

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Control de Malezas de Hoja Angosta Bajo Condiciones de Laboratorio Mediante  
un Herbicida Orgánico Preemergente

Por:

**DANIELA JESABEL MIRELES MATA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Control de Malezas de Hoja Angosta Bajo Condiciones de Laboratorio Mediante  
un Herbicida Orgánico Preemergente

Por:

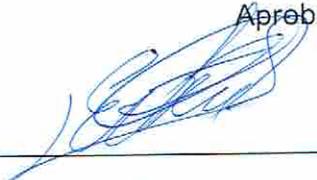
**DANIELA JESABEL MIRELES MATA**

TESIS

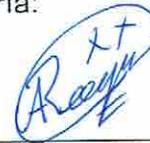
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ernesto Cerna Chávez  
Asesor Principal



Dr. Alberto Roque Enriquez  
Asesor Principal Externo



Dra. Yisa María Ochoa Fuentes  
Coasesor



Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar  
Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Febrero, 2025

## Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.



---

Autor Principal

Daniela Jesabel Mireles Mata

## AGRADECIMIENTOS

**Dios:** Gracias, Dios, por acompañarme en este camino lleno de aprendizajes. Hoy celebro no solo el esfuerzo y la dedicación, sino también tu guía constante, tu amor y tu fortaleza en cada paso. Cada reto fue una oportunidad para aprender y crecer, y cada éxito es un reflejo de Tu bondad. Hoy, al terminar esta etapa, te agradezco por darme la sabiduría, la paciencia y la fuerza para llegar hasta aquí. Mi corazón está lleno de gratitud por todo lo que has hecho en mi vida. ¡Gracias por ser mi luz en este recorrido!

**A mis queridos padres:** Por su amor incondicional, su apoyo incansable y sus sacrificios que me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la humildad. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. Esta tesis es tanto mía como suya.

**A mis queridas hermanas:** A ustedes, que han sido mi compañía en cada etapa de la vida, mi refugio en los momentos difíciles y mi motivo de alegría en los días grises. A Bren e Itza, gracias por ser mi ejemplo, por guiarme con su experiencia y por enseñarme, con su cariño y fortaleza, que no hay obstáculo que no pueda superarse con esfuerzo y determinación. Su apoyo incondicional y su fe en mí han sido un pilar fundamental en este camino. A Sary, gracias por ser mi inspiración, por recordarme siempre la importancia de soñar en grande y por ser un recordatorio constante de la alegría y la ternura que hacen que la vida valga la pena. Espero que este logro también sea un ejemplo para ti, así como lo fueron para mí Bren e Itza. Las tres han sido una parte esencial de este viaje, y esta tesis es un reflejo del amor, la unión y los valores que compartimos.

**A mi alma mater:** Con profunda gratitud y orgullo, dedico este trabajo a la institución que me abrió sus puertas, me brindó las herramientas para crecer académica y profesionalmente, y me permitió formarme no solo como estudiante, sino como una persona con valores, disciplina y compromiso con la sociedad. A sus docentes,

investigadores y personal, cuyo esfuerzo y dedicación hacen de esta universidad un lugar de formación integral, donde la pasión por el aprendizaje y el desarrollo del sector agropecuario son el motor que impulsa a sus alumnos. Hoy, al culminar esta etapa, llevo con orgullo el nombre de la UAAAN en cada uno de mis logros y con el firme compromiso de honrar su enseñanza con trabajo, ética y dedicación. ¡Gracias, UAAAN, por ser mi segunda casa y por forjar en mí el amor por el conocimiento y el servicio!

**Dr. Cerna, Dra. Yisa, Dra. Rocio y Dr. Alberto:** Con profundo respeto y gratitud, quiero dedicar este trabajo a quienes fueron guías esenciales en mi formación académica y en la realización de esta tesis. Su conocimiento, paciencia y compromiso con la enseñanza no solo me permitieron desarrollar este proyecto, sino que también dejaron en mí un aprendizaje invaluable que llevaré conmigo a lo largo de mi vida profesional. Este logro no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino también del compromiso y la dedicación de quienes me guiaron con paciencia y entusiasmo. Por todo ello, mi reconocimiento y mi más sincero agradecimiento.

**Amigos que me acompañaron en esta etapa:** Este logro no habría sido el mismo sin ustedes. A lo largo de esta etapa, compartimos no solo aulas, libros y desvelos, sino también risas, sueños, desafíos y momentos inolvidables que marcaron nuestro camino. Gracias por su apoyo incondicional, por las palabras de aliento en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Su compañía hizo que este viaje fuera más llevadero y enriquecedor, convirtiendo los retos en aprendizajes y los esfuerzos en grandes recuerdos. A cada uno de ustedes, por ser más que compañeros de carrera, por ser familia en esta travesía, les dedico con cariño este trabajo, con la certeza de que este es solo el inicio de nuevos éxitos para todos.

## DEDICATORIA

Queridos papá y mamá,

Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes con su amor, esfuerzo y dedicación han sido mi mayor inspiración y fortaleza. Desde mis primeros pasos en la educación hasta este momento tan significativo, han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional, animándome a seguir adelante en los momentos difíciles y celebrando conmigo cada pequeño avance. Gracias por enseñarme que la perseverancia, la humildad y la honestidad son los pilares fundamentales para alcanzar cualquier meta en la vida. Gracias por cada sacrificio, por cada noche de desvelo, por cada palabra de aliento y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba.

