J. A., Makaju, S. O., & Missaoui, A. M. (2026*). L*inking root system architecture (RSA), photosynthetic efficiency, and biomass productivity in a switchgrass (*Panicum virgatum L*.) half-sib panel [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-8734576/v1

Isbell, F., Tilman, D., Polasky, S., et al. (2018). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature, 526*, 574–577.

James, J. J., & Svejcar, T. (2010). Limitations to postfire seedling establishment: The role of seeding technology, water availability, and invasive plant abundance. *Rangeland Ecology & Management, 63*(4), 491–495. https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00124.1

James, J. J., Sheley, R. L., Erickson, T., et al. (2019). Managing soil seed banks for restoration. *Restoration Ecology, 27*(3), 520–527.

Jia, Z., Ou, C., Sun, S., Wang, J., Liu, J., Li, M., Jia, S., & Mao, P. (2023). A novel approach using multispectral imaging for rapid development of seed pellet formulations to mitigate drought stress in alfalfa. *Computers and Electronics in Agriculture, 212,* Artículo 108136. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108136

Jiménez Villamil, A. del P., Solar Duarte, D., & Ortiz Villota, M. T. (2018). Bancos de semillas: Herramienta sostenible para la conservación de la biodiversidad en el municipio de Ubaque, en Cundinamarca (Colombia). *Avances: Investigación en Ingeniería, 15*(1), 9-29. https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1946

Kumar, R., Farda, B., Mignini, A., Djebaili, R., Koolman, L., Paul, A., Mondal, S., Joel, J. M., Pandit, A., Panneerselvam, P., Pellegrini, M., & Mitra, D. (2025). Microbial solutions in agriculture: Enhancing soil health and resilience through bio-inoculants and bioremediation*. Bacteria, 4*(3), Articulo 28.

Ladouceur, E., Jiménez-Alfaro, B., et al. (2020). Native seed supply and the restoration of ecosystems. *Biological Conservation, 250*, 108736.

Li, D., Li, S., Chen, H., & Wu, J. (2025). Reseeding promotes plant biomass by improving microbial community stability and soil fertility in a degraded subalpine grassland. *Geoderma, 453,* Articulo 117160.

Lieurance, P. E., Mills, C. H., Tetu, S. G., & Gallagher, R. V. (2024). Putting seed traits into pellets: Using seed mass data to improve seed encapsulation technology for native plant revegetation*. Journal of Applied Ecology, 61*(4), 847–858. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14611

López-Gómez, A., y Rosales-Castro, M. (2025). La incorporación de residuo sólido de café y su composta genera cambios en la fertilidad de suelos agrícolas y mejora el rendimiento de *Capsicum annuum. Agroindustrial Science, 14*(3), 295–302. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.03.10

Madsen, M. D., Davies, K. W., Boyd, C. S., et al. (2018). Emerging seed enhancement technologies for overcoming barriers to restoration. *Restoration Ecology, 26*(S2), S96–S103.

Maestre, F. T., Eldridge, D. J., et al. (2019). Structure and functioning of dryland ecosystems in a changing world. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 50*, 563–584.

Comisión Nacional del Agua. (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle del Guadiana (1003),* Estado de Durango. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/conagua

FAO. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014: Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos* (Actualización 2015). Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 106. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (s. f.). ¿Qué son los pastizales y las zonas de pastoreo? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 29 de septiembre de 2026, de https://www.fao.org/agriculture/crops/

Fernandes, M. P., Matono, P., Almeida, E., Pinto-Cruz, C., & Belo, A. D. F. (2023). Siembra de prados de flores silvestres en zonas verdes periurbanas mediterráneas para promover la diversidad de pastizales. Frontiers in Ecology and Evolution, 11. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1112596

Gutiérrez-Guzmán, U. N., Minor-Hinojosa, A., Castellanos-Pérez, E., Martínez-Ríos, J. J., & Esquivel-Romo, A. (2017). Viabilidad de semilla de zacate banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] cosechada en poblaciones naturales del municipio de Mapimí, Durango. *Agrofaz*, 17(1), 115–122.

Herrera Arrieta, Y., & Pámanes García, D. S. (2006). *Guía de pastos para el ganadero del Estado de Durango*. Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR Unidad Durango)

Kader, M. A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales, 138*, 65–75.

