

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



Evaluación del uso de herbicidas en *Amelichloa clandestina* (Hack.)
Arriaga & Barkworth en un pastizal nativo del Rancho Los Ángeles,
Saltillo, Coahuila

Por:

JOSÉ ALEJANDRO AGUILAR FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

DICIEMBRE 2024

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

Evaluación del uso de herbicidas en *Amelichloa clandestina* (Hack.)
Arriaga & Barkworth en un pastizal nativo del Rancho Los Ángeles,
Saltillo, Coahuila

Por:

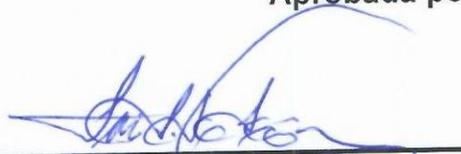
JOSÉ ALEJANDRO AGUILAR FLORES

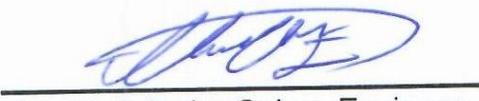
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Luis Lauro de León González
Asesor Principal


Dr. José Javier Ochoa Espinoza
Coasesor


Dr. José Antonio Hernández Herrera
Coasesor


Dr. Fulgencio Martín Tucuch Cauich
Coasesor externo


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

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre de 2024



Declaración de No Plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los aspectos siguientes:

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 citarlo; utilizar material digital como imágenes, vídeos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo, tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



José Alejandro Aguilar Flores

AGRADECIMIENTOS

A **Dios Todopoderoso**, agradezco profundamente por darme la vida, la salud y acompañarme en todo momento, permitiéndome llegar hasta aquí. Estoy inmensamente agradecido por todas las oportunidades que me ha brindado para seguir avanzando.

A **mi novia**, Lidia Berenice, le agradezco por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, así como por estar siempre pendiente de cada situación durante mis últimos semestres y por motivarme siempre para la realización de esta tesis.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi **ALMA TERRA MATER**, agradezco profundamente por recibirme con los brazos abiertos y permitirme formar parte de esta noble institución, donde pude superar fronteras, tanto dentro como fuera de la universidad. Me siento inmensamente orgulloso de ser un buitre de la Narro.

A **mi familia**, por brindarme su apoyo incondicional y darme la oportunidad de continuar mi formación en cada etapa académica. Sin lugar a dudas, han sido fundamentales en la construcción de lo que soy hoy.

Al **Dr. Javier Ochoa Espinoza** por su apoyo desinteresado y el tiempo dedicado a la realización de este trabajo en todo momento, incluso en horarios fuera de clase.

Al **Dr. Luis Lauro de León González** por su apoyo desinteresado y tomarse el tiempo en la revisión del escrito, así como comentarios al respecto del mismo.

Al **Dr. José Antonio Hernández Herrera** por su apoyo desinteresado y tomarse el tiempo para la revisión y mejora del escrito, así como brindar herramientas útiles y necesarias.

A **los maestros**, quienes contribuyeron a mi formación profesional, por compartir sus conocimientos, anécdotas y sobre todo su amistad.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **Dios**, por permitirme ingresar a esta noble institución, aprobar todas las materias de manera satisfactoria, llevar a cabo distintas actividades extra curriculares para una mejor formación, así como la motivación y perseverancia para la realización de este trabajo.

Dedico este trabajo a **todas las personas** que han creído en mí, en lo que soy capaz de hacer y también de haber llegado hasta donde estoy.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Importancia de la Rehabilitación y del Manejo de Pastizales	4
Definición de Manejo de Pastizales	6
Amenazas Actuales en el Manejo y Conservación de Pastizales	6
Definición de Rehabilitación de Pastizales	8
Principales Técnicas de la Rehabilitación de Pastizales	9
Controles Mecánicos	9
Controles Ecológicos	9
Control con Herbicidas	11
Clasificación de los Herbicidas	12
Marco Legal en el Uso de Herbicidas	14
Lista de Pesticidas de la OMS	15
Transición hacia Herbicidas Amigables con el Medio Ambiente	16
Importancia Social, Ecológica y Económica de los Herbicidas Orgánicos.	16

Funcionamiento y Control de Zacates por Diversos Métodos	17
Mecanismos de Dispersión de <i>Amelichloa clandestina</i>	17
Diferencias en los Metabolismos Respiratorios para Gramíneas C3 y C4	17
Ejemplos de Proyectos de Control de Zacates con Herbicidas	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
Localización del Área de Estudio	20
Clima.....	20
Hidrología.....	21
Geología.....	22
Edafología	23
Vegetación.....	23
Ubicación del Área del Experimento	24
Manejo del Pastoreo Previo a la Aplicación	24
Descripción de Tratamientos.....	25
Variables a Evaluar	27
Estructura de la Planta	27
Vigor de las Hojas.....	27
Análisis de la Información	30
IV. RESULTADOS	31
Desarrollo de Hojas.....	31
Tratamiento Testigo	31
Tratamientos Relacionados a los Prototipos de Bio-herbicidas	31
Tratamientos Relacionados a Herbicidas Comerciales.....	33
Desarrollo de Raíces.....	34
Tratamiento Testigo	34

Tratamientos Relacionados a los Prototipos de Bio-herbicidas	35
Tratamientos Relacionados a Herbicidas Comerciales.....	36
Comparación Entre Tratamientos por Tiempo de Evaluación.....	38
Respuesta a los 17 Días (t1)	38
Respuesta a los 33 Días (t2)	39
Respuesta a los 119 Días (t3).....	40
Expresión de Vigor en Hojas	41
Efecto Fito-tóxico	41
Evolución del Vigor en las Hojas	45
V. DISCUSIÓN.....	50
Desarrollo de Partes Vegetativas	50
Efectividad de los Tratamientos en Escala de Tiempo	51
Manifestación del Vigor en Respuesta a los Herbicidas.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	54
VI. LITERATURA CITADA.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del vigor de las hojas de zacate picoso, posterior a la aplicación de tratamientos con herbicidas.	28
Tabla 2. Escala propuesta por la Sociedad Europea de la Ciencia de la Maleza (SECM).	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	20
Figura 2. Esquema del área experimental para pruebas con herbicidas sobre zacate picoso	24
Figura 3. Muestras de zacate con diferentes grados de vigor a nivel planta....	29
Figura 4. Variabilidad temporal de la altura de hojas de <i>A. clandestina</i> en T3-T	31
Figura 5. Variabilidad temporal de la altura de hojas de <i>A. clandestina</i> en PBH1 y PBH2	32
Figura 6. Variabilidad temporal de la altura de hojas de <i>A. clandestina</i> en T4-SB y T5-IM.....	33
Figura 7. Comportamiento del crecimiento de la raíz de <i>A. clandestina</i> en el escenario testigo, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3)	34
Figura 8. Comportamiento del crecimiento de la raíz de <i>A. clandestina</i> en el tratamiento con el prototipo de bio-herbicida 1 (PBH1), a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).....	35
Figura 9. Comportamiento del crecimiento de la raíz de <i>A. clandestina</i> en el tratamiento con el prototipo de bio-herbicida 2 (PBH2), a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).	36
Figura 10. Comportamiento del crecimiento de la raíz de <i>A. clandestina</i> en el T4 con uso de herbicida comercial SecBios, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).....	37
Figura 11. Comportamiento del crecimiento de la raíz de <i>A. clandestina</i> en el T5 con uso de herbicida comercial con ingrediente activo Imazapyr, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).....	38
Figura 13. Comparación entre tratamientos a los 33 días de aplicación (t2).....	40
Figura 14. Comparación entre tratamientos a los 119 días de aplicación (t3).....	41

Figura 15. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 17 días	42
Figura 16. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 33 días	44
Figura 17. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 119 días.....	45
Figura 18. Comparación de vigor (V1) entre tratamientos.	47
Figura 19. Comparación de vigor (V2) entre tratamientos	48
Figura 20. Comparación de vigor (V3) entre tratamientos	49

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el uso de prototipos de bio-herbicidas y otros herbicidas comerciales de origen químico y orgánico sobre *Amelichloa clandestina* (zacate picoso). El estudio se llevó a cabo en el Rancho Los Ángeles, sobre un área de temporal agrícola del potrero cuatro, que ha permanecido en desuso durante los últimos diez años. La superficie total del área experimental fue de 225 metros cuadrados. Se sometieron 17 vacas a un período de pastoreo promedio de 24 horas con el fin de remover el material vegetal senescente y promover el crecimiento activo del zacate picoso, esto se llevó a cabo el 3 de julio de 2023. Una vez completado el pastoreo, se establecieron cinco tratamientos, cada uno con cinco repeticiones de cuatro metros cuadrados. Los tratamientos implementados fueron: T1-PBH1 (Bio-herbicida 1), T2-PBH2 (Bio-herbicida 2), T3-T (Testigo), T4-SB (SecBios) y T5-IM (Imazapyr). Se realizaron cuatro evaluaciones entre el 19 de julio y el 15 de noviembre, en las cuales se midió el largo de las hojas y raíces en centímetros. También se evaluó el vigor de las hojas secas y verdes. Los resultados mostraron un desarrollo dinámico de las hojas en todos los tratamientos; en T5-IM, la efectividad fue cercana al 100 por ciento. En cuanto al desarrollo de raíces, los resultados fueron más claros en T4-SB y T5-IM, donde la elongación mostró una tendencia a la baja. Un hallazgo importante fue el efecto fito-tóxico en el vigor de las hojas, siendo T4-SB en el que el efecto fue más notable, seguido de T5-IM y, posteriormente los dos prototipos de bio-herbicidas. En conclusión, los prototipos de bio-herbicidas no lograron el efecto esperado en las variables evaluadas. Por el contrario, los herbicidas comerciales SecBios mantuvieron su efectividad hasta la última evaluación. Lo anterior proporciona información valiosa para la rehabilitación de los pastizales.

Palabras clave: *Amelichloa clandestina*, Bio-herbicida, control, especies invasoras, pastizal.

ABSTRACT

This research evaluated the use of chemical and bio-herbicides on *Amelichloa clandestina* (mexican needlegrass). The study was conducted at Rancho Los Angeles, in an abandoned agricultural area located in pasture four, which has been unused for the past ten years. The total area of the experimental site was 225 square meters. Seventeen cows were subjected to a grazing period of about 24 hours to remove senescent plant material and promote the active growth of mexican needlegrass, those action were carried out on July 3th, 2023. Once grazing was completed, five treatments were established, each with five repetitions of four square meters. The implemented treatments were: T1-PBH1 (Bio-herbicide 1), T2-PBH2 (Bio-herbicide 2), T3-T (Control), T4-SB (SecBios), and T5-IM (Imazapyr). Four evaluations were conducted between July 19th and November 15th, measuring the length of the leaves and roots in centimeters. The vigor of both, dry and green leaves was also assessed. The results showed a dynamic development of leaves across all treatments; however, on T5-IM, the effectiveness was nearly 100 per cent. Regarding root development, the results were clearer on T4-SB and T5-IM, where elongation showed a downward trend. An important finding was the phyto-toxic effect on leaf vigor, with T4-SB exhibited the most notable effect, followed by T5-IM, and then the two bio-herbicide prototypes. In conclusion, the bio-herbicide prototypes did not achieve the expected effect on the evaluated variables. In contrast, SecBios maintained its effectiveness until the final evaluation. This last statement provide use of valuable information for range improvement.

Key words: *Amelichloa clandestina*, Bio-herbicide, control, invasive species, range.

I. INTRODUCCIÓN

Amelichloa clandestina es una especie de zacate muy agresiva que invade sitios con disturbio, sitios sobre pastoreados o áreas agrícolas en desuso, desplazando con mucha facilidad a las especies forrajeras pertenecientes a la comunidad clímax de plantas, también denominadas como especies deseables, además de contar con la presencia de espiguillas cleistógamas que favorece el establecimiento de esta especie en áreas erosionadas con facilidad. Al ser una especie muy fibrosa cuando ha alcanzado la madurez, es muy poco consumida por el ganado, lo que permite su establecimiento y la invasión de sitios de pastoreo. De acuerdo con Juanes *et al.* (2024) esta especie tiene su origen en el noreste de México, siendo considerada una especie indeseable en áreas de pastizal por los impactos que ocasiona debido a su rápida distribución y crecimiento. Tal como lo mencionan Kettenring y Reinhardt (2011), las plantas invasoras representan un reto a la sociedad por los impactos que llegan a ocasionar, teniendo como primer factor el desplazamiento de especies nativas, cambios en los ciclos biogeoquímicos y afectaciones a propiedades de los ecosistemas como son su estructura y función, así también se ven afectadas la productividad de las plantas y existen cambios en el paisaje del lugar; en tanto, Bossdorf *et al.* (2005) comentan que la invasión de especies de plantas es una de las mayores amenazas que enfrenta la biodiversidad en general y que se ve favorecida por cuestiones como el transporte global, perturbaciones, cambios en el uso de suelo, etc; es por ello que Esqueda y Tosquy (2007) destacan que con el paso del tiempo, las especies invasoras obstaculizan el pastoreo, reducen la producción y calidad del forraje, además de un efecto negativo en términos económicos debido a los costos sobre el manejo del ganado.

Es por ello que la eliminación de especies indeseables forma parte de una serie de factores a considerar dentro de los pastizales y pueden efectuarse con métodos de control diferentes, como el control mecánico, control cultural, control ecológico y control químico; aunque la información más abundante se centra en todas las anteriores mencionadas a excepción de los herbicidas cuya información

suele ser más escasa (Mabel, 2014); pero hay información que comprueba que el uso de herbicidas tiene alta eficacia, debido al impacto que ocasiona a aquellas especies de plantas que van desde su eliminación, hasta una disminución significativa en sus poblaciones (Esqueda, 2003).

Los herbicidas forman parte del control químico y han sido ampliamente dominantes como una de las primeras opciones para aplicar de manera extensa sobre los pastizales, con el objetivo de controlar o erradicar especies vegetales consideradas indeseables, esto ha contribuido a aumentar la producción de forraje de aquellas especies con un valor forrajero importante (Fuhlendorf *et al.*, 2009). Hoy en día en el mercado existen diferentes fórmulas y dosificaciones para cada herbicida y varios tipos de acción, además si son herbicidas de contacto o sistémicos.

Para tener una aplicación efectiva de los herbicidas, se deberán contemplar factores que son básicos para generar resultados óptimos, entre los que figuran la elección correcta del herbicida, la técnica de aplicación, la persona que aplica, el equipo con el cual se lleva a cabo la aplicación y la etapa fenológica de la planta; es por ello que es indispensable tener una planeación sobre el cómo y cuándo aplicar, así como también con qué dosis (Tafoya, 2022).

En tiempos recientes ha habido avances en mejorar estrategias para el combate de especies de plantas indeseables (Monteiro y Santos, 2022); además de obtener nuevas sustancias biológicas que sean más amigables con el medio ambiente y la salud humana, de ahí la importancia de probar su efectividad, eficacia y la residualidad, en caso de tenerla.

En base al contexto anterior, se planteó y se ejecutó esta investigación que justifica el control de la especie *Amelichloa clandestina* con el uso de herbicidas, principalmente de base orgánica con la oportunidad de probar productos alternativos en sustitución de otros como el glifosato que tiene restricciones legales en México.

Objetivo General

Evaluación del uso de herbicidas en *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth en un pastizal nativo del Rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila.

Objetivos Específicos

- ❖ Evaluar el efecto de dos prototipos de bio-herbicidas y un herbicida de origen orgánico en el desarrollo de raíz, hoja y el vigor en *Amelichloa clandestina*.
- ❖ Evaluar el efecto de un herbicida de base química en el desarrollo de raíz, hoja y el vigor en *Amelichloa clandestina*.

Hipótesis

- Los dos prototipos de bio-herbicidas y el herbicida de origen orgánico no tienen efecto en el desarrollo de raíz, hoja y el vigor en *Amelichloa clandestina*.
- El herbicida de base química no tiene efecto en el desarrollo de raíz, hoja y el vigor en *Amelichloa clandestina*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de la Rehabilitación y del Manejo de Pastizales

Jacoby (1997) define a los pastizales como todas aquellas áreas de tierra no cultivables o aptas para la agricultura pero que tienen la capacidad de otorgar productos y servicios, dentro de lo cual destaca el generar forraje como alimento para el consumo de los animales y de la vida silvestre, que incluye una diversidad de especies de plantas nativas; por otro lado Holecheck *et al.* (1989) mencionan que la importancia de los pastizales se debe en gran medida a que representan una gran fuente de alimentación, por su amplia disponibilidad y porque es muy económica ya que a partir de los pastizales se pueden obtener bienes y servicios, además define el manejo de pastizales como una vocación única y que vela por la integridad de las plantas y animales en su conjunto y no de manera individual. La rehabilitación de pastizales degradados es de gran relevancia por lo que implica y que refiere el habilitar la capacidad productiva por unidad de área y por animal, alcanzando grados ecológicos y económicos bastante aceptables para la importante recuperación de especies de plantas desplazadas y junto con ellas los servicios que brinda el mismo ecosistema (Padilla y Sardiñas., 2009); en tanto Zerga (2015) comenta que la rehabilitación de los pastizales es de suma importancia debido a la rapidez y magnitud con la que los pastizales se degradan y, determinar las causas, es clave para aumentar de nuevo la productividad, mejorando las condiciones de los pastizales, además de lograr un desarrollo sustentable para eliminar la perturbación.

De acuerdo con (Arreola, 2017) el manejo de pastizales toma como base dos aspectos importantes que de cierta manera se interrelacionan y que son los factores físicos y los sociales, en ello radica lo que se tiene que considerar acerca de que los pastizales son fáciles de modificar, de la misma manera en que se pueden destruir o deteriorar sin ningún esfuerzo; Mahadi *et al.* (2013) especifican que la planificación de los pastizales debe ser participativa para los usuarios involucrados y con un enfoque que permita evitar amenazas y garantizar su uso óptimo para su continua función dentro del ecosistema, otorgando siempre

bienes y servicios; en tanto Maczko *et al.* (2012) enfatizan que los ganaderos que cuenten con una planificación adecuada y seguimiento de los pastizales, son personas fundamentales para el desarrollo de alianzas entre diversas asociaciones y con ellos generar oportunidades para intercambio de experiencias, seguimiento y mejora en la evaluación de los pastizales; por otro lado, Arreola (2017) recalca la importancia de tener al alcance los conocimientos aptos y necesarios como para poder construir un plan de manejo adecuado a los pastizales aprovechando muy bien sus recursos y sin ocasionar pérdidas o desplazamiento de especies nativas del lugar; es por ello que el Fondo Mundial para la Naturaleza y colaboradores (WWF, 2023) han emitido recomendaciones para cuidar y gestionar de forma sustentable los pastizales naturales, las cuales se describen y son abordadas de la manera siguiente:

El primer punto es evaluar las tendencias de la disminución de los ecosistemas de pastizal y las condiciones ecológicas que lo afectan. El segundo punto es identificar y abordar los factores que contribuyen en la pérdida y degradación de los sitios de pastizales y abordar sus amenazas. El tercer punto es brindar apoyo a comunidades, ejidos, pueblos, para que todas las personas involucradas tengan conocimiento y práctica de los sistemas de pastoreo eficientes y sostenibles promoviendo así la conservación de los servicios ecosistémicos de los pastizales. El cuarto punto es priorizar la protección de los pastizales ecológicamente más significativos y asegurar que la restauración en estas áreas sea exitosa. El quinto punto corresponde a integrar todas las recomendaciones anteriores para generar y desarrollar un programa de gestión sustentable y de restauración con un enfoque estratégico que garantice su éxito.