Esta tesis es el reflejo de todo lo que me han enseñado, del amor con el que me han guiado y del ejemplo que me han dado día a día. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud, pero quiero que sepan que este triunfo también es suyo. Ambos han hecho sacrificios significativos para que yo pueda alcanzar mis metas, y estoy eternamente agradecido por ello. Sé que ha habido momentos de preocupación y ansiedad, pero su confianza constante y su amor han sido mi motor para seguir adelante.

Hoy celebro no solo mi titulación, sino también la culminación de nuestros esfuerzos compartidos. Esta victoria es tan suya como mía, y quiero que sepan que su inversión emocional y financiera en mi educación ha dado sus frutos. Gracias por ser los mejores padres que alguien podría desear. Este logro no solo es un testimonio de mi dedicación, sino también de su amor y apoyo constante. Los llevo en mi corazón mientras avanzo hacia nuevos desafíos y estoy emocionada por compartir los éxitos futuros con ustedes.

Con amor y gratitud, Dani

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 Generalidades de Malezas</b> .....	<b>4</b>
3.1.1 Clasificación de las Malezas .....	4
3.1.2 Características de las Malezas .....	5
<b>3.2 Importancia de las Malezas de Hoja Angosta</b> .....	<b>5</b>
3.2.1 Generalidades del Pasto .....	6
3.2.2 Festuca Alta ( <i>Festuca arundinacea</i> ) .....	7
<b>3.3 Control de Malezas</b> .....	<b>8</b>
3.3.1 Tipos de Control .....	9
3.3.2 Herbicidas químicos .....	10
3.3.3 Desventajas del uso de herbicidas.....	11
3.3.4 Resistencia en Pastos a Nivel Mundial y Nacional .....	11
3.3.5 Herbicidas Preemergentes .....	12
3.3.6 Herbicidas Orgánicos .....	13
<b>3.4 Nanopartículas en la Agricultura</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5 Nanopartículas de Silicio</b> .....	<b>16</b>
<b>3.6 Carbón Activado</b> .....	<b>16</b>
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1 Ubicación Geográfica</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2 Herbicida Preemergente</b> .....	<b>18</b>

4.3 Prueba de Germinación Estándar .....	18
4.4 Análisis Estadístico .....	19
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>20</b>
5.1 Porcentaje de Emergencia en Semillas de Maíz ( <i>Zea mays</i> ) .....	20
5.2 Longitud de Plúmula y Raíz en Maíz ( <i>Zea mays</i> ) .....	21
5.3 Peso Fresco y Peso Seco de Semilla de Maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	22
5.4 Porcentaje de Emergencia de Pasto Festuca Alta ( <i>Festuca arundinacea</i> ) .....	23
5.5 Longitud de Plúmula y Raíz de Pasto Festuca Alta.....	24
5.6 Peso Fresco y Seco de Semilla Pasto Festuca Alta .....	25
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Porcentaje de emergencia en semillas de maíz.....	20
<b>Tabla 2.</b> Longitud de plúmula y raíz en semillas de maíz. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Peso seco y peso fresco en semillas de maíz. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de emergencia en pasto festuca alta. ....	24
<b>Tabla 5.</b> Longitud de plúmula y raíz en pasto festuca alta.....	25
<b>Tabla 6.</b> Peso fresco y seco en semilla pasto festuca alta. ....	26

## RESUMEN

Las malezas representan uno de los principales desafíos en la producción agrícola, ya que compiten por recursos esenciales como agua, luz y nutrientes, reduciendo significativamente el rendimiento de los cultivos. Dentro de este grupo, las malezas de hoja angosta o monocotiledóneas, como *Festuca arundinacea* y otras especies de gramíneas, son particularmente problemáticas debido a su rápida germinación, crecimiento vigoroso y resistencia a diversos métodos de control. El manejo de estas malezas requiere estrategias integradas que combinen herbicidas selectivos, rotación de cultivos y técnicas biotecnológicas para minimizar su impacto en los agroecosistemas. El objetivo de esta investigación fue analizar la eficacia de un herbicida preemergente (fermento), tanto en su forma individual como combinado con nanopartículas de hidróxido de silicio y carbón activado en diferentes concentraciones, en el control de malezas de hoja angosta a través de ensayos en tacos de germinación. En esta investigación, se encontró que el tratamiento de Herbicida + Carbón Activado al 10% fue el más efectivo en la inhibición de la germinación de *Festuca arundinacea*, afectando la absorción de agua y nutrientes y limitando su desarrollo inicial. Esto sugiere que el carbón activado puede potenciar la acción del herbicida en el control de esta maleza. Por otro lado, en el maíz, la mayor inhibición se observó con Herbicida + Nanopartículas al 10% y Herbicida solo al 10%, con un 100% de inhibición en la germinación. Estos resultados destacan la importancia de evaluar con mayor profundidad el impacto de estos tratamientos en cultivos agrícolas para optimizar su uso y minimizar daños no deseados. Este producto representa una opción viable para reducir la dependencia de agroquímicos, aunque se recomienda continuar con estudios adicionales para profundizar en su efectividad y posibles impactos.