Larsen, S. U., & Bibby, B. M. (2004). Use of germination curves to describe variation in germination characteristics in three turfgrass species. *Crop Science, 44*(3), 891–899. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8910

Loka, D., Harper, J., Humphreys, M., Gąsior, D., Wootton-Beard, P., Gwynn-Jones, D., Scullion, J., Doonan, J., Kingston-Smith, A., Dodd, R., & Wang, J. (2018). Impacts of abiotic stresses on the physiology and metabolism of cool-season grasses: A review*. Food and Energy Security, 8*(1), e00152. https://doi.org/10.1002/fes3.152

López-Velázquez, M. M., Ramírez-Segura, E., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Joaquín-Cancino, S., Muñoz-Salas, L. C., & Gayosso-Barragán, O. (2023). Parámetros de calidad en propágulos de pastos nativos e introducidos cosechados en sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana, 46*(4). https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.395

Maraña Santacruz, J. Á., Castellanos Perez, E., Vázquez, C., Martínez Ríos, J.J., Trejo Escareño, H, I., Gallegos Robles, M.Á., & Orona Castillo, I. (2018). Rendimiento del chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Terra Latinoamericana, 36*(4),345-35

Matisic, M., Dugan, I., & Bogunovic, I. (2024). Challenges in sustainable agriculture—The role of organic amendments*. Agriculture, 14*(4), Artículo 643. https://doi.org/10.3390/agriculture14040643

Meena, S. S., Nagar, R. P., & Meena, H. S. (2024). Field establishment of Cenchrus grass pasture through seed pelleting. *Range Management and Agroforestry, 45*(2), 357–360. https://doi.org/10.59515/rma.2024.v45.i2.23

Meglioli, C., Kuchen, B., Ormeño, L., Vazquez, F., & Parera, C. (2026). Statistical optimization of seed coating in arid-zone grass species used as cover crops in woody agroecosystems*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.

Mihai, R. A., Melo Heras, E. J., Terán Meza, V. A., Espinoza Caiza, I. A., Pinto Valdiviezo, E. A., & Catana, R. D. (2023). The panoramic view of Ecuadorian soil nutrients (déficit/toxicity) from different climatic regions and their possible influence on the metabolism of important crops*. Toxics, 11*(2), Articulo 123.

Mudau, H, S., Msiza, N, H., Sipango, N., Ravhuhali, K, E., Mokoboki, H, K., & Moyo, B, Veld restoration strategies in South African semi-arid rangelands. Are there any successes? – A review. *Frontiers in enviromental science,* 10, Article 960345.

Naghman, R., Bhatti, M. T., Najabat, Z., Hyder, S., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., Zafar, Z., Malik, S., Iqbal, R., Hafeez, A., Ali, B., & Marc, R. A. (2023). Organic amendments: A natural way to suppress phytopathogens: A sustainable

approach to go green. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 47*(5), 602–622. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3113

Ochoa-Lechuga, J. E., Ramírez-Segura, E., Lucio-Ruiz, F., Joaquín-Cancino, S., Estrada-Drouaillet, B., Limas-Martínez, A. G., & Garay-Martínez, J. R. (2025). Calidad física y fisiológica de ecotipos de gramíneas nativas del Altiplano Tamaulipeco para la rehabilitación de zonas semiáridas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 24.* https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2025.07.06

Patel, M. A., Naik, S., Patra, C., & Mohanty, S. (2026). *Seed coating and pelleting technologies for precision agriculture.* Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.18469202

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment, 17*(5), 289–295.

Pedrini, S. (2025). A novel multi-species seed pelleting method to improve the efficiency of seed-based ecological restoration. *Frontiers in Environmental Science, 13*, Artículo 1595530. https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1595530

Pedrini, S., Dixon, K. W., et al. (2020). Seed enhancement for restoration. *Restoration Ecology, 28*(S3), S266–S275.

Pyšek, P., Hulme, P. E., et al. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews, 95*(6), 1511–1534.

Reid, R. S., Fernández-Giménez, M. E., & Galvin, K. A. (2022). Global rangelands and pastoralism. *Annual Review of Environment and Resources, 47*, 217–242.

Ren, H., Yao, L., Zhao, W., Li, A., Li, Y., & Song, X. (2025). Progress in the application of stress-resistant and efficiency-enhancing grass seed coating and pelleting technology in ecological restoration. *Chinese Journal of Applied Ecology, 36*(8). https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202508.018

Rojas-Espinoza, B. F., Hernández-Chontal, M. A., Rodríguez-Orozco, N., & Linares-Gabriel, A. (2023). Concentración de nutrientes de dos formulaciones de fertilizantes fermentados (bioles) elaborados con insumos locales*. Terra Latinoamericana*, 41, Article e1658. https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1658

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México (*1.ª ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Obra original publicada por Gentry, H. S., 1957, Los pastizales de Durango).

Sahrawat, K. L. y Wani, S. P. (2013). Soil testing as a tool for on-farm fertility management: Experience from the semi-arid zone of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *44*(6), 1011–1032. https://doi.org/10.1080/00103624.2012.750339

Salam, N, K., Krishnamoorthi, A., Trivedi, S., Jonh, S., Sinha, S., Raj, R., Kour, R., & Yadav, D, K. (2025) Optimizing soil nutrient dynamics: Recent insights into soil-plan interactions, *International Journal of Agronomy Studies 8*(5G),546-554.