En relación a lo que mencionan DiTomaso *et al.* (2010), en la administración de los pastizales se consideran objetivos muy específicos que engloban productos y servicios que se obtienen como la producción de forraje, vida silvestre, mejora del hábitat, restauración de complejos de vegetación nativa y mantenimiento de áreas de uso recreativo.

Definición de Manejo de Pastizales

Gutierrez *et al.* (1995) definen la administración de los pastizales como una disciplina que debe de tomarse en cuenta en la gestión de las tierras bajo un esquema integral que no sólo involucre cuestiones biológicas, sino también el aspecto social y, el aspecto físico, que conlleve a la mejora continua de los pastizales y su uso sustentable para la producción animal y, que cuya actividad no genere daños al ecosistema; en el mismo sentido, Holecheck *et al.* (1989) consideran que el manejo de pastizales tiene otros enfoques importantes como son, el alterar los componentes que integran el pastizal para una obtención de bienes y servicios de manera adecuada sin comprometer la salud del pastizal con tendencia hacia la mejora continua tanto de la producción de forraje como producción de carne.

Provenza (1991) recalca la importancia del manejo de los pastizales y la ciencia de los pastizales como piezas fundamentales que deben traducirse a conocimientos aplicados por parte de los administradores de tierras y el considerar los procesos en los que se ven involucrados los pastizales como indispensables; mientras que Stoddart (1967) hace mención acerca de que la gestión de los pastizales tiene su enfoque principalmente en la protección y mejora continua de las tierras de pastoreo, para obtener la máxima producción de carne y lana, productos consumibles de los recursos que otorgan los pastizales y sin dañarlos.

Amenazas Actuales en el Manejo y Conservación de Pastizales

Abdulahi *et al.* (2016) determinan que la degradación de los pastizales llega a resultar más grave de lo que se piensa debido a que involucra la seguridad alimentaria de una gran parte de la población, concurre en un aumento de la desertificación, generando pobreza y desplazamiento de asentamientos humanos que derivan hasta la necesidad de buscar otros medios para obtener ingresos; más recientemente, Jurado *et al.* (2021) mencionan que existe una preocupación por cómo en la actualidad las áreas de pastizal se manejan y el constante deterioro de los mismos por acciones mal planificadas que se han

llevado a cabo como son el cambio de uso de suelo, el sobrepastoreo y la variabilidad climática, modificada por efectos globales; mientras que Gauthier *et al.*, (2003), han determinado que el deterioro de los pastizales es atribuido a agentes de fragmentación como es la expansión y rápido desarrollo agrícola, desarrollo urbano, extracción de agua, extracción y explotación de diferentes minerales y de gran valor, todo esto ocasionando cambio de uso del suelo y la propagación de especies de plantas invasoras; esto convierte a los pastizales en uno de los ecosistemas más amenazados en la actualidad; Huntsinger y Hopkinson (1996) consideran que los pastizales son ecosistemas que sufren grandes amenazas como la degradación y fragmentación del hábitat, por eso surge la necesidad de la conservación de dichos ecosistemas que involucra dos procesos fundamentales como el social y ecológico, buscar soluciones en base a la planeación, construir alianzas fuertes y conseguir apoyos financieros son papeles importantes que hay que considerar para lograr el éxito en la conservación de los pastizales; en tanto, Mahadi *et al.* (2013) justifican que los recursos de pastizales se han explotado desde siempre por comunidades y ejidos, pero con cierto control sobre el uso adecuado de los recursos, pero en los últimos años esto ha ido cambiando hasta el punto de generar la degradación de los pastizales y amenazando su estructura y función, además de los productos que estos brindan.

Por eso es necesario implementar medidas más agresivas para detener y evitar mayores pérdidas de los productos y servicios que brindan los pastizales; al respecto, Jurado *et al.* (2021) consideran que también se ocasiona una interrupción con los servicios ambientales como captura de carbono, producción de carne y recarga a los mantos freáticos, por mencionar algunos ejemplos de los más importantes, visto de esta manera se generan cambios en la estructura y función de los pastizales limitando los recursos que brinda; incluso Vásquez *et al.* (2010) sugieren que existen muchas formas en las que las plantas invasoras llegan a establecerse, pero las principales se atribuyen a factores del ecosistema como las perturbaciones, cambios globales y la fragmentación de la tierra.

Gutiérrez *et al.* (1995) integran otras variables, como son la agricultura y la ganadería, actividades principales del norte de México y la causa innegable del deterioro de los pastizales para las regiones áridas y semiáridas por el potencial y el espacio que representa en nuestro país, ocurriendo cambios en el uso del suelo y con ello una interrupción en los productos y servicios, así como la estructura y función del ecosistema de pastizal influyendo en la disminución de diversidad y riqueza de especies nativas.

En el manejo de pastizales se integra dos componentes muy importantes como son el cuidado de la relación que existe en el sistema suelo-vegetación y el otro componente es el tener una tendencia de mejora en la producción de los productos que son consumibles y que se obtienen a partir de los pastizales como son las carnes, madera, vida silvestre, agua, aire, captura de carbono, fibras (Holecheck *et al.*, 1989).

Definición de Rehabilitación de Pastizales

Autores como Jurado *et al.* (2021) consideran que la rehabilitación de los pastizales surge como una herramienta que permite aminorar el deterioro de los pastizales junto con otras áreas degradadas y a partir de ahí corregir las acciones mal planificadas y formular ideas para llevar los pastizales a la normalización de sus componentes y procesos, mediante diferentes técnicas ecológicas o mecánicas que actualmente se siguen haciendo, como las quemas prescritas, ajuste de carga animal, uso de herbicidas, uso de maquinaria pesada para resiembra de zacates nativos, entre otros métodos; en tanto Higgs (1997) define la rehabilitación como un proceso en el cual se busca innovar y mantener una buena salud dentro de los diferentes tipos de ecosistemas, esto se verá influido a través de signos vitales que ayudarán a interpretar si las acciones implementadas están siendo lo suficientemente eficaces; derivado de lo anterior, Padilla y Sardiñas (2009) comentan que los pastizales se encuentran en deterioro cuando las especies de plantas deseables que la componen principalmente han perdido su vigor y su capacidad productiva por unidad de área y por animal, dando así lugar a áreas despobladas desplazando a las especies deseables y

las especies indeseables van en aumento, aunque contienen baja producción y valores forrajeros que no son los aptos para la ganadería extensiva ni interés del productor.

Principales Técnicas de la Rehabilitación de Pastizales

Controles Mecánicos

Cox (1995) menciona que el control mecánico es pieza importante en la rehabilitación de los pastizales y mediante el uso de implementos o maquinaria ayuda a remover el suelo, además de que se puede reducir la competencia entre zacates indeseables y deseables para así tener una nueva estructura de zacates, además se promueve la infiltración y de eso mismo deriva disminuir la escorrentía aumentando en gran medida la incorporación de materia orgánica al suelo; Monteiro y Santos (2022) consideran que los métodos mecánicos para el control de especies indeseables representan un gran desafío y requiere de estrategias para su control, este método se encuentra asociado a la labranza y que se considera una herramienta clave para el control de especies de plantas indeseables para su erradicación o control, además de traer otros beneficios como la incorporación de materia orgánica al suelo y nutrimentos.

Otros autores como Adema *et al.* (2004) mencionan también que el control mecánico es una técnica económica dentro de la rehabilitación para la eliminación de especies invasoras y su vez esta técnica no se considera muy contaminante para el ambiente, causa una perturbación en el banco de semillas, estimulándose la presencia de plantas con valor forrajero deseable en los pastizales, aunque el área se perturba de manera significativa.

Controles Ecológicos

DiTomaso *et al.* (2010) describen que el éxito de los métodos de control se limita a una serie de factores que incluye el uso de animales en pastoreo, tiempo adecuado para su implementación, restricciones al uso de químicos, topografía, condiciones climáticas y, por último, pero no menos importante, los costos de las

diferentes técnicas de control que deben ser contempladas al realizar cualquier acción dentro de un plan de manejo.

El fuego debe integrarse a un plan de manejo de pastizales con el objetivo de mejorar la calidad, gustocidad y disponibilidad del forraje, asimismo, su aplicación permite eliminar el material vegetal del año actual o de años anteriores, permitiendo un mejor crecimiento de los rebrotes y, controlar las plantas no deseadas de manera efectiva (Stubbenieck *et al.*, 2007). El fuego, siempre ha desempeñado un papel crucial y determinante en el mantenimiento de los ecosistemas de pastizal a lo largo del tiempo, tanto así que sus efectos trascienden más allá de lo visual, ya que están influenciados por su frecuencia, intensidad y estacionalidad, aunque hay que tener en cuenta que las quemas prescritas son fundamentales para el control efectivo de especies de plantas (DiTomaso *et al.*, 2010); Myers (2006) explica que las quemas prescritas se llevan a cabo conforme a un plan técnico que contempla y está influenciado por condiciones climáticas, topográficas y del combustible, cuyos planes incluyen objetivos específicos para favorecer la restauración de los tipos de ecosistemas deseados, buscando alcanzar los resultados óptimos.

Altesor *et al.* (2005) enfatizan que el pastoreo constituye una forma de perturbación sumamente drástica que ocasiona cambios significativos en la estructura y función de la comunidad de plantas. Esta acción impacta directamente en el flujo de energía y el ciclo de nutrientes, a través de acciones como el pisoteo, la deposición de excrementos y la orina; mientras que Palomo y Savory (2020) argumentan que los sistemas de pastoreo impactan de manera contundente en la distribución y presencia de especies vegetales, aumentando o disminuyendo la riqueza de especies, esto a partir del tiempo y la temporada en la que los animales perduren consumiendo y pisoteando el área.

Rush y Skarpe (2009) también plantean que el pastoreo ejerce una influencia directa en la disponibilidad de luz y la temperatura en la superficie del suelo, lo cual afecta la germinación de semillas, así como el rebrote de manera significativa, aunque Hickman *et al.* (2004) integran dos componentes claves que influyen en el pastoreo que son el sistema de pastoreo y la densidad del ganado

(unidades animal por unidad de área), donde destaca que el sistema de pastoreo tiene efectos en el paisaje, mientras que la densidad animal tiene impactos físicos sobre suelo, el agua y la planta.

Control con Herbicidas

Wigley *et al.* (2002) enfatizan que el uso de herbicidas representa una opción rentable para los administradores de tierras, si es comparado con el uso del fuego o cualquier otra técnica de restauración para los objetivos que persigue, como es el manipular los componentes de las comunidades de plantas y por supuesto para mejorar el hábitat de la vida silvestre, aunque en los resultados finales a veces se difiere, el uso de herbicidas representan una mejor opción; mientras que Wagner *et al.* (2004) concluyen que el uso de herbicidas correponderan a los objetivos que se buscan, como es el alterar la composición y estructura de la comunidad de las plantas o incluso mejorar el hábitat de la fauna silvestre, para lo cual representa una oportunidad viable.

Actualmente se plantea el desarrollo de nuevas estrategias que intenten limitar los impactos de las plantas invasoras sobre los pastizales y el marcar como una nueva sinergia con la industria de los herbicidas para el desarrollo de productos químicos específicos aplicados a los pastizales para combatir esta creciente amenaza (Vásquez *et al.*, 2010). Spaeth *et al.* (2013) señalan que la conservación debe ser integral, tomando en consideración las condiciones en donde se llevarán a cabo las actividades, las cuales deben ser adaptativas a nivel local, en base a una buena planificación para brindar información y asistencia oportuna a los propietarios de las tierras y lograr así los objetivos que son un ecosistema de pastizal saludable, reforzando el conocimiento en base al éxito y fracasos obtenidos con anterioridad. En el mismo sentido, Monteiro y Santos (2022) han justificado que el uso de herbicidas se encuentran como uno de los principales métodos de control en la actualidad para el combate y control de especies de plantas no deseables y su uso no representa un gran gasto, además de que no se requiere de mucho esfuerzo humano. En tanto que DiTomaso *et al.* (2010) comentan que los herbicidas se clasifican de acuerdo a su modo de acción,

selectividad y lugar de aplicación; Vallentine (2004) sugiere que los herbicidas constituyen una solución eficaz y una herramienta necesaria para el control de especies de plantas invasoras sobre los pastizales, siendo un medio para la eliminación de plantas no deseadas en tierras de interés.

Clasificación de los Herbicidas

Se puede interpretar que los herbicidas se clasifican de acuerdo a su época de aplicación, selectividad, tipo de acción, familia química y modo de acción, a continuación, se presenta una descripción más específica de esta clasificación (Rosales y Esqueda., 2020).

Época de aplicación. Los herbicidas pre emergentes, tienen la característica de que su aplicación es de manera posterior a la siembra, pero antes de la emergencia de la maleza y su acción es mucho más eficaz cuando en el suelo se encuentra humedad suficiente y es capaz de eliminar aquellas especies no deseadas después del germinado, evitando la competencia natural (Rosales y Esqueda, 2020); en tanto Vats (2015), concluye que los herbicidas pre emergentes son los que son aplicados sobre la superficie antes de la emergencia de la plantas de malezas impidiendo su crecimiento; Rosales y Sánchez (2006) catalogan a la atrazina como ejemplo de un herbicida pre emergente.

Por otro lado, los herbicidas post emergentes, son empleados posteriores a la emergencia de las especies de plantas indeseables, en los inicios de estado de desarrollo de la misma planta, siendo muy susceptibles a la aplicación de estos herbicidas (Rosales y Esqueda, 2020); sin embargo, Rosales y Sánchez. (2006) consideran criterios que resultan fundamentales en la efectividad de estos herbicidas postemergentes, como son las especies de maleza presentes, condiciones del clima, humedad y, presencia o ausencia de lluvias; aunque Murillo (2018) subraya que la aplicación de estos herbicidas debe ser muy cuidadosa, evitando el contacto con aquellas especies que no se pretenden erradicar.

En cuanto a los herbicidas selectivos, estos actúan y eliminan algunas plantas sin dañar a otras sin importar la época o las formas de aplicación (Rosales y

Esqueda, 2020); en tanto Labrada *et al.* (1996) mencionan que los herbicidas selectivos para el control de especies indeseables pueden ser empleados para toda el área cultivable con el mínimo efecto sobre las especies de importancia agrícola u otras, mientras que Vallentine (2004) comenta que los herbicidas selectivos son implementados para eliminar plantas en particular, sobre todo si se lleva a cabo en áreas de pastizal.

En contraste y, de acuerdo con la información de CEDRSSA (2020), los herbicidas no selectivos son ampliamente utilizados en la actualidad para eliminar todo tipo de vegetación incluyendo las especies con grado de importancia para el productor, excepto aquellas plantas que han sido genéticamente modificadas y se han vuelto resistentes al Glifosato; de igual forma, Vats (2015) destaca a los herbicidas no selectivos como productos químicos diseñados para afectar a cualquier especie de plantas con la que tienen contacto. Su aplicación se limita en ciertas actividades debido al gran daño que puede llegar a ocasionar, un ejemplo notable de este tipo de herbicida es nuevamente, el Glifosato; como complemento, Vallentine (2004) argumenta que los herbicidas no selectivos son más conocidos como herbicidas generales y claro que su efecto es contundente y elimina a toda especie vegetal.

Cuando nos referimos al tipo de acción, los herbicidas de contacto son aplicados únicamente a las especies indeseables, eliminando por completo el follaje de la planta con la que tiene contacto debido a que actúa directamente sobre los tejidos de la plantas haciendo que los efectos sean bastante rápidos y notables sobre la planta, aunque para ello su aspersion debe ser precisa para no afectar especies vegetales de importancia (Sala, 2008); de acuerdo a Murillo (2018) otro aspecto fundamental a considerar en estos herbicidas es que no tienen un transporte rápido dentro de la planta y, debido a su forma de acción, no requieren de un desplazamiento.

Los herbicidas sistémicos son los que se aplican al suelo o al follaje directamente, debido a que estos herbicidas si cuentan con la capacidad de ser absorbidos y transportados hacia cualquier parte de la planta y es por ellos que sus efectos son mucho más notables a un largo plazo (Rosales y Sánchez., 2006).

Al referirse a la familia química, como criterio de clasificación, CEDRSSA (2020); Rosales y Esqueda (2020) destacan que esta se rige a partir de la composición de distintos ingredientes activos empleados para su formulación como herbicidas, donde aquellos pertenecientes a alguna familia química por lo general sus propiedades químicas suelen ser similares, las principales familias químicas de los herbicidas son: triazinas, dinotroanilinas, fenoxicarboxilatos, cloroacetamidas, ciclohexanodionas, sulfonilureas y piridinius.

Finalmente, de acuerdo al modo de acción, Pitty (2018); Rosales y Esqueda (2020) mencionan que el modo y mecanismo de acción, aunque puedan ser usados como sinónimos, tienen ciertas diferencias; el modo de acción son todas aquellas reacciones de eventos que se llevan a cabo dentro de la planta a partir del primer contacto que tiene con el herbicida y este interfiere con el proceso metabólico de la planta hasta cumplir el objetivo del propio herbicida que es erradicar a dicha planta, mientras que el mecanismo de acción en un herbicida se interpreta como aquella ruta metabólica específica que está en la planta y en la que el herbicida interactúa hasta erradicarla.