**Palabras clave:** Control, Malezas, Preemergente, Herbicida.

## ABSTRACT

Weeds represent one of the main challenges in agricultural production, as they compete for essential resources such as water, light and nutrients, significantly reducing crop yields. Within this group, narrow-leafed or monocot weeds, such as *Festuca arundinacea* and other grass species, are particularly problematic due to their rapid germination, vigorous growth and resistance to various control methods. Managing these weeds requires integrated strategies that combine selective herbicides, crop rotation and biotechnological techniques to minimize their impact on agroecosystems. The objective of this research was to analyze the efficacy of a pre-emergence herbicide (ferment), both individually and combined with silicon hydroxide nanoparticles and activated carbon at different concentrations, in controlling narrow-leaf weeds through germination pad trials. In this research, it was found that the Herbicide + 10% Activated Carbon treatment was the most effective in inhibiting the germination of *Festuca arundinacea*, affecting the absorption of water and nutrients and limiting its initial development. This suggests that activated carbon can enhance the action of the herbicide in the control of this weed. On the other hand, in corn, the greatest inhibition was observed with Herbicide + 10% Nanoparticles and Herbicide only at 10%, with 100% percent of inhibition. These results highlight the importance of further evaluating the impact of these treatments on agricultural crops to optimize their use and minimize unwanted damage. This product represents a viable option to reduce dependence on agrochemicals, although it is recommended to continue with additional studies to delve deeper into its effectiveness and possible impacts.

**Keywords:** Control, Weeds, Pre-emergent, Herbicide.

## I. INTRODUCCIÓN

En la antigüedad dentro la práctica de la agricultura, las malezas no existían tal como las entendemos hoy, ya que la vegetación crecía en lo que algunos autores denominan un “estado de equilibrio natural”, este equilibrio se mantenía hasta que los disturbios naturales tales como deslizamientos de tierra, caída de árboles, invasión o recesión de aguas, erupciones volcánicas, entre otros, alteraban parcialmente o eliminaban toda la vegetación en un área determinada (Zimdahl *et al.*, 2018). A raíz de estos disturbios, se desencadenaba un proceso conocido como sucesión vegetal, en el cual las especies herbáceas que germinan más rápidamente colonizaban el sitio, seguidas por plantas de crecimiento más lento y mayor tamaño, hasta llegar finalmente al establecimiento de bosques o ecosistemas maduros (Connell y Slatyer, 1977).

El origen de las malezas se encuentra en los hábitats creados por el ser humano al generar disturbios como quemas, tala y remoción del suelo, con el fin de sembrar cultivos o crear áreas de pastoreo (Mahaut *et al.*, 2020). Estas prácticas impiden que la vegetación alcance nuevamente un equilibrio ecológico, favoreciendo la proliferación de especies que ocupan rápidamente los espacios alterados (Smith *et al.*, 2015). Ecológicamente, las malezas son plantas con alta área foliar específica, floración temprana, prolongada y una fuerte afinidad por ambientes ricos en nutrientes, luminosos y bien drenados. Este grupo se caracteriza por rasgos biológicos que les permiten tolerar filtros ecológicos y disturbios constantes en los campos de cultivo. Sin embargo, su impacto no se limita a estas áreas, sino que pueden interferir en diversas actividades humanas (Bourgeois *et al.*, 2019).

México posee una gran diversidad de especies que se desarrollan en sitios perturbados, conocidas como malezas (Smith *et al.*, 2006). Se calcula que existen aproximadamente 3,000 especies de malezas, lo que representa entre 10% y el 12% del total de plantas superiores presentes en el país (Dekker *et al.*, 2011). Sin

embargo, no todas las especies de malezas tienen el mismo impacto en las actividades agropecuarias, algunas afectan negativamente a los cultivos al competir con ellos por recursos, mientras que otras pueden tener un efecto positivo al ser utilizadas como productos alimenticios o forrajeros adicionales en los sistemas agrícolas, a pesar de los avances en técnicas y tecnologías para su control, las malezas no han sido eliminadas de manera efectiva, esto se debe a su capacidad para adaptarse biológicamente a ambientes alterados o modificados (Vibrans *et al.*, 2011).

En los últimos años, el uso excesivo de pesticidas sintéticos en los cultivos ha tenido consecuencias negativas no solo sobre las especies objetivo, sino también sobre organismos no deseados, lo que ha contribuido a la reducción continua de la biodiversidad en los sistemas agrícolas (Huang y Chou, 2005). En el caso de los herbicidas, la diversidad de especies puede verse afectada dependiendo de la cantidad de aplicaciones realizadas y del tipo de compuesto utilizado. Estos productos pueden inducir cambios en las plantas, ya sea por la resistencia natural de las especies más comunes al químico o por la evolución de la resistencia en la población (Owen y Zelaya, 2005).

La nanotecnología ha emergido como una disciplina clave de la innovación agrícola, especialmente mediante el uso de nanopartículas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de cultivo, se aplica en diversas áreas, como el control de plagas, la mejora de la absorción de nutrientes, el desarrollo de materiales para envases más ecológicos y la mejora de la resistencia a enfermedades (Saidan *et al.*, 2019). Uno de los principales usos del carbón activado en la agricultura es la remediación de suelos contaminados, ya que absorbe residuos de pesticidas, metales pesados y otros contaminantes, reduciendo su disponibilidad en el entorno agrícola (Radhakumari *et al.*, 2014). Se ha demostrado que el carbón activado puede mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas y disminuyendo la lixiviación de fertilizantes (Llovet, 2021).