Servicio Geológico Mexicano. (2026). *Carta geológico-minera Durango Oeste G13-D81*. Secretaría de Economía. https://www.gob.mx/sgm

**Servicio Meteorológico Nacional. (2026*).* Datos meteorológicos de la estación Durango (10017)* Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx

Shariatipour, N., Shams, Z., Heidari, B., & Richards, C. (2023). Genetic variation and response to selection of photosynthetic and forage characteristics in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis L*.) ecotypes under drought conditions. *Frontiers in Plant Science, 14*, Artículo 1239860. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239860

Teague, W. R., & Barnes, M. (2019). Grazing management that regenerates ecosystem function. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 287*, 106684.

Teichroew, E. B., & Rew, L. J. (2024). Testing the effects of seed pellet composition to aid in semiarid restoration seeding. Restoration Ecology, 33(6), e14349. https://doi.org/10.1111/rec.14349

Török, P., Brudvig, L. A., Kollman, J., Price, J. N., & Tóthmérész, B. (2021). The present and future of grassland restoration. *Restoration Ecology, 29* (S1), e13378.

Torres, B., Espinoza, I., Torres, A., Herrera- Feijoo, R., Luna, M., & García, A (2023). Livelihood capitals and opportunity cost for grazing áreas restoration: A sustainable inttensification strategy in the ecuadorian amazon. *Animals* 13(4), 714.

Tubana, B. S. y Cruz, J. (2023). The physiological role of minerals in the plant. En L. E. Datnoff, W. H. Elmer y F. A. Rodrigues (Eds.), *Mineral nutrition and plant disease* (2.ª ed., pp. 17–44). APS Press. https://doi.org/10.1094/9780890546796.002

Vargas Sibaja, M. M., & Gómez Solís, W. (2017). Receptividad de los ganaderos aledaños a los ecosistemas de humedal en el establecimiento y manejo de

fincas pecuarias integradas. Universidad en Diálogo*: Revista de Extensión, 7*(2), 11–24. https://doi.org/10.15359/udre.7-2.1

Vilà, M., Hulme, P. E., et al. (2019). Impact of invasive alien plants on ecosystem services. *Biological Invasions, 21*, 1–18.

Walters, C., Wheeler, L. M., & Grotenhuis, J. M. (2018). Longevity of seeds stored in genebanks. *Seed Science Research, 15*(1), 1–2.

Wang, S. L., & Hou, F. J. (2021). Seed bank of livestock dung in the Qilian Mountain grassland: A potential resource for vegetation recovery*. Rangeland Ecology & Management, 78*, 90–99. https://doi.org/10.1016/j.rama.2021.06.001

Weissmann, E. A., Raja, K., Gupta, A., Patel, M., & Buehler, A. (2023). Seed quality enhancement. En M. Dadlani & D. K. Yadava (Eds.), *Seed science and technology: Biology, production, quality* (pp. 385–402). Springer.https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_16

Wolf, D. C., & Skipper, H. D. (1994). Soil sterilization. En R. W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, & A. Wollum (Eds.), Methods of soil analysis: Part 2*. Microbiological and biochemical properties* (pp. 41–51). Soil Science Society of America. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c3

Xu, J., Li, Y., & Li, L. (2025). A comprehensive review of the effects of organic amendments on soil health and fertility: Mechanisms, greenhouse gas emissions, and implications for sustainable agriculture. *Agronomy, 15*(12), Artículo 2705. https://doi.org/10.3390/agronomy15122705

Xue, J., Ma, X., Hou, Z., Guo, M., & Zhang, X. (2024). Experimental study on the pelleting and coating performance of red clover seeds. *Coatings, 14*(11), Artículo 1443. https://doi.org/10.3390/coatings14111443

Zhang, J., Li, H., Jiang, Y., Li, H., Zhang, Z., Xu, Z., Xu, B., & Huang, B. (2020). Natural variation of physiological traits, molecular markers, and chlorophyll catabolic genes associated with heat tolerance in perennial ryegrass accessions. *BMC Plant Biology, 20*(1), Artículo 520. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02695-8

VII. ANEXOS

Acrónimo	Nombre científico
Bo ra	***Bouteloua radicosa***
Bo cu	***Bouteloua curtipendula***
Bo hi	***Bouteloua hirsuta***
El ba	***Elionurus barbiculmis***
Mu ph	***Muhlenbergia phleoides***
Bo la	***Bothriochloa laguroides***
Mu pu	***Muhlenbergia pubescens***

Anexo 1. Acrónimos de especies



Germinación en pellet.