Los herbicidas se clasifican en siete modos de acción que son:

- Reguladores de crecimiento
- Inhibidores de la síntesis de aminoácidos
- Inhibidores de la síntesis de lípidos
- Inhibidores del crecimiento de plántulas
- Inhibidores de la fotosíntesis
- Destruidores de membranas celulares
- Inhibidores de pigmentos

Marco Legal en el Uso de Herbicidas

Actualmente existen normas que regulan el uso de los herbicidas y más en específico el Glifosato, estas normas sirven de soporte para dar y hacer valer la Ley referente al tema y tener un control más estricto en la importación y uso de los herbicidas en el país, a continuación se mencionan normas mexicanas generales que involucran a los herbicidas y están dentro de la clasificación de los

plaguicidas, como primer ejemplo se encuentra la NOM-232-SSA1 (Secretaría de Salud, 2009) que tiene por objetivo establecer requisitos y dar pie a las indicaciones con respecto a los plaguicidas que van desde el envase hasta el etiquetado, cumpliendo con las características a fin de reducir riesgos que expongan la salud e integridad de quienes están en constante contacto con estas sustancias químicas, de igual forma y por medio de la NOM-082-SAG-FITO/SSA1 (SAGARPA, 2017) se dan a conocer los lineamientos para el esclarecimiento y transparencia en lo que se refiere a los límites máximos de residuos de plaguicidas de uso agrícola. El 31 de diciembre del año 2020 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación, mediante un Decreto, la sustitución gradual que va desde el uso hasta la promoción e importación del Glifosato y que incluye de igual forma aquellos agroquímicos en los cuales se encuentre como ingrediente activo. Además, el Decreto es creado también como una alternativa para la implementación de buenas prácticas agrícolas que es un proceso que va en dirección hacia herbicidas más amigables con el medio ambiente teniendo alcance nacional e internacional, otro aspecto importante del porqué de este Decreto fue mantener la producción agroalimentaria del país y que a su vez no represente algún peligro para la salud humana.

Lista de Pesticidas de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) en una de sus publicaciones más recientes sobre la clasificación de los plaguicidas, destaca que el Glifosato se encuentra clasificado dentro de la clase III, correspondiente a ingredientes activos de grado técnico poco peligrosos y, se utiliza principalmente como herbicida. Asimismo, el Imazapyr es considerado una sal de isopropilamina de Imazapyr y ácido nicotínico, pertenecientes al grupo de las imidazolinonas, también se encuentra en esta clasificación, aunque se cataloga como un ingrediente activo de grado técnico con pocas probabilidades de presentar un riesgo a la salud humana y medio ambiente, su principal aplicación es como herbicida. Se mencionan estos ejemplos ya que son dos de los ingredientes

activos más efectivos para el control de zacates (Paiola *et al.*, 2020) y, serán abordados en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Transición hacia Herbicidas Amigables con el Medio Ambiente

Vallentine (2004) menciona que los herbicidas que se encuentran aprobados para su utilización y aplicación en los pastizales no representan un riesgo o peligro a la ganadería, vida silvestre y personas que residen alrededor, ni siquiera de quien lo aplica, si se siguen las indicaciones adecuadas para su correcta aplicación.

Hasan *et al.* (2021) citan que los bio-herbicidas han demostrado un avance significativo en el combate frente a especies no deseables en cualquier áreas de interés, además destacan que son productos derivados de un origen natural quienes actúan contra las especies indeseables, sin embargo el aplicar estos bio-herbicidas no es tan sencillo ya que influyen muchos elementos que afecta la eficacia y función del mismo, es por ello que hay que considerar las diferentes etapas fenológicas de la planta y hasta el tipo de suelo; así mismo, Kremer (2005) sugiere que la importancia del uso de los bio-herbicidas radica en el aumento de su demanda debido a la gran presión social y factores ambientales que provocan que su participación sea cada vez mayor en cualquier tipo de actividad; para Marwat *et al.* (2008) esto representa una oportunidad de estrategia viable y ecológica frente a herbicidas sintéticos en el manejo de especies indeseables.

Importancia Social, Ecológica y Económica de los Herbicidas

Orgánicos

Los herbicidas de base orgánica son agentes de control de especies indeseables con la capacidad de causar un daño irreversible dentro de la planta, afectando su fisiología y metabolismo por un tiempo determinado, con el objetivo de eliminar o reducir su crecimiento poblacional (Morales, 2003); Méndez (2019) destaca los avances obtenidos en materia de herbicidas principalmente los cuales anteriormente habían tenido un impacto muy agresivo con el medio ambiente y con la salud; de igual manera, Aguilar (2023) comenta que en los últimos años se ha intensificado la importancia sobre la utilización de herbicidas orgánicos en

diversas actividades los que han representado una opción viable frente a los herbicidas convencionales, tales como el Glifosato y tienen un rol muy importante, visto desde el lado social, para las personas que lo aplican y, el medio ambiente, debido a los materiales con los que es usado y por los costos que además implica. Es importante tener en cuenta que, en sus primeros años en el mercado, los herbicidas orgánicos representaban un costo no viable para aquellos que buscaban acceder a este tipo de producto, además, existía incertidumbre sobre su efectividad, sin embargo, con el tiempo, muchos expertos han confirmado la veracidad del producto y con el apoyo de la tecnología, se han buscado formas de hacer económicamente viable este tipo de herbicidas y, se ha logrado, siendo una herramienta bastante útil en el control de especies indeseables de todo tipo.

Funcionamiento y Control de Zacates por Diversos Métodos

Mecanismos de Dispersión de *Amelichloa clandestina*

Amelichloa clandestina es una especie que produce una gran cantidad de semillas tanto en la parte aérea que es la inflorescencia, como en la base, debido a que es una planta cleistógama (Juanes *et al.*, 2023). Las semillas de esta especie son altamente viables y se propagan rápidamente, lo que provoca inestabilidad en la diversidad y riqueza de especies nativas (Juanes *et al.*, 2023), por otro lado, Arévalo *et al.* (2021) mencionan que, a pesar de emplear diversas técnicas de restauración para su control, *A. clandestina* seguía teniendo una presencia significativa, esto sugiere que *A. clandestina* es una especie muy rústica, por lo que es necesario implementar un manejo adecuado para lograr un control más efectivo.

Diferencias en los Metabolismos Respiratorios para Gramíneas C3 y C4

Las gramíneas C3 y C4 son fundamentales para el funcionamiento del ecosistema debido a su participación en procesos clave como el ciclo del agua, la incorporación de materia orgánica al suelo y la captura de carbono (Pau *et al.*, 2013), aunque de acuerdo a Barbehenn *et al.* (2004) destacan que las gramíneas

C3 son más abundantes y comunes en zonas altas y frías, por lo que se consideran de estación fría, en contraste, las plantas C4 predominan en climas cálidos y, por ello, se clasifican como de estación cálida, además, las gramíneas C3 tienen un valor nutritivo significativamente más alto que las gramíneas C4; en tanto, Morales (2003) atribuye a que los zacates C4 tienen mayor presencia en espacio y número en estaciones cálidas, además de caracterizarse por ser de baja digestibilidad.

Pozo (2002) también presenta diferencias en estos dos grandes grupos de plantas sobre su forma de comportamientos fisiológicos, destacando que las plantas C4 presentan una mayor superioridad en el ámbito fisiológico comparado con las plantas C3 derivado de una mayor y mejor eficiencia en la conversión de energía lumínica y, por supuesto en una mejor eficiencia en la utilización del agua en plantas C4, además que su tolerancia a las altas temperaturas le permite tener una ventaja sobre las gramíneas C3 en ese aspecto.

Ejemplos de Proyectos de Control de Zacates con Herbicidas

Respecto a distintos trabajos que se han llevado a cabo en torno al uso de herbicidas para control de zacates como especies indeseables, en un experimento implementado en el estado de Florida, para controlar la hierba marina (*Hymenachne amplexicaulis*, Rudge) Nees), empleando herbicidas tales como Glifosato e Imazapyr, cabe destacar que esta especie tiene una propagación muy fácil y rápida, además de ser muy agresiva, pero al final del experimento, se obtuvieron buenos resultados para su control, aunque se destacó que la aplicación de los herbicidas debe ser continua para lograr un mejor resultado (Sellers *et al.*, 2008). Valaie *et al.* (2012) llevaron a cabo otro experimento con control químico en el sur de Irán para evaluar el efecto de los herbicidas sobre *Bromus tectorum*, *Phalaris minor* y *Setaria viridis*, cuyos resultados mostraron que sólo un tipo de herbicida de los cinco evaluados produjo resultados significativos; en tanto, el combate al *Arundo donax*, más conocido como carrizo, fue el objeto de estudio por parte de Briggs *et al.* (2021) debido a su impacto negativo y su capacidad para desplazar especies de áreas ribereñas;

en este experimento se emplearon dos técnicas de restauración: el fuego y el uso de herbicidas (Imazapyr), ambas técnicas tuvieron efectos importantes, ya que se observó un comportamiento de expansión en otras especies leñosas nativas importantes en las áreas donde se llevó a cabo algún tipo de manejo, en comparación con las áreas sin ningún tipo de manejo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

El estudio se efectuó en el Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles dentro de los límites del municipio de Saltillo, Coahuila (Figura 1), en apego a lo ya mencionado y con base de apoyo consultando la carta topográfica Huachichil con clave G14C44 y con escala 1: 50,000 elaborada por el mismo Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2004), como referencia del rancho, se tomó como punto medio, el casco del predio con coordenadas $25^{\circ}06'30''$ latitud Norte y $100^{\circ}59'18''$ longitud Oeste, con una altitud aproximada de 2,150 metros sobre el nivel del mar.

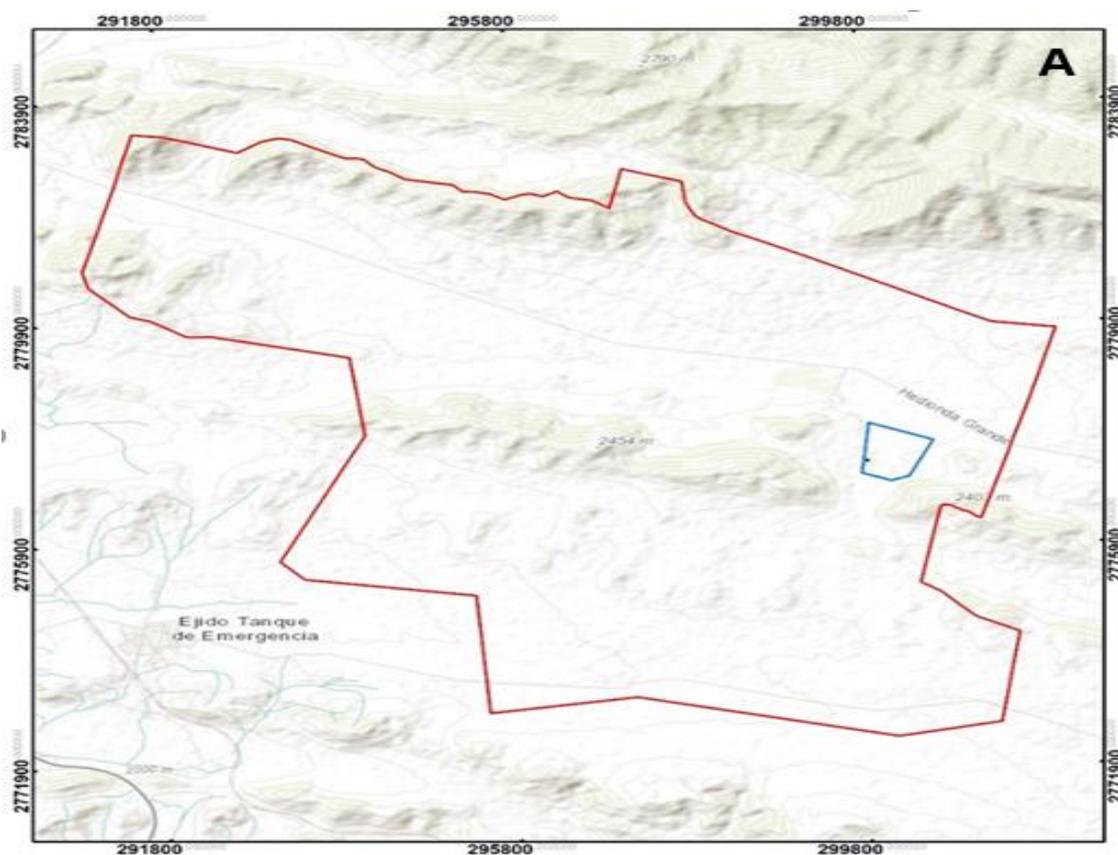


Figura 1. Localización del área de estudio.

Clima

De acuerdo al sistema climático de Köppen y modificado por Enriqueta García (1964) y con la actualización de Peel *et al.* (2007) la fórmula climática es BSo kw (e') clima seco a árido (Bs), uno de los subtipos más secos corresponden en este grupo a Bso, la letra k de la fórmula se refiere al régimen de temperatura, lo que significa que el clima es templado con verano cálido, pero a su vez extremoso (e') además de tener oscilaciones anuales entre los 7°C y 14°C, con un régimen de lluvias en el cual la letra w representa la existencia de dos temporales de lluvia durante todo el año, el primer temporal corresponde de mayo a octubre lo que representa el 86.7 por ciento del total anual y el segundo temporal, se presenta de noviembre a abril, con lluvias ligeras y rocío representando el 13.3 por ciento de la precipitación total. De acuerdo a los registros del servicio meteorológico de la UAAAN, la cantidad promedio de lluvia es de 299 mm, distribuidos durante los meses de mayo a septiembre, mientras que la intensidad de la lluvia se clasifica de baja a ligera, a causa de que no existe registros de grandes volúmenes de lluvia por unidad de tiempo, por lo general son de corta duración en un rango de 15-30 minutos (Pérez, 2012).

De acuerdo a registros locales en un período de 10 años se tiene como dato estimado una temperatura media anual de 14.3° C, destacando que la temperatura media mensual máxima registrada es de 20.9° C, en el mes de mayo de 1980 y la temperatura media mensual mínima registrada aún se encuentra sin determinar, pero se tienen otros registros locales que indican que ha sido de 0.9° C, en el mes de enero de 1979, mientras que la evaporación media anual ha sido de 1786 mm, de acuerdo a datos de registros obtenidos entre los años de 1979 y 1983 (Pérez, 2012).

Hidrología

En el área que corresponde al rancho Los Ángeles no existen corrientes superficiales permanentes, sólo se aprecian arroyos intermitentes de baja escorrentía y que se integran suavemente a los valles y nunca entroncan con

arroyos de órdenes superiores, la profundidad del nivel estático regional del acuífero comprende de los 80 a los 200 metros (CONAGUA, 2023) aunque debido a la escasez y las necesidades que se tienen de ésta, puede ser aprovechable, pero a un costo muy alto (Vásquez, 1973). De acuerdo al INEGI (1983) y CONAGUA (2023) documentan que el área del rancho corresponde a la región hidrológica El Salado (Núm. 37) siendo la de menor extensión en el estado de Coahuila, aunque representa una de las vertientes interiores más importantes en el país, sin embargo, aunque pertenece a la región, esta se subdivide en una subcuenca denominada C, entonces el área del rancho pertenece a la subcuenca 37-C, o también denominada sierra de Rodríguez, cuenta con una superficie dentro del estado de 3,372.10 km², esta cuenca es la de mayor extensión en toda la región. Se tienen estimaciones para esta cuenca en cuanto a escurrimientos superficiales que corresponden a menos de 10 mm al año. Las ausencias de corrientes aunado a las bajas precipitaciones son en parte causantes de que en dicha región no exista obras de almacenamiento de agua de consideración.

Geología

El área del rancho se encuentra ubicada en una zona de rocas sedimentarias principalmente denominadas calcáreas, el anticlinal de Carneros representa la estructura geológica principal dentro del rancho, con una dirección que va de Este-Oeste; los sinclinales son aquellas formaciones geológicas de formación más reciente, las cuales se depositan en las depresiones formadas por los anticlinales cubiertas por aluvión (Vásquez, 1973).

En base a la carta geológica del INEGI (1975) la geología del rancho está dominada principalmente por rocas sedimentarias, siendo aquellas conocidas como calizas las que se encuentran en mayor proporción y en mínima proporción aquellas conocidas como conglomerado y caliza lutita, estos tipos de rocas pertenecen a la edad del Cenozoico, del período Cuaternario, mientras que para los suelos, el aluvial está igual, muy presente en el área del rancho.

Edafología

De acuerdo al INEGI (1976) y consultando las cartas edafológicas G14C43-Agua Nueva y G14C44-Huachichil (escala 1:50,000) las áreas del rancho Los Ángeles están compuestas por las unidades de suelo denominadas como: feozem calcárico, castañozem cálcico y en menor proporción el litosol, rendzina y regosol calcárico.

Vegetación

Los tipos de vegetación dominantes para el área de estudio de acuerdo con INEGI (1975) en las cartas sobre el uso del suelo: G14C43-Agua Nueva y G14C44-Huachichil (escala 1:50,000), son el pastizal natural y el pastizal inducido dentro del uso de suelo pecuario y, el bosque caducifolio de pino dentro del uso de suelo forestal; además se identifican asociaciones especiales de vegetación las cuales incluyen al matorral inerme, matorral subinerme, matorral crasi-rosulifolio espinoso, nopalera y chaparral; también se identifican áreas de temporal agrícola.

Otras clasificaciones de la vegetación de México como las de COTECOCA basadas en la productividad del pastizal define de forma análoga la vegetación del rancho Los Ángeles, en siete tipos de vegetación como: pastizal amacollado, matorral desértico rosetófilo, matorral esclerófilo, matorral de sotol (*Dasiliryon* spp) con zacate amacollado, izotal, bosque de pino piñonero (aciculifolio) y pastizal mediano abierto (Díaz, 2013). Algunas de las especies de zacates más representativas del pastizal o zacatal natural incluyen al zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*), zacate navajita azul (*Bouteloua gracilis*), zavate navajita velluda (*Bouteloua hirsuta*), zacate liendrilla anillo (*Muhlenbergia torreyi*), zacate guía (*Hopia obtusa*), zacatón alcalino (*Sporobolus airoides*) y zacate popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*) (Valdés, 2015; Vásquez et al., 2021).

Ubicación del Área del Experimento

El área donde se implementó el experimento corresponde a un terreno de temporal agrícola ubicado en el potrero cuatro (Figura 1), que ha estado en desuso al menos los últimos diez años; durante el tiempo de abandono el zacate picoso se estableció exitosamente, siendo la especie dominante en términos de cobertura y densidad. Se delimitó el área experimental con una superficie de aproximadamente 225 metros cuadrados, (15 x 15 metros) (Figura 2) con cerco eléctrico, donde el tres de julio de 2023, 17 vacas se sometieron a un período de pastoreo de 24 horas, con el objetivo de que se removiera el material vegetal senescente acumulado de zacate picoso y promover crecimiento activo. En el área pastoreada se establecieron cinco tratamientos, con cinco repeticiones de cuatro metros cuadrados cada una (2 x 2 metros), totalizando 20 metros cuadrados por tratamiento.