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Inhibir la germinación de malezas de hoja angosta utilizando un herbicida preemergente de origen natural solo y en combinación con nanopartículas y carbón activado bajo condiciones de laboratorio.

#### **2.1.2 Objetivos Específicos**

Evaluar la germinación de semillas de maíz y pasto Festuca alta bajo condiciones *in vitro* mediante el uso de un herbicida preemergente natural.

Evaluar el porcentaje de germinación y parámetros de desarrollo sobre el efecto del herbicida preemergente natural.

### **2.2 Hipótesis**

Al menos una de las concentraciones y combinaciones del herbicida preemergente será efectivo contra malezas de hoja angosta.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Generalidades de Malezas

El término "maleza" hace referencia a aquellas plantas que crecen en lugares no deseados, es decir, plantas que se encuentran "Fuera de su sitio" o que son consideradas indeseables"; las malezas son plantas altamente adaptadas a ambientes modificados por la actividad productiva y su presencia interfiere de manera significativa con los cultivos, esta competencia por recursos esenciales como agua, luz y nutrientes, constituye una de las principales causas de la pérdida de rendimiento agrícola (Sarandón *et al.*, 2002). Se estima que las pérdidas promedio causadas en todo el mundo oscilan entre el 12 y el 40%, dependiendo en la región y el tipo de cultivo (Bedmar *et al.*, 2002).

##### 3.1.1 Clasificación de las Malezas

Las malezas pueden clasificarse de diversas maneras según su ciclo de vida, morfología, hábitat y modo de reproducción; según su ciclo de vida pueden ser anuales, completando su ciclo en una sola temporada de crecimiento; bianuales, con un ciclo de dos años en el que forman una roseta el primer año y florecen el segundo o perenes con una vida superior a dos años y capacidad de regenerarse a partir de raíces, rizomas o estolones (Holm *et al.*, 1997; Labrada, 2003; Radosevich *et al.*, 2007). Desde el punto de vista morfológico, pueden ser monocotiledóneas, generalmente gramíneas con hojas angostas y venación paralela o dicotiledóneas con hojas anchas y nervaduras reticuladas, en cuanto a su hábitat, las malezas afectan los cultivos y reducen su rendimiento; las acuáticas prosperan en ambientes acuáticos pudiendo obstruir canales y las urbanas crecen en espacios perturbados como aceras y carreteras, finalmente, según su modo de reproducción, pueden propagarse sexualmente mediante semillas o de manera asexual a través de rizomas, estolones o tubérculos (Merrill y Lembi, 2009; Diaz-Soltero, 2022).

### 3.1.2 Características de las Malezas

Las malezas tienen una alta capacidad de adaptación, producción y dispersión de semillas, diversidad en los cultivos y resistencia a herbicidas; su plasticidad fenotípica les permite prosperar en diversos ambientes y condiciones climáticas, como es el caso de especies de género *Echinochloa*, que pueden completar su ciclo de vida en climas intensos con distintos niveles de temperatura y humedad; además, muchas malezas generan grandes cantidades de semillas, lo que asegura su persistencia en el ecosistema, por ejemplo, *Oxalis corniculata* y *Modiola caroliniana* han demostrado altos índices de valor de importancia en cultivos de duraznero, indicando su potencial de interferencia debido a su abundante reproducción (Moreno *et al.*, 2021). En cuanto a la diversidad de especies, estudios realizados en Colima, México, identificaron 222 especies de malezas en distintos cultivos comerciales, lo que sugiere que cada cultivo tiende a tener una comunidad distintiva de malezas asociadas, influenciada por factores bioclimáticos como la temperatura y la precipitación, finalmente la resistencia a herbicidas es otro desafío en el manejo de malezas, ya que algunas especies, como *Echinochla cruz-galli* y *Echinochloa colona*, han desarrollado resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa debido a mutaciones en el sitio de acción del herbicida (Amat, 2022; Verde, 2022).

### 3.2 Importancia de las Malezas de Hoja Angosta

Las malezas de hoja angosta, también conocidas como gramíneas o poáceas, desempeñan un papel significativo en los sistemas agrícolas debido a su impacto en la productividad de los cultivos y en la dinámica de los ecosistemas agrícolas, estas malezas compiten directamente con los cultivos por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes, lo que puede resultar en reducciones significativas en el rendimiento de los cultivos, además, algunas especies de malezas de hoja angosta pueden albergar plagas y enfermedades que afectan a los cultivos causando desafíos para los agricultores (Reed *et al.*, 2014).

Uno de los principales problemas es la competencia por recursos, ya que estas malezas absorben agua, luz y nutrientes esenciales para los cultivos, lo que resulta en una disminución en su crecimiento y calidad (Radosevich *et al.*, 2007). Además, la dificultad en el control de estas especies se ha incrementado debido al desarrollo de resistencia a herbicidas, lo que obliga a implementar estrategias integradas de manejo que combinen métodos químicos, mecánicos y culturales (Heap, 2014). Otro aspecto relevante es la reducción de la biodiversidad, ya que la proliferación de maleza angosta puede desplazar especies nativas, alterando el equilibrio del ecosistema y afectando la diversidad de flora y fauna (Liebman, 2000). Finalmente, su impacto en la producción agrícola no solo es ambiental, sino también económico, pues su presencia aumenta los costos de producción debido a la necesidad de controles adicionales, como el uso intensivo de herbicidas y mano de obra para su eliminación (Oerke, 2006).

### 3.2.1 Generalidades del Pasto

Los pastos, también conocidos como gramíneas, son fundamentales en la agricultura, ya sea como forraje para el ganado o como cobertura vegetal para la conservación del suelo; sin embargo, ciertas especies de pastos pueden comportarse como malezas en sistemas agrícolas, compitiendo con cultivos comerciales y afectando negativamente su rendimiento; una de las principales formas en que los pastos actúan como malezas es a través de competencia por recursos esenciales, el pasto Johnson *Sorghum halepense* es una gramínea perenne, es conocida por su agresiva competencia con cultivos de maíz y soja, por su sistema radicular extenso y su rápido crecimiento, esto le permite absorber grandes cantidades de nutrientes y agua, reduciendo la disponibilidad de estos recursos para los cultivos deseados (Weston y Duke, 2003). Además de la competencia directa, algunos pastos liberan compuestos alelopáticos que inhiben la germinación y el crecimiento de otras plantas; el pasto Alepo *Sorghum halepense* es un ejemplo de una gramínea que libera compuestos alelopáticos que afectan negativamente al cultivo porque las exudaciones de las raíces contienen

sorgoleona, un compuesto que inhibe la fotosíntesis y el crecimiento radicular de plantas vecinas (Nkuna *et al.*, 2018).

Muchas especies de pastos tienen la capacidad de reproducirse sexual como asexualmente, lo que les permite establecerse y propagarse rápidamente en diversos ambientes, la presencia de pastos como malezas puede llegar a limitar las opciones de siembra y requerir ajustes en las prácticas agrícolas, la infestación de *Sorghum halepense* en campos destinados a la rotación con soja puede obligar a los agricultores a modificar planes de cultivo o implementar prácticas de control más intensivos, como el uso de cultivos de cobertura o labranza profunda, para reducir las poblaciones de la maleza (Heap, 2014; Smith, 2014).

### 3.2.2 Festuca Alta (*Festuca arundinacea*)

Es una gramínea perenne de estación fría, que se caracteriza por un sistema radicular profundo, que le confiere una notable tolerancia a la sequía y la capacidad de acceder a nutrientes en capas profundas del suelo; en cuanto a su desarrollo, el pasto festuca alta prospera en suelos bien drenados, con un pH que oscila entre 5.5 y 7.5 capaz de adaptarse a una amplia gama de condiciones, muestra una notable tolerancia a suelos de baja fertilidad y condiciones de estrés hídrico, su crecimiento es óptimo en áreas con precipitaciones anuales de al menos 750 mm, pero su sistema radicular profundo le permite sobrevivir en condiciones más secas (Ball *et al.*, 2015). Geográficamente, es originaria de Europa, pero su cultivo se ha extendido a diversas regiones del mundo, en América del Norte, es común en el sureste de Estados Unidos, mientras que en América del Sur se encuentra en países como Argentina y Uruguay, su adaptabilidad le permite establecerse en regiones con climas templados y subtropicales, y es frecuentemente utilizada en pastizales y como césped en áreas urbanas (Casles y Duncan, 2003).

Uno de los principales problemas asociados al pasto festuca alta es su capacidad para competir por recursos esenciales; su sistema radicular profundo y su rápido

establecimiento lo permiten desplazar a especies cultivadas, reduciendo su rendimiento, la presencia en campos de trigo disminuye la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, afectando negativamente el crecimiento del cultivo, además, puede liberar compuestos alelopáticos que inhiben la germinación y el desarrollo de otras plantas ya que los exudados radiculares de festuca alta contienen sustancias que reducen la tasa de germinación de semillas de maíz un 15%, este efecto alelopático puede comprometer la densidad de plantas deseadas al cultivo (García y Torres, 2017; Smith y Jones, 2018).

También puede llegar a servir como hospedera de plagas y enfermedades que afectan los cultivos, ciertas poblaciones de festuca alta albergan al hongo *Fusarium spp.*, el cual puede transferirse a los cultivos incrementando la incidencia de fusariosis; esta interacción indirecta amplifica los desafíos fitosanitarios en sistemas agrícolas (Martínez y López, 2019). La persistencia de las semillas que se encuentran en el suelo es otro factor que dificulta su manejo, las semillas de esta especie pueden permanecer viables en el suelo durante más de cinco años, lo que implica que incluso después de implementar medidas de control, festuca alta pueda reemerger y afectar futuros ciclos de cultivo (Campero, 1996). En el sistema de rotación de cultivos, la presencia de dicho pasto puede llegar a limitar las opciones de siembra y requerir ajustes en las prácticas agrícolas, en los campos infestados optan por especies más competitivas que puedan establecerse rápidamente y reducir la ventaja competitiva de la maleza (Rodríguez y Morales, 2015).

### **3.3 Control de Malezas**

La creciente preocupación por la conservación del medio ambiente se centra en la dificultad de encontrar métodos de control eficaces de plantas no deseadas que no afecten negativamente la producción agrícola, el ecosistema o los organismos benéficos; para lograr un manejo sostenible, es esencial comprender los componentes del agroecosistema y las complejas interacciones que ocurren en los entornos físicos y químicos, sin este conocimiento, resulta complicado predecir cuál

es el método de producción agrícola más adecuado que minimice los efectos adversos sobre el ambiente y la biodiversidad (Quintero-Pertuz y Carbono-De La hoz *et al.*, 2015).