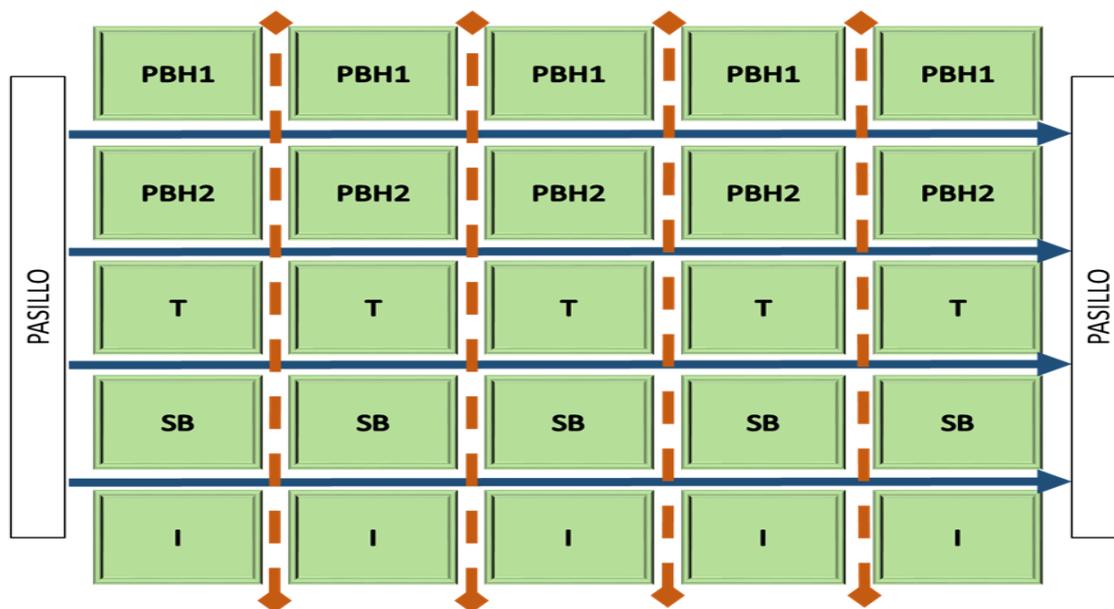


Figura 2. Esquema del área experimental para pruebas con herbicidas sobre zacate picoso.

Manejo del Pastoreo Previo a la Aplicación

Se sometió a pastoreo por bovinos un área de 225 metros cuadrados, con 17 vacas, por un período de tiempo de 24 horas, lo que es equivalente a una

densidad de pastoreo de 755.8 unidades animal (UA) por hectárea, una superficie disponible para pastoreo por vaca de 13.23 m². Previo al inicio del período de pastoreo se estimó la altura promedio del zacate picoso, el único zacate medible dentro del experimento, la cual fue de 61.47 cm con una desviación estándar de 11.94 cm, al final del período de pastoreo se repitió la medición obteniendo una altura promedio del zacate picoso pastoreado de 20.03 cm con una desviación estándar de 5.68 cm, por lo que la utilización, en base a la altura, se estimó en 67.41 por ciento. Lo anterior se llevó a cabo con el objetivo de promover crecimientos nuevos de hojas, que estuvieran disponibles para la absorción de la mezcla de herbicidas a aplicar y, que la aplicación fuera más eficiente tanto en términos de superficie de la planta que recibe la mezcla, como en volumen de la mezcla aplicada.

Descripción de Tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos y el testigo, en dos tratamientos se aplicaron dos prototipos de bio-herbicidas de la empresa GreenCorp®, que son fabricantes y desarrolladores de fórmulas de base orgánica, a petición de la empresa y por encontrarse en etapa de prueba, no se mencionan los ingredientes que constituyen las fórmulas de los prototipos usados; en los otros dos tratamientos se aplicaron productos comerciales de libre venta, como lo fueron SecBios®, el cual contiene un complejo de ingredientes como extracto de plantas alelopáticas, ácidos orgánicos enzimáticos, toxinas de *Puccinia* spp. y Arsenal® que contiene Imazapyr como ingrediente activo, acompañado de sal de isopropilamina de Imazapyr y ácido nicotínico, además pertenecen al grupo de las imidazolinonas. En los cuatro tratamientos se aplicó el ingrediente activo al tres por ciento (30 cm³/litro) y agua en un 97 por ciento. En términos más reales la dosis correcta para cada hectárea corresponde a 1.8 kg de concentrado en cada dosis por hectárea.

En lo relacionado al uso de adherentes para los prototipos de bio-herbicidas se usó un producto orgánico de nombre Kactuz-Ad a menos del uno por ciento (1 cm³/litro), cuya composición está provista de geles solubles de *Opuntia*,

saponinas naturales de Agaváceas, acondicionador y diluyentes orgánicos. Para SecBios se usó Inex-A como surfactante no - iónico con poder de humectación y dispersión, del cual su principal función es hacer más efectiva las aplicaciones de agroquímicos en general. Fue diseñado para asegurar y ampliar la efectividad de los agroquímicos asperjados donde requiera alguna humectación y una amplia cobertura (Hydrocultura, 2024), se adicionó también vinagre (uno por ciento) para modificar el pH. Finalmente, para el Imazapyr se combinó con el surfactante comercial Sunset® que actúa como un adyuvante que fue desarrollado para maximizar la efectividad en la gran mayoría de los herbicidas post-emergentes (Chemotecnica, 2024). Se aplicaron cinco litros de mezcla por cada repetición, es decir 25 litros por tratamiento. Los tratamientos fueron los siguientes:

T1-PBH1(Bio-herbicida 1) GreenCorp®; surfactante: Kactuz-Ad y agua; modo de acción: al contacto; el componente principal altera la fisiología de los tejidos celulares por exceso en la concentración de elementos naturales extraídos de plantas.

T2-PBH2 (Bio-herbicida 2) GreenCorp®; surfactante: Kactuz-Ad y agua; modo de acción: al contacto, el componente principal altera la fisiología de los tejidos celulares por exceso en la concentración de elementos naturales extraídos de plantas.

T3-T, testigo, comportamiento natural de la planta posterior al pastoreo.

T4-SB, producto: SecBios; surfactante: Inex-A + vinagre y agua; modo de acción: sistémico.

T5-IM, producto: Imazapyr; surfactante: Sunset® y agua; modo de acción: sistémico.

Se llevaron a cabo cuatro evaluaciones en un período de 119 días, que incluyó parte de las épocas de verano y otoño. Entre la primera y segunda evaluación (19 de julio y 5 de agosto de 2023) hubo una diferencia de 17 días, esta primera evaluación fue clave para identificar los efectos de los herbicidas aplicados, luego entre la segunda y tercera evaluación (5 de agosto y 21 de agosto de 2023) y, tomando en cuenta el tiempo cero, transcurrieron 33 días, donde los efectos se

segúan notando, posteriormente hacia la cuarta evaluación, hubo un lapso de tiempo significativo en el cual ya habían transcurrido 119 días, con presencia de lluvias cuando se realizó dicha evaluación en el cual se visualizaron cambios drásticos.

Variables a Evaluar

Estructura de la Planta

Durante las cuatro evaluaciones se midió el largo de la hoja y de la raíz, en centímetros, esto se hizo mediante la colecta de cinco macollos (uno por repetición) para cada tratamiento, incluido el testigo. Para cada macollo se midieron tres sub-muestras para hoja y raíz, totalizando 15 sub-muestras por tratamiento y por evaluación durante todo el experimento.

Vigor de las Hojas

Para el caso de las hojas, se midió otra variable que fue hojas secas y hojas verdes, para ello se contaron todas las hojas de cada macollo y, a partir de ahí se separaron y asignaron a la categoría a la que pertenecían, de igual manera esto consistía en tres repeticiones para cada tratamiento y así se fue realizando durante las siguientes evaluaciones.

El vigor de las hojas es un aspecto clave que debía incluirse y medirse. Para ello, se clasificaron las hojas de los macollos de las plantas en tres categorías: V1, V2 y V3 (Tabla 1) (Figura 3). El proceso consistió en examinar cada hoja del macollo, observando si estaba completamente verde desde la base hasta el ápice. Luego, se contaban individualmente las hojas y se les asignaba un valor porcentual, basado en una evaluación visual. Si una hoja estaba completamente verde, se asignaba un 100 por ciento de salud. En el caso de que sólo una parte estuviera verde, como la mitad o un cuarto de la hoja, se estimaba el porcentaje correspondiente. Por ejemplo, si la mitad de la hoja estaba verde, se le asignaba un 50 por ciento, indicando que el 50 por ciento de la hoja estaba sana, mientras que el otro 50 por ciento reflejaba algún tipo de daño.

Tabla 1. Clasificación del vigor de las hojas de zacate picoso, posterior a la aplicación de tratamientos con herbicidas.

Escala del vigor	Descripción
V1	Entre el 66% (dos terceras partes) y el 100% de la hoja, presentan una tonalidad verde, que denota un buen estado de salud.
V2	Entre dos terceras partes de la hoja y la mitad, muestran tonalidades opacas, menos verdor, secciones marchitas y en general una notoria disminución en el vigor.
V3	Una tercera parte de la hoja, presenta un color verde opaco y el resto está marchita; en algunos casos el 100% de la hoja ha perdido su funcionalidad fotosintética.

Tal como se ve en la Figura 3, se fueron contabilizando cada una de las hojas y, clasificándolas en hojas secas y hojas verdes, donde las hojas verdes fueron categorizándose de acuerdo al vigor ya antes mencionado.



Figura 3. Muestras de zacate con diferentes grados de vigor a nivel planta.

La evaluación de la efectividad de los herbicidas no se llevó a cabo de manera visual, como recomienda la Sociedad Europea de la Ciencia de la Maleza (Tabla 2), sino que se realizó de forma cuantitativa, basado en el vigor de la hoja, el cual implicó considerar la cantidad de hojas verdes, hojas secas y el vigor de las hojas para asignar un valor específico a cada tratamiento y cuantificar las diferencias durante todas las fases del experimento.

Este enfoque cuantitativo proporciona una evaluación más detallada y objetiva de la efectividad de los herbicidas, permitiendo una comparación precisa entre los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo, previniendo subjetividad derivada de la evaluación visual producto de la poca experiencia.

Tabla 2. Escala propuesta por la Sociedad Europea de la Ciencia de la Maleza (SECM).

Valor puntual	Efecto sobre la maleza
2	Muy buen control
3	Buen control
4	Suficiente en la practica
5	Control medio
6	Regular
7	Pobre
8	Muy pobre control
9	Sin efecto

Fuente: Tomado de Pérez *et al.* (2014).

Análisis de la Información

Para el análisis del comportamiento de cada tratamiento a través del tiempo y, la comparación del efecto de cada herbicida en cada momento o tiempo de evaluación, se utilizó un diseño de bloques no al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Primero se verificó la normalidad de los datos por medio de una prueba de Shapiro-Wilk que es la más adecuada para grupos de datos menores a 50 valores y, para verificar la igualdad de varianzas se confirmó a través de una prueba de Levene. En los casos en los que la distribución de los datos mostró una distribución normal y se cumplió además la condición de homogeneidad de varianzas, se aplicó un análisis de varianza de una vía, con valor de alpha al 0.05 y una prueba (post hoc) de Tukey para detectar diferencias estadísticas; para los casos en los que no se cumplió la distribución normal, se aplicó el método no paramétrico de Kruskal-Wallis y un post hoc de contrastes, entre los tratamientos a prueba.

IV. RESULTADOS

Desarrollo de Hojas

Tratamiento Testigo

En todos los tratamientos el promedio de la longitud de la hoja inmediatamente después del pastoreo fue de 20 cm. En T3-T al momento de la aplicación (t0) el incremento de la hoja había sido de 12 cm (32.03 ± 6.55 cm), al tiempo de la primera evaluación la disminución fue de 3.56 cm (Figura 4), sin embargo, para este tratamiento dicha disminución debe ser atribuida a las condiciones naturales prevaecientes durante el período de estudio al ser el testigo. Entre el tiempo inicial (t0) y el tiempo final (t3) hubo diferencias significativas en la longitud de las hojas ($P < 0.05$), no así, entre el período del tiempo uno y las últimas dos evaluaciones ($P > 0.05$).



Figura 4. Variabilidad temporal de la altura de hojas de *A. clandestina* en T3-T.

Tratamientos Relacionados a los Prototipos de Bio-herbicidas

La respuesta del crecimiento de las hojas en T1-PHB1 y T2-PHB2 fue negativa ante la aplicación de los prototipos de bio-herbicidas (Figura 5), es decir, en

ambos casos se redujo el crecimiento, siendo más ligero en PHB1, el cual fue de 28.89 cm (D.S. = 9.02 cm) en el tiempo cero, hasta 19.15 cm (D.S.= 6.56 cm) en el tiempo tres, lo que representó una diferencia de 9.74 cm entre el inicio y el final del período de evaluación, sin embargo, la disminución de la longitud fue sostenida y significativamente diferente ($P < 0.05$); lo que no ocurrió para PHB2, donde al final del período de evaluación (t_2) la disminución de hojas se detuvo, con un ligero aumento dentro de un período de 86 días (del t_2 al t_3), como se muestra en la (Figura 5), en el tiempo cero el promedio de hojas fue de 40.25 cm (D.S. = 9.44 cm), disminuyó en el tiempo uno y continuó disminuyendo en el tiempo dos, alcanzando un promedio de 26.48 cm (D.S. = 8.22 cm), sin embargo, en el tiempo tres, se recuperó, finalizando en 28.73 cm (D.S. = 9.01 cm) y una diferencia de 11.52 cm entre el inicio y el final del período de evaluación, por lo que registró diferencias significativas ($P < 0.05$), que pueden ser más atribuibles a la altura inicial de la hoja que al efecto del prototipo.

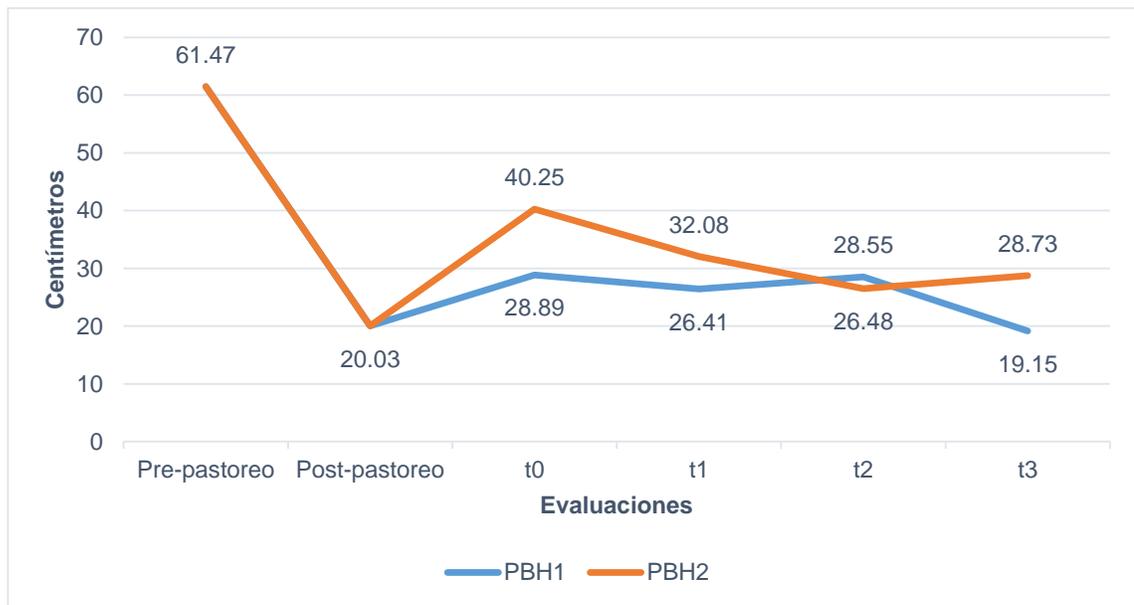


Figura 5. Variabilidad temporal de la altura de hojas de *A. clandestina* en PBH1 y PBH2.

Tratamientos Relacionados a Herbicidas Comerciales

La respuesta de las hojas en T4-SB y T5-IM fue muy dinámica (Figura 6), para T4-SB inició en el tiempo cero con un promedio de hojas de 31.68 cm (D.S. = 3.68 cm), para la segunda evaluación prácticamente no había presentado crecimiento (31.89 cm; D.S. = 6.37 cm), el desarrollo de la hoja en el resto del período experimental prácticamente se detuvo y aumentó severamente el estado de marchitez como resultado de la aplicación, disminuyendo hasta 21.23 cm (D.S. = 8.34 cm) y una diferencia de 10.45 cm entre el inicio y el final del experimento. La forma en la que se comportó este tratamiento con aplicación de T4-SB muestra el impacto de este herbicida de base orgánica y la tendencia de desarrollo de la hoja a la baja durante casi todas las evaluaciones hechas. Respecto al efecto de T5-IM, la hoja en el tiempo cero arrojó un promedio de 29.63 cm (D.S. = 8.30) en la primera evaluación y para el tiempo tres finalizó en 13.95 cm (D.S. = 5.22 cm) teniendo una disminución muy importante, la diferencia que se presentó fue de 15.98 cm y fue una de las mayores diferencias en la que se contempló la hoja en todos los tratamientos.

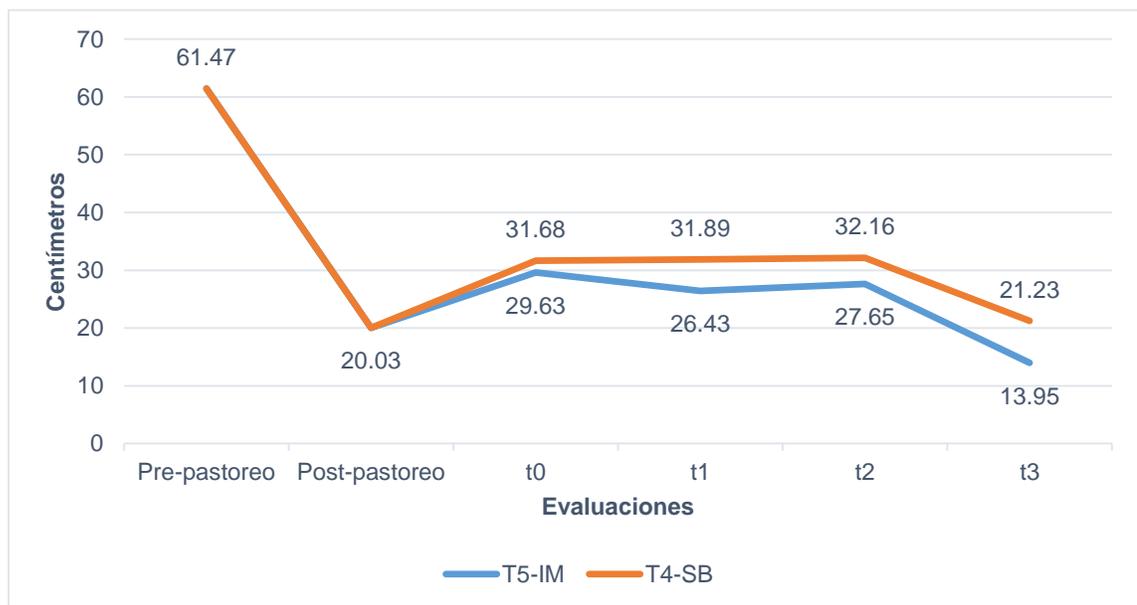


Figura 6. Variabilidad temporal de la altura de hojas de *A. clandestina* en T4-SB y T5-IM.