Una de las estrategias más comunes es el uso de herbicidas selectivos que permiten eliminar malezas sin dañar el cultivo principal; este enfoque combina prácticas culturales, biológicas y mecánicas para reducir la dependencia de herbicidas y minimizar el impacto ambiental, el uso de las coberturas vegetales también ha sido investigado como una técnica de control de malezas, se han evaluado el uso de leguminosas como cobertura viva y muerta en el cultivo de maíz (Caamal, 1995; Esqueda-Esquivel y Tosquy-Valle, 2004). Encontrado que ciertas especies de cobertura pueden reducir significativamente la emergencia de malezas al competir por recursos y modificar las condiciones del suelo (Acciaresi y Sarandon, 2002). La identificación y clasificación de malezas son pasos fundamentales para implementar estrategias de control adecuadas, se han realizado estudios sobre el manejo y control de plagas de agave, donde identificaron las principales especies de malezas presentes y propusieron métodos específicos para su manejo, enfatizando la necesidad de un enfoque localizado y adaptado a las condiciones específicas de cada región (Domínguez, 2007).

### 3.3.1 Tipos de Control

Existen diversos tipos de control para las malezas destacando el control químico que es uno de los métodos más utilizados en la gestión de malezas, ya que permite su eliminación de manera eficiente mediante el uso de herbicidas, este enfoque mejora la productividad agrícola (Paff, 2019; López- Urquidez *et al.*, 2020). El control cultural se basa en prácticas agrícolas que promueven el crecimiento del cultivo y dificultan el desarrollo de malezas utilizando cultivos de cobertura como alternativa, aumento de la fertilidad y maximización del crecimiento en plantaciones, demostrando que los cultivos de cobertura pueden reducir la incidencia de malezas y mejorar la salud del suelo (Guevara-Bonitilla *et al.*, 2018). El control mecánico

implica la eliminación física de las malezas mediante métodos como la labranza, el deshierbe manual o el uso de maquinaria especializada, minimizando el daño del cultivo y maximizar la eficacia en la eliminación de malezas (Rojas-Martínez *et al.*, 2014). Por último y no menos importante el control biológico consiste en el uso de organismos vivos para reducir las poblaciones de malezas, algunas coberturas vegetales pueden ser efectivas para suprimir el crecimiento de malezas y mejorar las condiciones del suelo (García-Ocaña *et al.*, 2024).

### 3.3.2 Herbicidas químicos

Los herbicidas son sustancias químicas utilizadas para controlar o eliminar plantas no deseadas, conocidas como malezas, en diversos entornos agrícolas y no agrícolas, estos se clasifican en función de su modo de acción, selectividad y persistencia al ambiente, esta clasificación es esencial para desarrollar estrategias de manejo de malezas efectivas y sostenibles (Chauhan *et al.*, 2017). La aplicación de herbicidas debe realizarse con precaución, considerando factores como la dosis, el momento de aplicación y las condiciones ambientales, para minimizar impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana, el uso indebido de herbicidas puede concluir al desarrollo de resistencia en las malezas, lo que complica su control y requiere la implementación de prácticas de manejo integrado de malezas (Heap, 2010).

A pesar de los avances logrados en el control de malezas mediante métodos químicos la creciente preocupación radica en los efectos contraproducentes que han surgido, especialmente debido a la aparición de biotipos resistentes a herbicidas; este fenómeno ha complicado la gestión de malezas, ya que los bióticos resistentes no solo reducen la efectividad de los herbicidas convencionales, sino que también incrementan la necesidad de utilizar mayores dosis de productos químicos o recurrir a métodos alternativos más costosos y complejos (Vencillet *et al.*, 2012).

### 3.3.3 Desventajas del uso de herbicidas

El uso excesivo de herbicidas puede tener efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana, la aplicación inadecuada de herbicidas puede contaminar fuentes de agua, afectando la biodiversidad acuática y la calidad del agua potable, la persistencia de estos compuestos en el suelo puede alterar el microbiota edáfica, afectando la fertilidad y la estructura del suelo (López *et al.*, 2018). La exposición directa o indirecta a herbicidas puede provocar intoxicaciones en seres humanos y animales, existen casos de intoxicación aguda en trabajadores agrícolas debido a la inhalación o contacto dérmico con herbicidas, manifestándose síntomas como náuseas, mareos y en casos graves daño hepático, además la exposición crónica se ha asociado con trastornos endocrinos y cánceres en poblaciones expuestas (Zambrano y Zavala, 2022). El uso repetido de herbicidas con el mismo modo de acción favorece la selección de poblaciones de malezas resistentes, está claro el ejemplo de la aparición de biotipos de *Lolium perenne* resistente al glifosato en diversas regiones agrícolas, lo que ha reducido la eficiencia de este herbicida y aumentando los costos de producción, la resistencia se debe a mecanismos como la alteración del sitio de acción del herbicida o la capacidad aumentada de detoxificación en las plantas (Malaspina, 2022).

Para mitigar estos efectos negativos, se recomienda el uso de herbicidas con diferentes modos de acción, la rotación de herbicidas con distintas clases químicas ayuda a retrasar la aparición de resistencia y mejorar la efectividad del control de malezas, además el uso de prácticas agrícolas más sostenibles, como el laboreo mínimo y el empleo de cultivos de cobertura, puede reducir la dependencia de los herbicidas pre emergentes (Koger y Reddy, 2016).

### 3.3.4 Resistencia en Pastos a Nivel Mundial y Nacional

Australia es uno de los países más afectados por la resistencia de malezas a los herbicidas, el problema de la resistencia se ha vuelto particularmente pronunciado

en los pastizales destinados a la ganadería, esta situación ha obligado a los productores a modificar sus estrategias de manejo, adoptando métodos como la rotación de cultivos y el uso de prácticas de manejo integrado, las cuales ha demostrado ser eficientes en la mitigación de la resistencia (Parrella y Giogini, 2014). En Estados Unidos, la resistencia de malezas en los pastos también ha sido un problema importante, especialmente con herbicidas como glifosato; la resistencia cruzada en malezas de pastos ha resultado en la pérdida de efectividad de los herbicidas más utilizados, ante esta situación los agricultores han optado por usar métodos alternos de control como el uso de herbicidas con diferentes mecanismos de acción y establecimiento de prácticas de manejo integrado de malezas (Norsworthy *et al.*, 2012). A nivel nacional, la resistencia de las malezas en pastos también es una preocupación creciente, las malezas resistentes a herbicidas están afectando los pastizales en varias regiones del país, este problema ha impulsado a los agricultores mexicanos a implementar enfoques de manejo de malezas que incluyan la rotación de herbicidas y la integración de control mecánico y biológico de las malezas (González *et al.*, 2019).

En países de América Latina como Argentina y México, las malezas también representan una seria amenaza para la producción agrícola; en Argentina, las malezas como *Sorghum halapenses* y *Amaranthus palmeri* han causado importantes pérdidas en los rendimientos de soja y maíz (Fernández- Quintanilla *et al.*, 2018). En México, la invasión de malezas ha afectado la producción de cultivos como maíz y el frijol, especialmente en regiones donde las prácticas agrícolas no han integrado estrategias sostenibles de control de malezas esto se asocia a la resistencia de las malezas, requieren la implementación urgente de medidas para mitigar las pérdidas, como el uso de tecnologías de control más avanzado y el manejo integrado de malezas (Gonzales y Martínez, 2019).

### 3.3.5 Herbicidas Preemergentes

Los herbicidas preemergentes son productos químicos utilizados antes de la germinación de las semillas de malezas para prevenir su crecimiento, estos

productos juegan un papel esencial en el manejo integrado de malezas, especialmente en cultivos agrícolas donde el control de malezas es crucial para maximizar el rendimiento de los cultivos, la aplicación de los herbicidas preemergentes puede reducir significativamente la competencia de las malezas, promoviendo un ambiente más favorable para el desarrollo de los cultivos deseados (Toffolatti *et al.*, 2018). Estos herbicidas funcionan de manera efectiva cuando se aplican de manera oportuna, antes de que las semillas de malezas comiencen a germinar y a competir por nutrientes, la mayoría de los herbicidas preemergentes actúan interfiriendo con procesos fisiológicos clave en las primeras etapas de desarrollo de plantas, los herbicidas como la pendimetalina y le metolachlor inhiben la mitosis celular en las raíces de las plantas, lo que impiden su desarrollo normal y evita que las malezas emergentes establezcan raíces o hojas (Galon *et al.*, 2018).

El uso de herbicidas preemergentes ayudan a controlar una amplia gama de especies de malezas anuales incluyendo gramíneas y dicotiledóneas, estos herbicidas proporcionan un control eficaz durante la temporada de crecimiento sin necesidad de aplicaciones continuas, lo que mejora la eficiencia del uso de insumos, el manejo adecuado de estos herbicidas requiere un conocimiento profundo de las condiciones edáficas, como la textura del suelo, la humedad y la temperatura, ya que estos factores incluyen directamente en la efectividad de la aplicación, se señala que las aplicaciones de herbicidas preemergentes deben realizarse antes de la lluvia o el riego para minimizar su distribución en el suelo y aumentar su actividad sobre las malezas emergentes (Brunton *et al.*, 2018; Zhao y Zhang, 2019).

### 3.3.6 Herbicidas Orgánicos

Una opción emergente frente al uso de herbicidas sintéticos es el desarrollo de pesticidas basados en principios activos de plantas o metabolitos secundarios de microorganismos (Reichert *et al.*, 2019).

Los herbicidas orgánicos han ganado popularidad en los últimos años debido a la creciente demanda de productos agrícolas libres de químicos sintéticos, a diferencia de los herbicidas convencionales, los herbicidas orgánicos son derivados de fuentes naturales, como aceites esenciales, extractos de plantas y minerales, siendo una alternativa para controlar las malezas de manera más ecológica y sostenible, estos son compatibles con la agricultura orgánica porque prohíbe el uso de químicos sintéticos ayudando en las certificaciones orgánicas de los agricultores (Jat *et al.*, 2019). Actúan a través de diferentes mecanismos, que incluyen la deshidratación de las plantas, la alteración de su capacidad para realizar la fotosíntesis o la inhibición de su sistema hormonal, un ejemplo es el vinagre que ha demostrado ser eficaz para controlar malezas anuales y perennes como *Taraxacum officinale*, *Hordeum vulgare* sin afectar la calidad del suelo (Seyoum *et al.*, 2018).