Desarrollo de Raíces

Tratamiento Testigo

Al inicio de la evaluación (tiempo cero), el promedio de longitud de las raíces fue de 15.39 cm (D.S. = 4.61 cm), aunque en el tiempo uno se produjo una disminución drástica, con un promedio de 6.97 cm (D.S. = 2.25 cm), esta se recuperó en el tiempo dos, alcanzando un promedio de 11.91 cm (D.S. = 5.66 cm). Sin embargo, en el tiempo tres, el promedio volvió a descender a 9.28 cm (D.S. = 3.63 cm) y una diferencia entre el inicio y el final de 6.11 cm. Se identificaron diferencias significativas en los siguientes intervalos de tiempo: desde el tiempo cero hasta el tiempo uno (17 días), desde el tiempo cero hasta el tiempo dos (33 días), desde el tiempo cero hasta el tiempo tres (119 días) y desde el tiempo uno hasta el tiempo dos (16 días). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre el tiempo uno y el tiempo tres (102 días), ni entre el tiempo dos y el tiempo tres (86 días) (Figura 7).

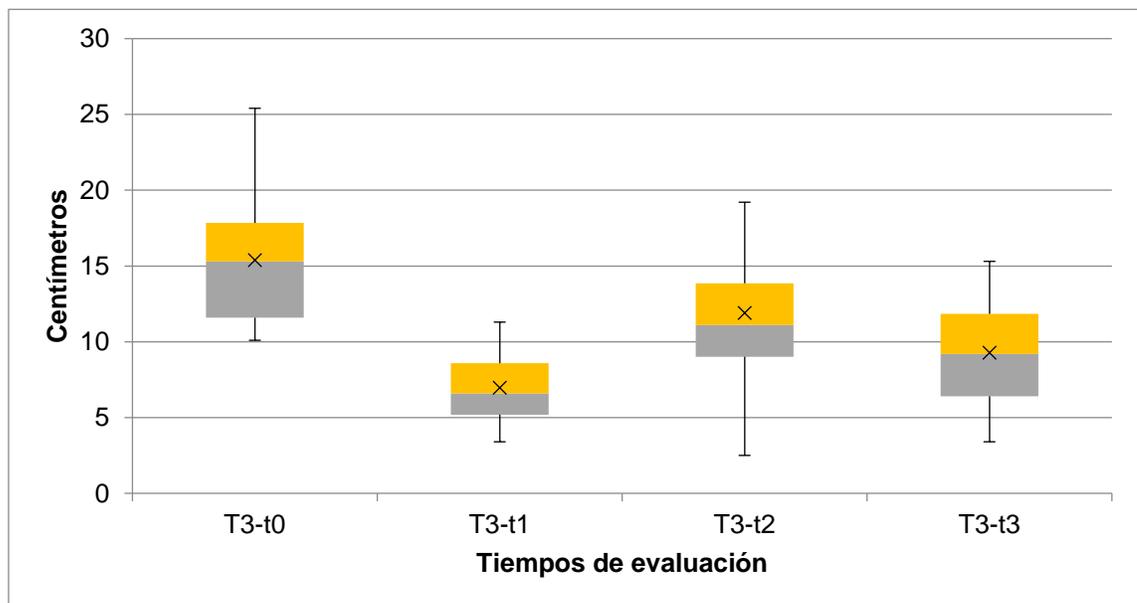


Figura 7. Comportamiento del crecimiento de la raíz de *A. clandestina* en el escenario testigo, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).

Tratamientos Relacionados a los Prototipos de Bio-herbicidas

Para el tratamiento PBH1, se observó que el promedio de longitud de las raíces en la evaluación inicial (t0) fue de 12.76 cm (D.S. = 3.25 cm), finalizando con un promedio de 8.11 cm (D.S. = 3.30 cm) y una diferencia de 4.65 cm entre el inicio y el final (Figura 8). La prueba de Shapiro-Wilk demostró que la distribución de datos fue normal y mediante los contrastes ortogonales se identificaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en dos intervalos de tiempo: tiempo cero al tiempo uno (17 días) y del tiempo cero al tiempo tres (119 días). Por otro lado, en el tratamiento PBH2, la raíz mostró un comportamiento menos favorable, ya que continuó disminuyendo, aunque no de una manera tan drástica durante todo el período de tiempo, comenzando en 12.41 cm (D.S. = 3.21 cm) y finalizando en 9 cm (D.S. = 2.56 cm), con una diferencia de 3.41 cm entre el inicio y el final. Con la prueba de Shapiro Wilk se demostró que la distribución de datos fue normal y con ayuda de contrastes ortogonales se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Para la raíz se encontraron diferencias significativas en los tiempos siguientes: del tiempo cero al tiempo tres (119 días) y del tiempo cero al tiempo dos (16 días) (Figura 9).

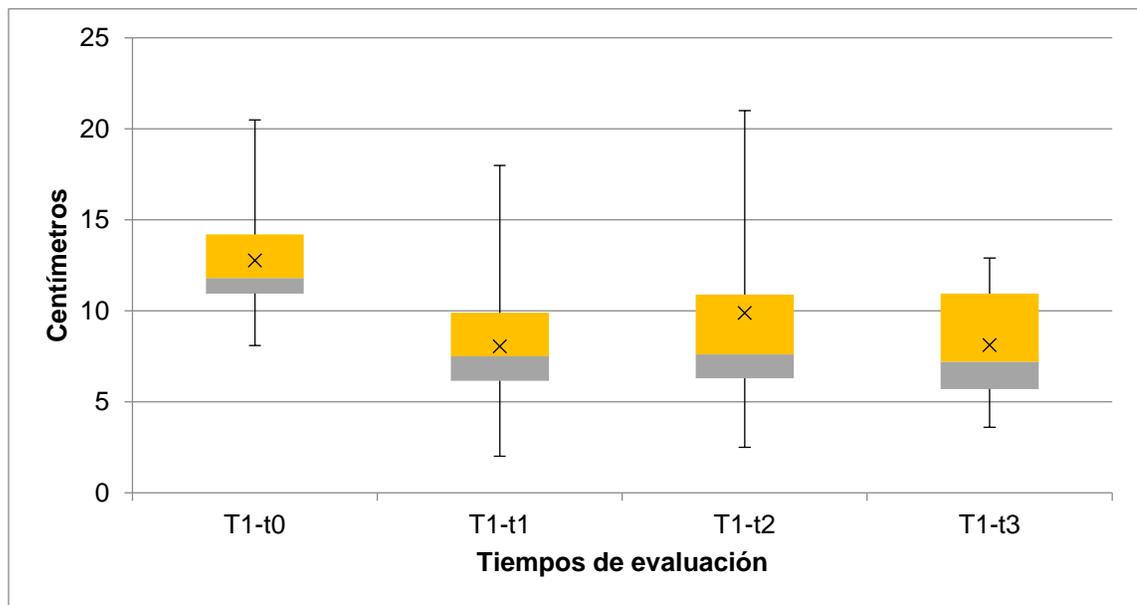


Figura 8. Comportamiento del crecimiento de la raíz de *A. clandestina* en el tratamiento con el prototipo de bio-herbicida 1 (PBH1), a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).

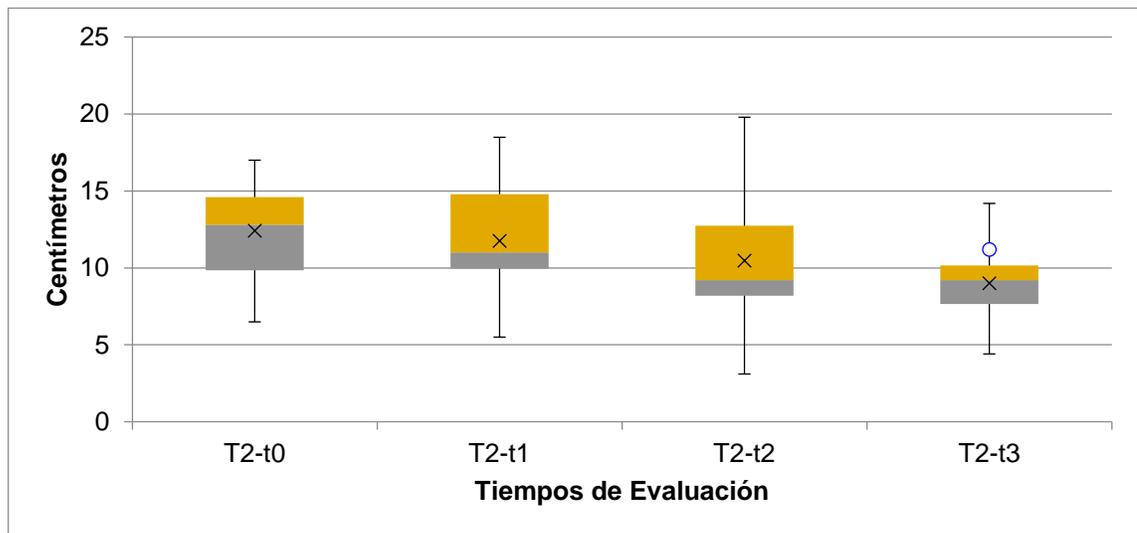


Figura 9. Comportamiento del crecimiento de la raíz de *A. clandestina* en el tratamiento con el prototipo de bio-herbicida 2 (PBH2), a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).

Tratamientos Relacionados a Herbicidas Comerciales

Para el caso de T4-SB, que es un herbicida de tipo sistémico, la respuesta de la raíz fue que tuvo una disminución paulatina en su elongación, iniciando con 14.34 cm de promedio (D.S. = 1.84 cm) y terminando en la última evaluación del experimento con un promedio de 9.77 cm (D.S. = 4.52 cm) y una diferencia de 4.57 cm entre tiempo de inicio y tiempo final. Mediante el análisis estadístico correspondiente se encontraron diferencias significativas en los siguientes intervalos de tiempo: de tiempo cero al tiempo uno (17 días), del tiempo cero al tiempo dos (33 días), de tiempo cero al tiempo tres (119 días) y del tiempo uno al tiempo dos (16 días) (Figura 10).

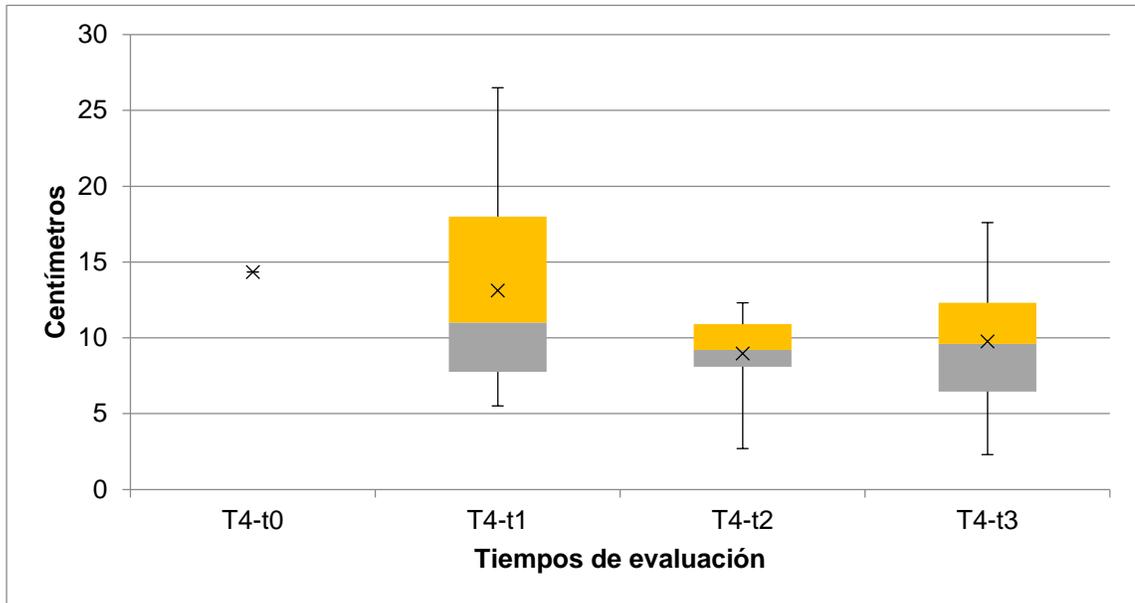


Figura 10. Comportamiento del crecimiento de la raíz de *A. clandestina* en el T4 con uso de herbicida comercial SecBios, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).

En el escenario del herbicida comercial T5-IM, la raíz tuvo un comportamiento similar al de la hoja, aunque menos drástico, en el tiempo cero se tuvo un promedio de 13.85 cm (D.S. = 1.78 cm), finalizando en 7.34 cm (D.S. = 2.69 cm), lo que representa una disminución de 6.51 cm de promedio, siendo esta diferencia la más amplia de todas en cuestión del desarrollo de la raíz (Figura 11). Se encontraron diferencias significativas en los tiempos siguientes: del tiempo cero al tiempo uno (17 días), del tiempo cero al tiempo dos (33 días), del tiempo cero al tiempo tres (119 días) y del tiempo dos al tiempo tres (86 días). En los tiempos siguientes no se hallaron diferencias significativas del tiempo uno al tiempo dos (16 días) y del tiempo uno al tiempo tres (102 días).

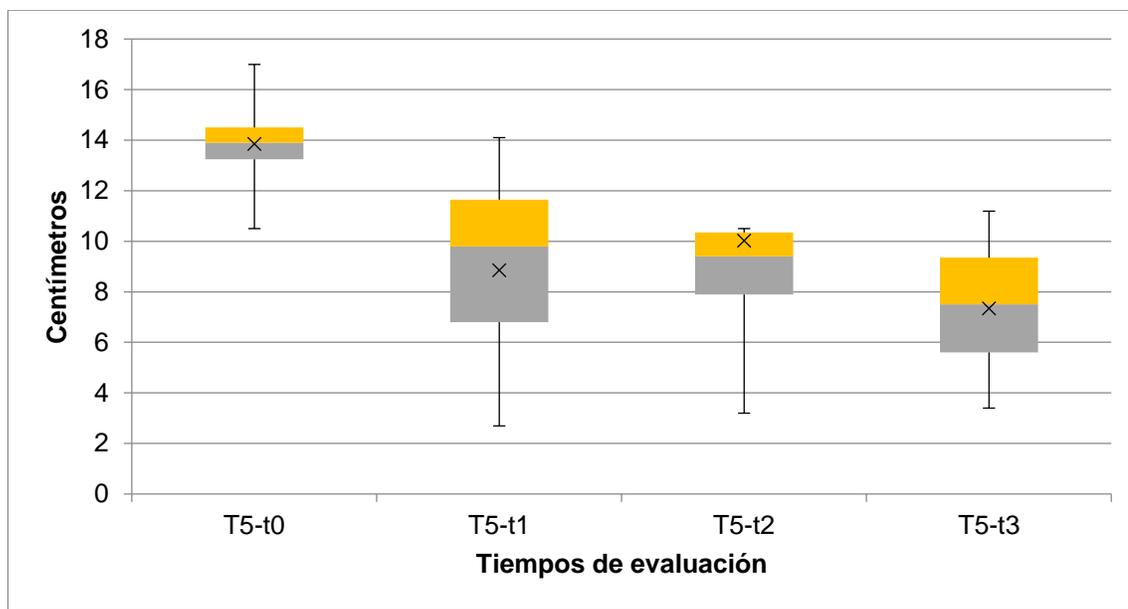


Figura 11. Comportamiento del crecimiento de la raíz de *A. clandestina* en el T5 con uso de herbicida comercial con ingrediente activo Imazapyr, a través de cuatro tiempos de evaluación (t0 a t3).

Comparación Entre Tratamientos por Tiempo de Evaluación

Respuesta a los 17 Días (t1)

La evaluación a los 17 días (t1) mostró que los valores promedio de longitud de la hoja fluctuó entre los 26.41 y 32.08 centímetros. La distribución de los datos fue normal en todos los tratamientos. Se detectaron diferencias significativas en dos escenarios, el primero entre PBH1 vs PBH2, donde los valores promedio fueron 26.41 cm (D.S. = 10.47 cm) y 32.08 cm (D.S. = 7.28 cm; $P = 0.05$), respectivamente y; la segunda se presentó entre PBH2 vs T5-IM, con valores promedio de la hoja de 32.08 cm (D.S. = 7.28 cm) y 26.43 cm (D.S. = 6.99 cm; $P = 0.05$) y para las demás comparaciones no fueron diferentes (Figura 12). Estos resultados nos indican que a los 17 días PBH2 fue el que menos efecto fito-tóxico acumuló en la hoja, por otro lado, el desempeño de PBH1 y T5-IM se podría considerar más efectivo en términos de limitación del crecimiento de la hoja.

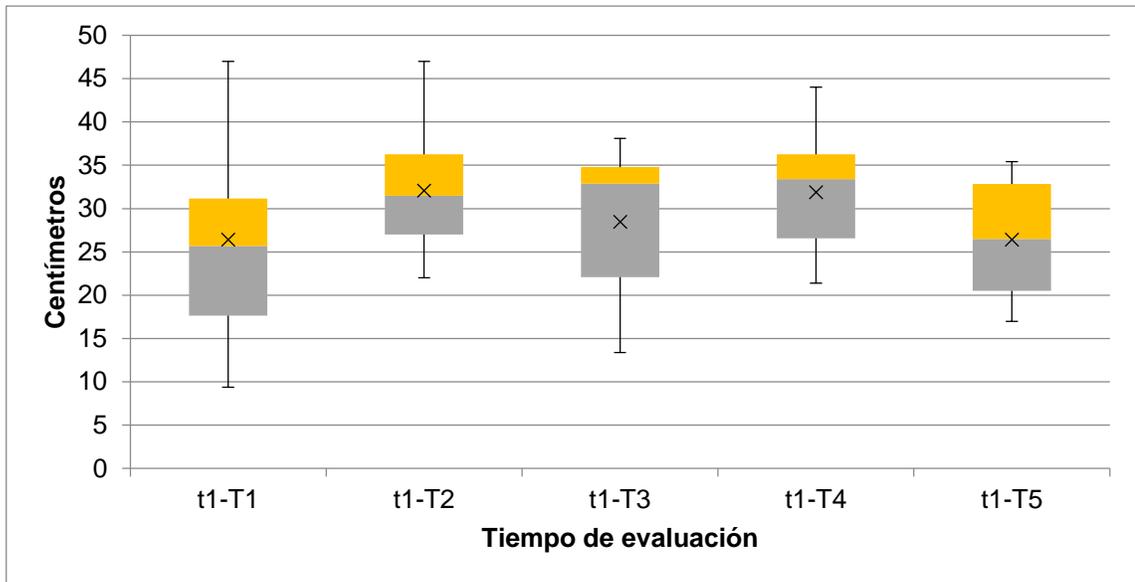


Figura 12. Comparación entre tratamientos a los 17 días de aplicación (t1).

Respuesta a los 33 Días (t2)

En la evaluación que se realizó a los 33 días (t2) se observaron valores promedio de longitud de la hoja que osciló entre los 26.48 y 32.16 centímetros. La distribución de los datos fue normal en todos los tratamientos, aunque hay que destacar que en esta evaluación no se encontró ninguna diferencia significativa para todos los tratamientos. También se observó que la media del testigo comparado con t1 aumentó, teniendo ese mismo aumento en PBH1, T4-SB y T5-IM, siendo PBH2 el único tratamiento que tuvo una tendencia a la baja (Figura 13).

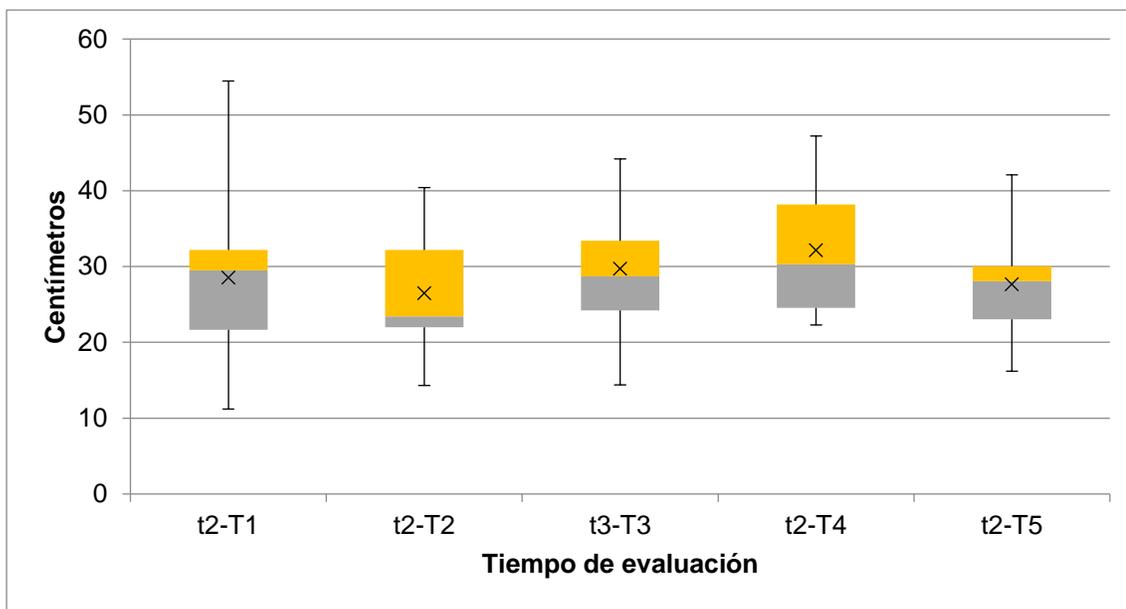


Figura 13. Comparación entre tratamientos a los 33 días de aplicación (t2).

Respuesta a los 119 Días (t3)

En la evaluación correspondiente a los 119 días (t3) se observó que los valores promedio de longitud de la hoja oscilaron entre los 13.95 y 28.73 centímetros. La distribución de los datos fue normal en todos los tratamientos. Para esta evaluación se hallaron diferencias significativas a excepción de las siguientes comparaciones que fueron: PBH1 vs T3-T, PBH1 vs T4-SB, así también en PBH1 vs T5-IM y en T3-T vs T4-SB, en todas estas comparaciones, antes mencionadas, no hubo algún resultado favorable (Figura 14).

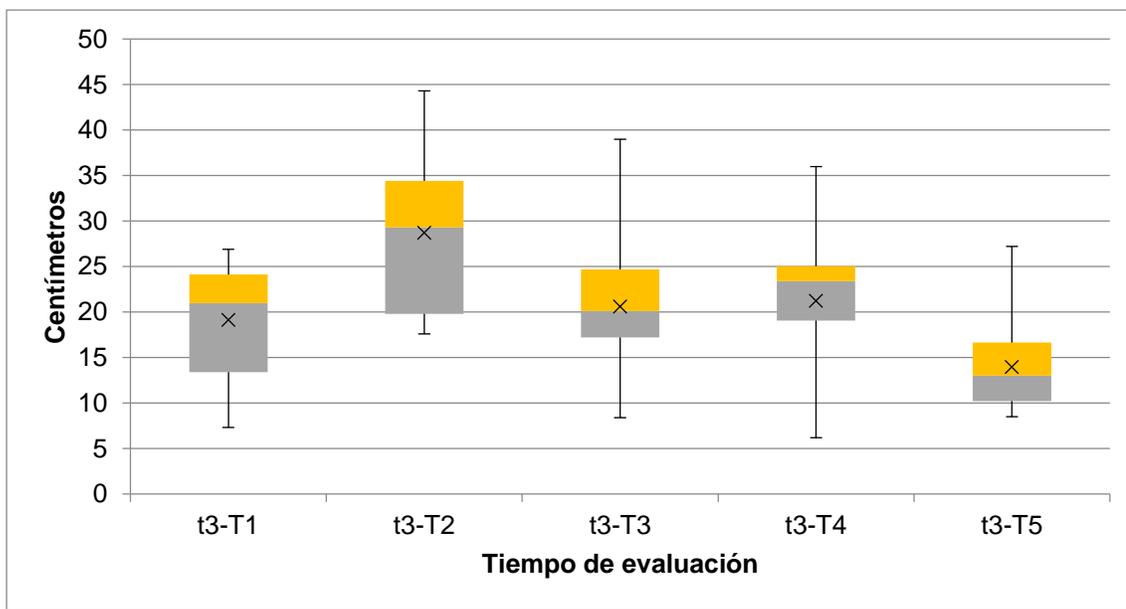


Figura 14. Comparación entre tratamientos a los 119 días de aplicación (t3).

Expresión de Vigor en Hojas

Efecto Fito-tóxico

El efecto fito-tóxico de los herbicidas utilizados, además de expresarse en el desarrollo de la hoja y la raíz, fue notorio en el estado de vigor de las plantas y en el incremento en el porcentaje de hojas secas, de tal manera que a lo largo de las tres evaluaciones realizadas (17, 33 y 119 días), fue posible cuantificar la efectividad de los tratamientos con base a los cambios en esos dos factores (porcentaje de hojas secas y cambios en el vigor de las hojas vivas) y teniendo de referencia la escala de la Sociedad Europea de la Ciencia de la Maleza determinar la efectividad en cada uno de estos períodos.

A los 17 días (Figura 15), el porcentaje de hojas secas correspondiente al prototipo de bio-herbicida 1 (PBH1) fue aproximadamente del 74 por ciento y la proporción de hojas en los tres niveles de vigor evaluados fue del 26 por ciento, dando una totalidad del 100 por ciento y, de acuerdo a la Sociedad Europea de la Ciencia de la Maleza (SECM) se obtuvo un resultado del efecto de este herbicida sobre la planta de: suficiente en la práctica. Para el caso de PBH2 el porcentaje de hojas secas fue aproximadamente del 72 por ciento y para hojas

englobando los tres niveles de vigor fue del 28 por ciento, dando así un 100 por ciento y, de acuerdo a lo que establece la SECM, el efecto de este herbicida sobre la planta corresponde a suficiente en la práctica. Para T4-SB el porcentaje de hojas secas fue demasiado elevado (96%) alcanzado el porcentaje más alto de hojas secas entre los tratamientos al menos en esta evaluación (17 días); para el caso de las hojas enlistando los tres niveles de vigor fue del 4 por ciento dando una totalidad del 100 por ciento, lo que implica que este herbicida comercial fue efectivo, al menos en este punto y, de acuerdo a la SECM su efecto y resultado presenta un muy buen control. Para el caso de T5-IM, el porcentaje de hojas secas fue del 80 por ciento y las hojas tomando en cuenta los tres niveles de vigor, corresponde al 20 por ciento, contabilizando un 100 por ciento y, siguiendo lo establecido por la SECM en este tratamiento se tuvo un buen control, siendo un resultado bastante favorable. Por último, para el caso del tratamiento de control sin aplicación de ningún tipo de herbicida (T3-T), el porcentaje de hojas secas fue del 50 por ciento y para las hojas tomando en consideración los tres niveles de vigor fue del 50 por ciento aproximadamente y, aquí no aplica lo que establece la SECM por lo mismo que fue un tratamiento de control y no se considerará en las evaluaciones siguientes.

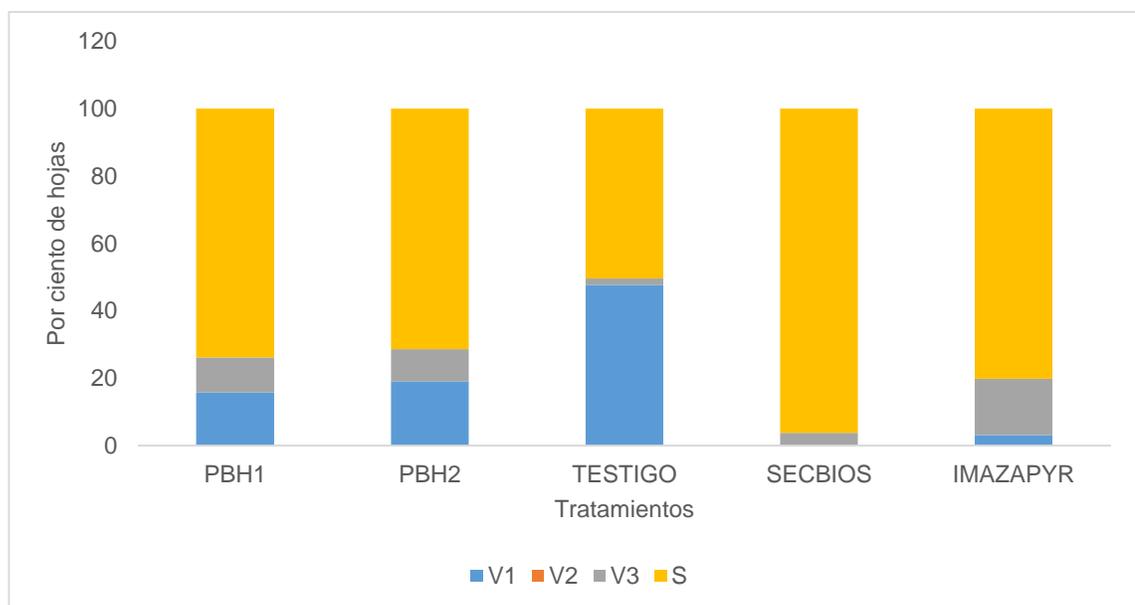


Figura 15. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 17 días.

A los 33 días de la aplicación (Figura 16), el porcentaje de hojas secas en el prototipo de bio-herbicida 1 (PBH1) fue aproximadamente del 62 por ciento lo que implica una disminución comparada con la evaluación anterior (17 días) y la proporción de hojas en los tres niveles de vigor evaluados fue cerca del 38 por ciento lo que denota en un aumento, para una totalidad del 100 por ciento y, acorde a la SECM, el efecto de este herbicida sobre la planta disminuyó, el resultado presentado fue de control medio. Para el caso de PBH2, el porcentaje de hojas secas fue aproximadamente del 65 por ciento y para hojas englobando los tres niveles de vigor fue del 35 por ciento, respectivamente; si se compara con la evaluación anterior (17 días), entonces se diría que hubo una disminución en hojas secas al igual que un aumento en las hojas con diferente nivel de vigor y, en base a lo que establece la SECM el efecto de este herbicida sobre la planta es control medio. Para T4-SB el porcentaje de hojas secas continuó siendo elevado con un 85 por ciento, pero disminuyó ligeramente comparado con la evaluación anterior; para el caso de las hojas, considerando los tres niveles de vigor, fue del 15 por ciento aproximadamente, lo que significa que aumentó comparando entre el tiempo anterior y éste, dando una totalidad del 100 por ciento, lo que implica en que este herbicida comercial aún siguió siendo efectivo y con conocimiento de lo que establece la SECM el resultado de este tratamiento es que presenta buen control. Lo que respecta a T5-IM, el porcentaje de hojas secas fue del 93 por ciento denotando un aumento y mostrando aún el efecto del herbicida; para las hojas, tomando en cuenta los tres niveles de vigor, corresponde al ocho por ciento y, en base a la SECM en este tratamiento se tuvo un muy buen control, siendo un resultado aceptable al menos hasta esta evaluación. Por último, en el tratamiento de control sin aplicación de ningún tipo de herbicida (T3-T), el porcentaje de hojas secas corresponde al 47 por ciento aproximadamente y, para las hojas tomando en consideración los tres niveles de vigor fue del 53 por ciento aproximadamente, dando una totalidad del 100 por ciento.

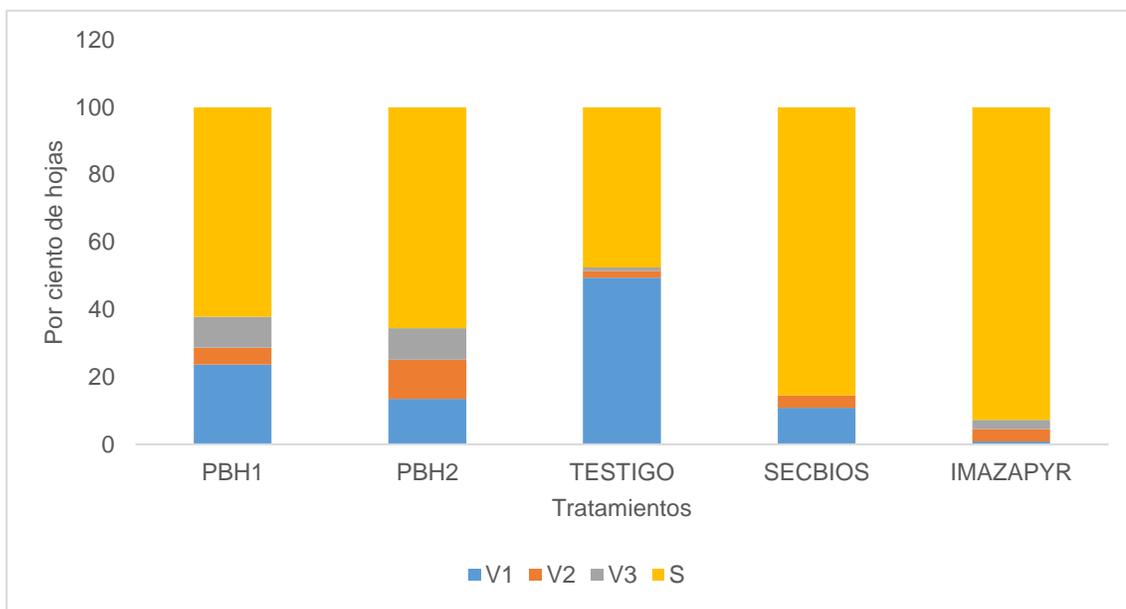


Figura 16. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 33 días.

Para la evaluación correspondiente a 119 días (Figura 17), se notaron cambios que venían presentándose a partir de la evaluación de los 33 días, el porcentaje de hojas secas referente al prototipo de bio-herbicida 1 (PBH1) fue de 33 por ciento, disminuyendo en gran medida comparado con las dos evaluaciones anteriores y la proporción de hojas en los tres niveles de vigor evaluados fue cerca del 67 por ciento, teniendo un aumento muy marcado, de acuerdo a la SECM el resultado del efecto de este herbicida sobre la planta fue pobre. Para el caso de PBH2, el porcentaje de hojas secas fue aproximadamente del 58 por ciento y para hojas, englobando los tres niveles de vigor, fue del 42 por ciento, dando así un 100 por ciento; en base a lo que establece la SECM, el efecto de este herbicida sobre la planta corresponde a control medio. En T4-SB el porcentaje de hojas secas tuvo un ligero aumento (90%) comparado con la evaluación anterior; para hojas, enlistando los tres niveles de vigor, fue del 10 por ciento dando una totalidad del 100 por ciento, lo que implica en que este herbicida comercial aún siguió siendo efectivo incluso hasta los 119 días; de acuerdo a la SECM el efecto y resultado de este tratamiento presentó buen control. En T5-IM el porcentaje de hojas secas fue agresivo por el hecho de que correspondió al 100 por ciento y las hojas que enlistan el vigor presentaron cero por ciento;

siguiendo con lo que establece la SECM en este tratamiento se tuvo muy buen control, siendo un resultado bastante favorable, respectivamente. Por último, respecto al tratamiento de control sin aplicación de ningún tipo de herbicida (T3-T), el porcentaje de hojas secas fue del 37 por ciento y para las hojas, tomando en consideración los tres niveles de vigor, fue del 63 por ciento y, no hubo efecto al menos porque no se aplicó ningún tipo de herbicidas.

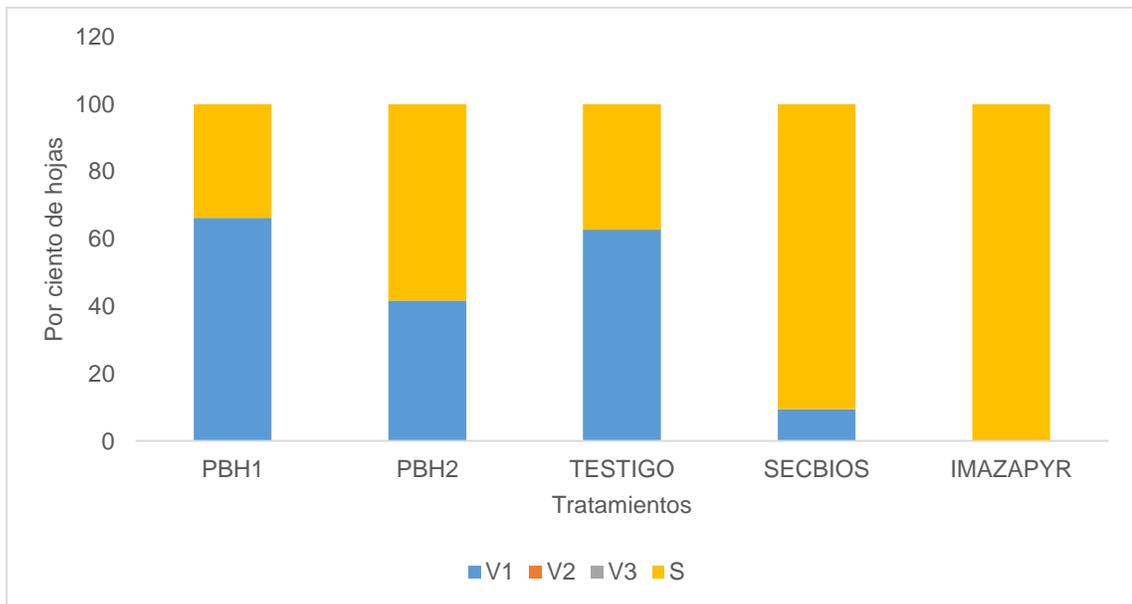


Figura 17. Evaluación cuantitativa de hojas secas y hojas verdes a los 119 días.

Evolución del Vigor en las Hojas

En el nivel de vigor alto (V1) (Figura 18), de las hojas, fue variable a lo largo de las evaluaciones, en el cual a todos los tratamientos se aplicó análisis estadístico, únicamente en V1 durante todos los tiempos contó con una distribución normal de datos. Para el tiempo uno no se encontró ninguna diferencia significativa en ningún tratamiento, debido a la variabilidad en el porcentaje de hojas y porque fue a inicios del experimento. El testigo (T3-T) fue el único tratamiento que se mantuvo estable y con un comportamiento regularmente ascendente todo el tiempo.

En el tiempo dos correspondiente a 33 días, el vigor uno fue la única variable que mantuvo normal la distribución de datos y, recurriendo al análisis estadístico, en

este tiempo se encontraron diferencias significativas entre PBH2 vs T3-T, cuyo comportamiento fue similar en ambos tratamientos y se corroboró con apoyo de la Figura 18; también hubo diferencias significativas en T3-T vs T4-SB y T3-T vs T5-IM, esto ocurre porque al llegar a los 33 días post-aplicación las diferencias en el porcentaje de hojas con mejor vigor (V1), mantuvieron la misma tendencia que en la evaluación previa (17 días), donde el mayor porcentaje de hojas con buen vigor corresponde al tratamiento sin aplicación de herbicida. En todos los demás tratamientos no hay diferencia significativa porque en todos ellos disminuyó el porcentaje de hojas con buen vigor, al menos en esta evaluación. En la cuarta y última evaluación, correspondiente a 119 días (t3), el porcentaje de hojas en los dos prototipos de bio-herbicidas tuvieron un aumento drástico, mientras que en los dos herbicidas comerciales continuó disminuyendo, haciéndose notar el efecto de los herbicidas en esta última evaluación, como se observa en la Figura 18, la distribución de los datos se mantuvo normal y, con apoyo del análisis estadístico, los resultados fueron que en un período cercano a los cuatro meses, T4-SB y T5-IM fueron diferentes al T3-T y al PBH1, respondiendo como los herbicidas más efectivos para la disminución del vigor en la hoja, con cero por ciento para T5-IM y menos del 10 por ciento para T4-SB.

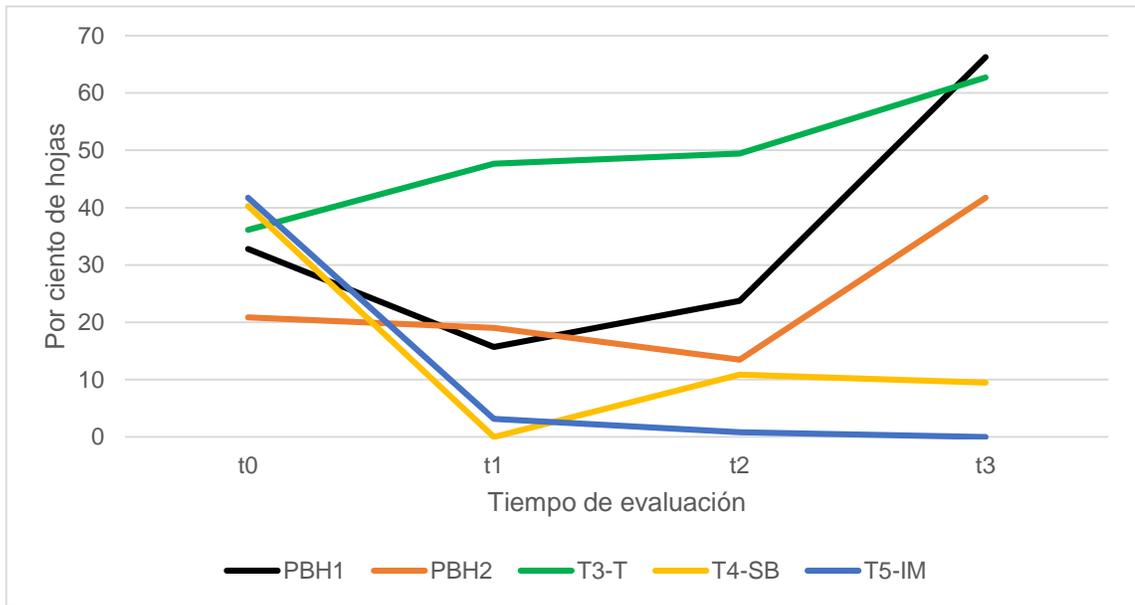


Figura 18. Comparación de vigor (V1) entre tratamientos.

En el caso del vigor intermedio (V2) se notó una curva muy importante para los tratamientos PBH1, PBH2 y T5-IM, en estos tratamientos la curva fue más amplia que en el T-Testigo y T4-SB, aunque cabe destacar que a los 17 días, es a partir de ahí y hasta la última evaluación (119 días) cuando comenzó un declive en todos los tratamientos a excepción del T-Testigo y T4-SB donde el porcentaje de hojas aumentó en vez de disminuir y; a partir de los 33 días (t3) el porcentaje de hojas de los dos tratamientos antes mencionados comenzaron a disminuir, como el resto de los tratamientos que seguían disminuyendo su vigor intermedio, lo que se puede apreciar en la Figura 19.

Respecto al análisis estadístico para el tiempo uno, es decir, 17 días, PBH2 fue quien tuvo un mayor porcentaje de hojas dentro de esta categoría de vigor, pero no fue muy diferente con T5-IM y PBH1, aunque hay que recalcar que sólo T4-SB y T3-T parecieron haber definido su acción totalmente al no tener hojas de esta clase de vigor.

A los 33 días (t2) la distribución de datos no fue normal debido a la disminución de hojas presentes en esta evaluación, lo cual no representó un valor significativo dentro del análisis estadístico, lo que implica que no hay diferencias entre tratamientos.

Al llegar a los 119 días (t3) y al no contar con hojas de esta categoría, no hubo diferencias para comparar, pero se definió claramente la acción de todos los tratamientos. Los prototipos de bio-herbicidas no prolongaron su efecto en esta temporalidad, lo que significó la recuperación de las plantas y, por otro lado, están los herbicidas comerciales cuyos efectos si se prolongaron, causando una drástica disminución en el vigor de las plantas.

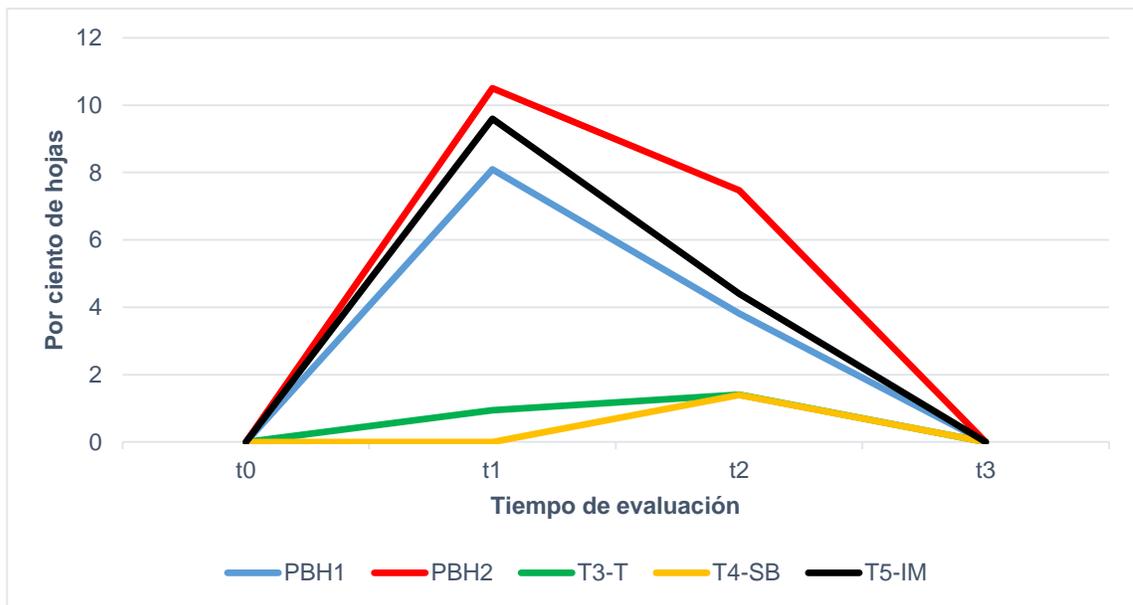


Figura 19. Comparación de (V2) entre tratamientos.

En la categoría del vigor tres, sucede algo similar al escenario con el vigor intermedio, con la única diferencia de que en este escenario sólo destaca un tratamiento y es T5-IM, donde el porcentaje de V3 es más elevado que el resto, respecto a la primera evaluación de 17 días (t1) comienza a entrar en declive, luego le siguen los dos prototipos de bio-herbicidas cuyos tratamientos para los 17 días (t1) también tienen una curvatura importante y de ahí a las siguientes evaluaciones comienza a disminuir el porcentaje de hojas correspondiente a esta categoría; para el caso de T-Testigo y T4-SB tuvieron su máximo porcentaje de hojas V3 a los 17 días (t1) y de ahí comenzó a disminuir su porcentaje hasta la última evaluación (Figura 20).

Procediendo con el análisis estadístico a partir de los 17 días (t1) de esta categoría, en primera instancia se corroboró que la distribución de los datos fuera normal y, además, sólo T3-T y T4-SB presentaron diferencias, debido a que fueron menos efectivos en marchitarse (16% de follaje); el que destacó fue T5-IM, seguido de los dos prototipos de bio-herbicidas.

Para los 33 días (t2) se contó con una distribución de datos normal y además en PBH1 y PBH2 se presentaron diferencias significativas, debido a que aún había hojas de esta categoría en este tiempo, mientras que el T3-T y T4-SB presentaban un porcentaje muy bajo de esta, al igual que T5-IM.

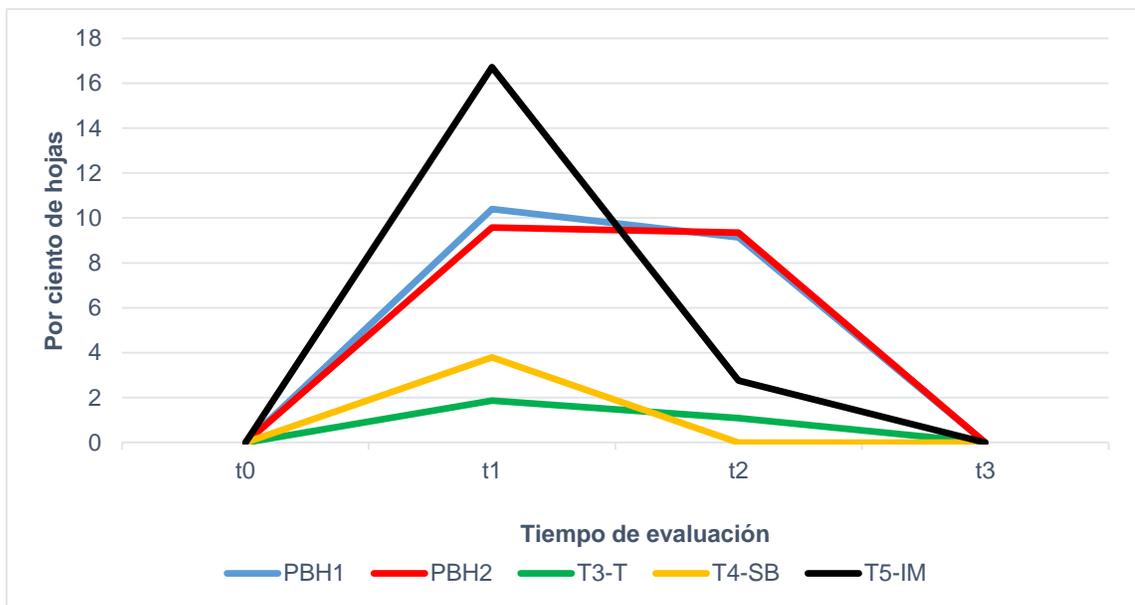


Figura 20. Comparación de (V3) entre tratamientos.

V. DISCUSIÓN

Desarrollo de Partes Vegetativas

El uso de diferentes tipos de herbicidas, como se realizó en esta investigación, son una forma de manejar una especie específica que es un componente de un ecosistema conocido como zacatal y que tiene un comportamiento invasivo dentro de este (Burge *et al.*, 2017), así como la oportunidad de emplear otras opciones de herbicidas más amigables con el ambiente como es el caso de bio-herbicidas, probar su efectividad y tomarlos como alternativa frente a herbicidas sintéticos y de amplio espectro, como es el caso del Glifosato.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en cuanto a la afectación de la longitud de la hoja por efecto del uso de prototipos de bio-herbicidas, encontramos que el tratamiento más efectivo en la disminución de la longitud de la hoja fue el PBH2 perteneciente a la empresa GreenCorp® que redujo la longitud de la hoja desde un promedio de 40 centímetros, en la medición inicial, hasta 28 centímetros después de 119 días, mientras que los demás tratamientos, en específico el de base química (Imazapyr), ocasionó una disminución de hasta 15 centímetros; existe poca información sobre esta variable (longitud de la hoja), sin embargo Anglin (2018), en un estudio realizado en la parte central de Texas donde se aplicaron diferentes herbicidas de base química, entre los que destaca el Roundup (contiene Glifosato), se encontró una mortandad de plantas de *A. clandestina* de hasta un 28 por ciento en la cobertura aérea y una reducción de hasta 0.2 por ciento en la cobertura basal de las plantas, a los siete meses después de la aplicación; de manera similar, en un estudio llevado a cabo en Argentina por Mabel (2014), se experimentó el uso de herbicidas sistémicos sobre zacates naturales mostrando resultados de un año a otro, donde la disminución de cobertura basal en zacates perennes en promedio fluctuó desde 28 por ciento hasta menos del uno por ciento, ambos estudios tomaron en cuenta la cobertura basal o aérea como referencia y, esta mide el desempeño de la hoja, de ahí la comparación.

Efectividad de los Tratamientos en Escala de Tiempo

De igual forma, referente al tema del uso de bio-herbicidas, Pouresmaeil *et al.* (2022) probaron la efectividad de aceites esenciales extraídos de *Dracocephalum moldavica* aplicado sobre *Bromus tectorum*, los resultados que ellos obtuvieron fueron favorables ya que inhibieron el crecimiento de esta gramínea en plántula, comprobando la efectividad que si existe para el desarrollo de bio-herbicidas, caso contrario a lo que nosotros obtuvimos donde el efecto del bio-herbicida fue muy notable a los 17 días, principalmente.

Algunos productos químicos tienen un efecto aditivo que provoca afectaciones sobre los cultivos por el uso prolongado de estos, tal como lo mencionan Guan *et al.* (2020) quienes estimaron que después de 12 años de aplicación de herbicidas en cultivos de soya y cacahuete, los decrementos productivos estuvieron en el rango máximo de 13 y 12 por ciento para cada cultivo respectivamente, de forma similar a lo que se realizó en esta investigación los herbicidas comerciales tales como T4-SB y T5-IM prolongaron su acción durante más tiempo comparado con los otros tratamientos.

Comparativamente, la aplicación de dosis sub-letales y letales provenientes del Glifosato sobre *Echinochloa crus-galli* tuvo efectos relativamente rápidos, donde el desarrollo de hojas y el metabolismo de los meristemos de crecimiento en raíz tuvo severas afectaciones entre el día uno y el día 12 del experimento, derivado de la función de la concentración del herbicida promedio por planta (Kirkwood *et al.* 2000), este efecto que ellos tuvieron se entiende por el modo de acción de los herbicidas, pues al ser de contacto, tienen un efecto más rápido y severo que los sistémicos cuyo resultado suele prolongarse más y con efecto retardado en el tiempo, esto se comprueba de manera similar a esta investigación, pues los tratamientos presentaron diversos modos de acción, con efectos diferentes en cada uno.

Considerando las propiedades de los elementos que constituyen los prototipos de bio-herbicidas en los primeros días de aplicación, se tuvieron efectos rápidos comparados con los herbicidas comerciales, esto podría concordar con lo que mencionan Kobylecka y Skiba (2008) en un estudio donde citan que los efectos

metabólicos negativos pueden ser estimulados en las plantas (gramíneas) de manera que la absorción de metales solubles (tales como cobre y manganeso) se estimule por la presencia de sustancias, causando hiper acumulación, derivando en una afectación en la biodisponibilidad y sistema vascular de las plantas y por lo tanto, el colapso de sus funciones.

Asati *et al.* (2016) determinaron que los metales pesados en exceso provocan toxicidad en las plantas, lo que causa un desequilibrio metabólico que afecta su crecimiento y desarrollo, llevando eventualmente a la muerte de la planta. Este fenómeno se observó de manera paralela en la presente investigación, ya que en los tratamientos donde se aplicaron los prototipos de bio-herbicidas, derivado de la composición de estos, su efecto fue inmediato y notable sobre la planta. De igual manera, esto se atribuye al modo de acción de dichos prototipos, que son de contacto.

Manifestación del Vigor en Respuesta a los Herbicidas

En cuanto a la relación del vigor de las hojas posterior a la aplicación de Imazapyr y otros herbicidas de base química para el control de *Digitaria insularis* en Brasil, Paiola *et al.*, (2020) documentaron daños en la planta de alrededor del 80 por ciento a los 35 días post-aplicación, lo que es similar a los resultados que fueron obtenidos a los 33 días en nuestro experimento con el uso de T4-SB (85.5 % de hojas secas), mientras que con el uso de T5-IM obtuvimos 92.7 por ciento; en el caso de los prototipos de bio-herbicidas fue muy contrario ya que el porcentaje máximo fluctuó entre 62-65 por ciento de hojas secas. De igual forma, en un estudio llevado a cabo en Brasil por Valença *et al.* (2020) para evaluar los cambios en la morfología de la hoja de un zacate del género *Setaria*, se encontró que los daños en pigmentación y largo de la hoja ocurrieron dentro de las primeras 96 horas, teniendo un efecto en la pigmentación de la hoja causando una marchitez en la planta durante ese corto período de tiempo; en tanto Costa *et al.* (2012) determinaron los efectos post aplicación de tres tipos de herbicidas de base química, entre ellos destaca Imazapyr, donde encontraron que los daños

sobre la estructura de las hojas fueron menores cuando se usó Diquat e Imazapyr comparado con Glifosato.

VI. CONCLUSIONES

- ❖ El prototipo de bio-herbicida (PBH1) tuvo una efectividad notable hasta el tiempo dos (t2), mientras que el PBH2 sólo tuvo efectos notables en el tiempo uno (t1) lo que implica que la mayor efectividad de ambos se manifestó en los primeros 33 días, aunque para el caso del herbicida comercial de origen orgánico, que fue T4-SB, su efecto se mantuvo hasta la última evaluación, sobre hoja, raíz y vigor, entonces se rechaza la hipótesis planteada.
- ❖ Para el caso del herbicida de base química, sus efectos se hicieron notar desde el inicio hasta la última evaluación sobre raíz, hoja y vigor, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada.

Los resultados indican que el herbicida de origen orgánico y base química son más efectivos frente a los prototipos de bio-herbicidas, ya que estos últimos no mantuvieron su efectividad durante todo el experimento derivado quizás de la composición con la que cuentan estos prototipos. El uso de herbicidas es una opción viable, utilizando los de origen orgánico, siendo esta la primera opción, en su caso, algún herbicida de base química.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdulahi, M. M, H. Hashim and M. Teha. 2016. Rangeland degradation: extent, impacts, and alternative restoration techniques in the rangelands of Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 19(3): 305-318.
- Adema, E. O, D. E. Buschiazzo, F. J. Babinec, T. E. Rucci and V. F. G. Hermida. 2004. Mechanical control of shrubs in a semiarid region of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. *Agricultural Water Management*. 68(3): 185-194.
- Aguilar H., M. de J. 2023. Pruebas de germinación en semillas de zacate Johnson aplicando un bioherbicida de cornezuelo (*Claviceps purpurea*) (l.) y vinagre. Tesis. Licenciatura. Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temepache. Xoyotitla, Veracruz.
- Altesor, A., M. Oesterheld, E. Leoni, F. Lezama and C. Rodriguez. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology*. 179: 83-91.
- Anglin, L. M. 2018. Using post-emergent herbicides to control the cool season invasive perennial *Amelichloa clandestina*. Tesis. Maestría. San Angelo State University. San Angelo, Texas.
- Arévalo J., R., J. A. Encina D., S. Juanes M., P. Álvarez V., J. A. Nuñez C. y M. Mellado. 2021. Restoration of rangelands invaded by *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth after 12 years of agriculture abandonment. Coahuila, México. *Agriculture*. 11(9): 2-14.
- Arreola H., G. 2017. Manejo de pastizales en la ganadería extensiva. Vol. 15. Editorial Trillas. 254 p.
- Asati, A., M. Pichhode and K. Nikhil. 2016. Effect of heavy metals on plants: an overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 5(3): 56-66.
- Barbehenn, R. V., Z. Chen, D. N. Karowe and A. Spickard. 2004. C3 grasses have higher nutritional quality than C4 grasses under ambient and elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology*. 10(9): 1565 - 1575.

- Bossdorf, O., H. Auge, L. Lafuma, W. E. Rogers, W. E. Siemann and D. Prati. 2005. Phenotypic and genetic differentiation between native and introduced plant populations. *Oecologia*. 144: 1-11.
- Briggs, M. K., H. M. Poulos, J. Renfrow, J. Ochoa E., D. Larson, P. Manning, J. Sirotnak and K. Crawford. 2021. Choked out: Battling invasive giant cane along the Rio Grande/Bravo Borderlands. *River Research and Applications*. 37(10): 1471-1479.
- Burge, O. R., K. A. Bodmin, B. R. Clarkson, S. Bartlam, C. H. Watts and C. C. Tanner. 2017. Glyphosate redirects wetland vegetation trajectory following willow invasion. *Applied Vegetation Science*. 20(4): 620 - 630.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Uso y regulación de herbicidas en México. Ciudad de Mexico.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2023. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Saltillo sur (0521), Estado de Coahuila. Ciudad de México.
- Costa, N. V., D. Martins, R. A. Rodella and A. C. P. Rodríguez C. 2012. Anatomic leaf changes in *Brachiaria subquadripara* submitted to herbicide application. *Planta Daninha*. 30(2): 253-261.
- Cox, R. J. 1995. Restauración de pastizales áridos y semiáridos. En: Medina T., J. G., M. J. Ayala O., L. Pérez R. y J. Gutiérrez C. Rehabilitación de ecosistemas de pastizal: conceptos y aplicaciones. SOMMAP-UAAAN. Saltillo, Coahuila. p. 53-68.
- Chemotecnica. 2024. Sunset (Metribuzin WG 70%). Chemotecnica.com. Obtenido de <https://www.chemotecnica.com/post/sunset-metribuzin-wg-70>
- Díaz R., C. 2013. Análisis dinámico de la vegetación de los agostaderos en los ranchos ganaderos experimentales Los Ángeles, Las Norias y Santa Teresa la Rueda de la UAAAN ante el cambio climático. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

- DiTomaso, J. M., R. A. Masters and V. F. Peterson. 2010. Rangeland invasive plant management. *Rangelands*. 32 (1): 43-47.
- Duran P., V. A. 2019. Características, historia y evolución de los equinos en México. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Esqueda V., 2003. Evaluación de los herbicidas Crosser y Vaquero en el control de malezas herbáceas en pastizales tropicales. *Agronomía Mesoamericana*. 14(2): 177-183.
- Esqueda E., V. A. y O. H. Tosquy V. 2007. Efectividad de métodos de control de malezas en la producción de forraje del pasto angola (*Digitaria decumbens* Stent.). *Agronomía Mesoamericana*. 18(1): 1-10.
- Fuhlendorf, S. D., D. M. Engle, C. M. O'Meilia, J. R. Weir and D. C. Cummings. 2009. Does herbicide weed control increase livestock production on non-equilibrium rangeland?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 132(1-2): 1-6.
- García A., E. 1964. Modificación al sistema de clasificación climática de Köeppen. Instituto de Geografía-UNAM.
- Gauthier, D. A., A. Lafon, T. P. Toombs, J. Hoth and E. B. Wiken. 2003. Grasslands: toward a North American conservation strategy. Canadian Plains Research Center University of Regina and Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Quebec, Canadá.
- Guan, X., X. Chen, C. Qiu, Y. Qian, J. Chen, C. Shao, J. Xie, G. Deng and C. Peng. 2020. Effects of long-term herbicide application on the crops in soybean-peanut rotations in the red soil upland of Southern China. *Field Crops Research*. 248. p. 107723. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107723>
- Gutiérrez C., J., L. Pérez R., I. I. Hernández J. y J. G. Medina T. 1995. Hacia una mejor administración, eficiencia, y productividad de los pastizales. En: Medina T., J. G., M. J. Ayala O., L. Pérez R. y J. Gutiérrez C. Rehabilitación de ecosistemas de pastizal: conceptos y aplicaciones. Saltillo, Coahuila: SOMMAP - UAAAN. p. 3-8.

- Hasan, M., M. S. Ahmad H., A. M. Rosli and H. Hamdan. 2021. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants*. 10: 1-21.
- Hickman, K. R., D. C. Hartnett, R. C. Cochran and C. E. Owensby. 2004. Grazing management effects on plant species diversity in tallgrass prairie. *J. Range Manage.* 57(1): 58-65.
- Higgs, E. S. 1997. What is good ecological restoration? *Conservation Biology*. 11 (2): 338-348.
- Holechek, J. L., R. D. Pieper and C. H. Herbel. 1989. *Range management: principles and practices*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Huntsinger, L. and P. Hopkinson. 1996. Sustaining rangeland landscapes: a social and ecological process. *J. Range Manage.* 49(2): 167-173.
- Hydrocultura. 2024. Coadyuvante Inex-A Surfactante No-Iónico – Variedades. Hydrocultura.com. Obtenido de <https://hydrocultura.com/products/coadyuvante-inex-a-surfactante-no-ionico-variedades>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1975. Secretaría de la Presidencia: carta geológica. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/Geologia_hist/702825646936.pdf (recuperado el: abril de 2024).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1975. Secretaría de la Presidencia: carta uso del suelo. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/Uso_suelo_hist/1_50_00/serie_I/702825656584.pdf (recuperado el: marzo de 2024).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1976. Secretaría de la Presidencia: carta edafológica. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/Edafologia_hist/1_50_000/702825664428.pdf (recuperado el: abril de 2024).

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1983. Síntesis geográfica de Coahuila: Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004. Carta topográfica.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen_cartografica/1_50_000/702825708481.pdf (recuperado el: abril de 2024).
- Jacoby, P. W. 1997. A glossary of terms used in range management. Glossary Revision Committee and Society for Range Management. p. 1-16.
- Juanes M., S., J. A. Encina D., P. Álvarez V., E. A. Lara R., N. Camposeco M. y J. L. García L. 2023. Caracterización del banco de semilla de un zacatal en el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(1): 97-107.
- Juanes M., S., J. A. Encina D., M. Torres M., M. Mellado, P. Álvarez V. y E. A. Lara R. 2024. Efecto del corte, quema y aplicación de herbicida en la estructura y diversidad de especies de un pastizal de *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth en el Desierto Chihuahuense. *Revista de Biociencias*. 11: 1-26. Obtenido de <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1459>
- Jurado G., P., M. Velázquez M., R. A. Sánchez G., A. Álvarez O., P. A. Domínguez M., R. Gutiérrez L., R. D. Garza C., M. Luna L. y M. G. Chávez R. 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.
- Kettenring, K. M. and C. Reinhardt A. 2011. Lessons learned from invasive plant control experiments: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. 48(4): 970-979. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.01979.x
- Kirkwood, R. C., R. Hetherington, T. L. Reynolds and G. Marshall. 2000. Absorption, localisation, translocation and activity of glyphosate in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L) Beauv): influence of herbicide

- and surfactant concentration. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*. 56(4): 359-367.
- Kobylecka, J. and E. Skiba. 2008. The effect of phenoxyacetic herbicides on the uptake of copper, zinc and manganese by *Triticum aestivum* L. *Polish Journal of Environmental Studies*. 17(6): 895-901.
- Kremer, R. J. 2005. The role of the bioherbicides in weed management. *Biopesticides International*. 1(3,4): 127-141.
- Labrada R., J. C. Caseley y C. Parker. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Vol. 120. Roma, Italia.
- Mabel R., A. 2014. La aplicación de herbicidas sistémicos de amplio espectro en pastizales naturales: efectos sobre los atributos y procesos del ecosistema. Tesis. Doctorado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Maczko, K. A., J. A. Tanaka, M. Smith, C. G. Weibel, S. F. Hamilton, J. E. Mitchell, G. Fults, C. Stanley, D. Loper, L. D. Bryant and J. K. Brite Jr. 2012. Ranch business planning and resource monitoring for rangeland sustainability. *Rangelands*. 34(1): 11-18. Obtenido de <https://doi.org/10.2111/1551-501X-34.1.11>
- Mahadi, Y., G. Roba and S. Gibbons. 2013. Booklet 2: participatory rangeland planning: a practitioners guide. International Union for Conservation of Nature. Nairobi. Kenya.
- Marwat, K. B., M. A. Khan, A. Nawaz and A. Amin. 2008. *Parthenium hysterophorus* L. A potential source of bioherbicide. *Pakistan Journal of Botany*. 40(5): 1933-1942.
[http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(5\)/PJB40\(5\)1933.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(5)/PJB40(5)1933.pdf)
- Méndez N., G. S. 2019. Evaluación de extractos vegetales con potencial para el control de malezas en agricultura orgánica. Tesis. Licenciatura. Universidad Técnica Estatal del Quevedo. Quevedo - Los Ríos.
- Monteiro A. y S. Santos. 2022. Sustainable approach to weed management: the role of precision weed management. *Agronomy*. 12(1): 1- 14.

- Morales R., R. 2003. Producción de materia seca y digestibilidad *in situ* del forraje de 85 genotipos del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Tesis. Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- Murillo I., A. N. 2018. Determinación de la eficacia de herbicidas pre y post emergentes en el control de la caminadora (*Rottboellia* sp.) en condiciones de secano en la zona de Quevedo. Tesis. Licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo.
- Myers R., L. 2006. Convivir con el fuego; manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. The Nature Conservancy. p. 1-28. Obtenido de https://www.conservationgateway.org/Documents/el_manejo_integral_del_fuego.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2019. Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019. Ginebra, Suiza.
- Padilla C. y Y. Sardiñas. 2009. Degradación y recuperación de los pastizales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 43(4): 351-354.
- Paiola A., A. J., L. Paiola A., A. F. Moreira S., R. Augusto R., E. Pedro Z., J. Bortoluzzi L., M. T. Yamada D. y A. A. Martins B. 2020. Efficacy of imazapic/imazapyr and other herbicides in mixtures for the control of *Digitaria insularis* prior to soybean sowing. Agronomía Colombiana. 38(3): 350-356.
- Palomo G., G. y A. Savory. 2020. Pastoreando, fertilizando y vivificando el suelo. En: Vivificar el suelo: conocimientos y prácticas agroecológicas. Fundación Instituto Agricultura Ecológica y Sostenible (FIAES). p. 295-319.
- Pau, S., E. J. Edwards and C. J. Still. 2013. Improving our understanding of environmental on the distribution of C3 and C4 grasses. Global Change Biology. 19(1): 184-196.

- Peel, M. C., B. L. Finlayson and T. A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11(5): 1633-1644.
- Pérez R., S. G. 2012. Programa de manejo de pastizales. Rancho ganadero experimental Los Ángeles, Municipio de Saltillo, Coahuila. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Pérez M., L., C. Castañeda C., M. Ramos T. y J. A. Tafoya R. 2014. Control químico preemergente de la maleza en tomate de cascara. *Interciencia*. 39(6): 422-427. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931213011>
- Pitty A. 2018. Modo de acción y resistencia de los herbicidas que interfieren en el fotosistema II de la fotosíntesis. *Ceiba*. 55(1): 45-59.
- Pouresmaeil, M., M. S. Nojadeh, A. Movafeghi, B. N. Aghbash, M. K. Nasab, G. Zengin and F. Maggi. 2022. Phytotoxic activity of moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil and its possible use as bio-herbicide. *Process Biochemistry*. 114: 86-92.
- Pozo R., P. P. del. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de pastos tropicales. *Pastos*. 32(2): 109-137.
- Provenza, F. D. 1991. Viewpoint: Range science and range management are complementary but distinct endeavors. *J. Range Manage.* 44(2): 181-183.
- Rosales R., E. y V. A. Esqueda E. 2020. Clasificación de los herbicidas por su modo y mecanismo de acción. En: Delgado C., J. C., E. Rosales R. y J. C. Delgado T. Memoria del Curso de Actualización en el Manejo de Malezas. SOMECIMA: p. 37-58.
- Rosales R., E. y R. Sánchez de la C. 2006. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. SAGARPA. Campo Experimental Río Bravo.
- Rush G. y C. Skarpe. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*. (47): 12-19.

- Sala E., B. E. 2008. Determinación del nivel de sensibilidad de la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*) como respuesta a la aplicación de cinco herbicidas con tres dosis diferentes y en cuatro zonas de la provincia del Guayas. Tesis. Licenciatura. Escuela Superior Politecnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador: Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4530/1/7050.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017. Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión. Diario Oficial de la Federación (D.O.F).
- SSA (Secretaría de Salubridad y Asistencia). 2009. NOM-232-SSA1-2009. Plaguicidas: que establece los requisitos de envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. Diario Oficial de la Federación (D.O.F).
- Sellers, B. A., R. Diaz, W. Overholt, K. A. Langeland and C. J. Gray. 2008. Control of west indian marsh grass with Glyphosate and Imazapyr. *Journal of Aquatic Plant Management*. 46(2): 189-192.
- Spaeth, K., M. Wertz, D.D. Briske, L. W. Jolley, L. J. Metz and C. Rossi. 2013. Rangeland CEAP: an assessment of natural resources conservation service practices. *Rangelands*. 35(1): 2-10. Obtenido de <https://doi.org/10.2111/RANGELANDS-D-12-00040.1>
- Stoddart, L. A. 1967. What is range management? *J. Range Manage.* 20(5): 304-307. Obtenido de <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/647885/5531-5410-1-PB.pdf?sequence=1>
- Stubbendieck, J., J. Volesky and J. Ortmann. 2007. Grasslands management with prescribed fire. *Nebraska Extension Publications*. p. 1-6. Obtenido de <https://extensionpubs.unl.edu/publication/469>

- Tafoya R., J. A. 2022. Aplicación eficiente de los herbicidas. En: Delgado C., J. C., E. Rosales R. y J. C. Delgado T. Memoria del Curso de Actualización en el Manejo de Malezas. SOMECIMA. p. 72-85.
- Valaie, N., S. A. Kazemeini and H. Hamzehzarghani. 2012. Chemical control of downy brome, littleseed canarygrass and green foxtail in rapeseed in Southern Iran. *Journal of Biological and Environmental Sciences*. 6(16): 91-97.
- Valdés R., J. 2015. Gramíneas de Coahuila. CONABIO. Ciudad de México, México.
- Valença, D. da C., D. C. Campos de L., C. Ferreira de P., A. C. Méndes B., M. Alves F., N. E. Gama J., A. Macrae, L. Oliveira M., F. Reinert and B. Ortiz da S. 2020. Changes in leaf blade morphology and anatomy caused by clomazone and saflufenacil in *Setaria viridis*, a model C4 plant. *South African Journal of Botany*. 135: 365-376.
- Vallentine, J. F. 2004. Herbicides for plant control. USDA Forest Service. P. 89-100.
- Vásquez A., R. 1973. Plan inicial de manejo de agostaderos en el rancho demostrativo Los Ángeles. Tesis. Licenciatura. Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Vásquez A., R., J. A. Villarreal Q. y J. Valdés R. 2021. Plantas de pastizales del norte de México. Quintanilla Ediciones. Saltillo, Coahuila, México
- Vasquez E., A., J. J. James, T. A. Monaco and D. C. Cummings. 2010. Invasive plants on rangelands: a global threat. *Rangelands*. 32(1): 3-5.
- Vats, S. 2015. Herbicides: history, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. *Research Gate*. p. 153-192.
- Wagner, R. G., M. Newton, E. C. Cole, J. H. Miller and B. D. Shiver. 2004. The role of herbicides for enhancing forest productivity and conserving land for biodiversity in North America. *Wildlife Society Bulletin*. 32(4): 1028-1041.

- Wigley, T. B., K. V. Miller, D. S. de Calesta and M. W. Thomas. 2002. Herbicides as an alternative to prescribed burning for achieving wildlife management objectives. USDA: Forest Service. 288: 124-138.
- WWF (World Wildlife Fund), Plantlife Global and Equilibrium Research. 2023. Integrating grasslands and savannah into national biodiversity and climate commitments. Rangelands Gateway.
<https://rangelandsgateway.org/sites/default/files/integrating-grasslands--and-savannahs-into--national-biodiversity-and-climate-commitments.pdf>
(recuperado el: 24 de Marzo de 2024).
- Zerga, B. 2015. Rangeland degradation and restoration: a global perspective. Journal of Agriculture and Biotechnology Research. 1(2): 37-54. Obtenido de <http://www.pjournals.org/PJABR>.