En comparación con los herbicidas sintéticos, los orgánicos tienen la ventaja de ser menos tóxicos para la fauna benéfica; como insectos polinizadores y macroorganismos el suelo lo que favorece la biodiversidad agrícola, el uso de estos no presenta el mismo riesgo de contaminación de las fuentes de agua subterránea que los herbicidas convencionales ya que muchos son biodegradables y no persisten en el ambiente durante largos periodos (Oliveros-Bastida, 2008). La eficiencia de los herbicidas orgánicos puede ser limitada en comparación con los sintéticos, estos productos son generalmente efectivos en el control de malezas jóvenes, a menudo requieren aplicaciones repetidas para controlar malezas más establecidas o perennes esto puede llegar a aumentar el costo y el tiempo de manejo de malezas para los agricultores y puede llegar a no ser tan efectivo contra todas las especies de malezas presentes en un campo determinado (Constanza *et al.*, 2021).

### **3.4 Nanopartículas en la Agricultura**

El prefijo "nano" significa enano y en el ámbito científico se refiere a estructuras que corresponde a las mil millonésimas parte de algo, la nanotecnología se puede definir

como la disciplina enfocada en el estudio, diseño, síntesis, manipulación, aplicación de materiales, dispositivos y sistemas funcionales, mediante el control de la materia a nano escala, aprovechando los fenómenos y propiedades que emergen en esta escala (Dos Santos *et al.*, 2014). Las nanopartículas son el tipo de nanomaterial más estudiado debido a su fácil y eficiente producción, su tamaño, composición y las moléculas en su superficie les dan una identidad sintética determinada por el método de síntesis, para producirlas, se usan métodos biológicos, físicos y químicos, que se dividen en descendentes (top-down), que reducen grandes estructuras a nanométricas, y ascendentes (bottom-up), que ensamblan átomos en partículas (Krol y Col *et al.*, 2017).

La síntesis química de nanopartículas metálicas requiere tres componentes: una sal metálica, un agente reductor y un agente estabilizante; otra alternativa para sintetizar nanopartículas es mediante métodos biológicos utilizando extractos acuosos de plantas, bacterias, hongos o virus (Rivas *et al.*, 2021). Los extractos de plantas contienen ingredientes activos que actúan como agentes reductores naturales, capaces de producir nanopartículas a partir de sales u óxidos metálicos, entre estos agentes se encuentran terpenoides, polifenoles, azúcares, alcaloides y proteínas; al utilizar extractos de plantas para sintetizar nanopartículas es probablemente el método más rápido y libre de desechos químicos (Makarov *et al.*, 2014).

La nanotecnología ha emergido como un avance científico-tecnológico capaz de transformar sectores agrícolas, ofreciendo herramientas innovadoras para la detección molecular de estrés biótico y abiótico, así como para la rápida identificación de enfermedades fitopatógenas, la mejora de la capacidad de las plantas para absorber agua y pesticidas (Khot *et al.*, 2012; Nuruzzaman *et al.*, 2015).

Uno de los problemas comunes en la agricultura es la presencia de malezas para combatirlas se han empleado nanoherbicidas ya que algunas están diseñadas para destruir malezas, reduciendo su competencia con las plantas cultivadas y

mejorando los rendimientos, los nanoherbicidas están siendo desarrollados para enfrentar problemas relacionados con las malezas perennes y el banco de semillas en el suelo (Mehrazar *et al.*, 2015). Además, las nanopartículas metálicas pueden ser utilizadas para remediar la contaminación ambiental causada por residuos industriales y productos químicos agrícolas, como pesticidas y herbicidas (Yadav y Srivastava, 2015). Aunque las aplicaciones actuales de nanopartículas como herbicidas son limitadas, los avances en la investigación y el aumento de productos basados en nanotecnología en el sector agrícola sugieren un crecimiento continuo, impulsando el desarrollo de la agricultura ecológica en el futuro (Kumar *et al.*, 2015).

### **3.5 Nanopartículas de Silicio**

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y se encuentra de manera natural en las plantas, con concentraciones que varían entre el 0.1% y el 10%, su principal función es el fortalecimiento de las paredes celulares, así como la reducción de la acumulación de metales en las plantas (Aryadeep, 2020). A pesar de que el silicio se considera un elemento no esencial para el crecimiento de las plantas, diversos estudios sobre su administración y bio distribución han reportado efectos benéficos significativos en hortalizas, cereales y frutos. Las Nanopartículas de silicio (SiNPs) se han aplicado a los cultivos mediante diversos métodos modo hidropónico, suplementación directa del suelo y aplicación foliar (Cao *et al.*, 2015). La suplementación directa al suelo es el éxito de esta técnica, pero depende de características del suelo, como su textura, pH, contenido de sal y la duración de la liberación de agroquímicos por las NPs, en la aplicación foliar las SiNPs se rocían en solución sobre la superficie de las hojas, donde la absorción ocurre a través de las estomas o las células epidérmicas (Tejeda *et al.*, 2023).

### **3.6 Carbón Activado**

El carbón activado es un material con propiedades sobresalientes debido a su alta área superficial interna y porosidad desarrollada, lo que lo convierte en un material

ideal para diversas aplicaciones, las prioridades adsorbentes del carbón activado no dependen exclusivamente de su superficie y porosidad (Mejia, 2018). Un factor relevante en su capacidad de adsorción es la interacción con las sustancias polares, las cuales tienden a retenerse de manera débil sobre la superficie apolar del carbón, para mejorar esta interacción, la fijación de heteroátomos, principalmente oxígeno e hidrógeno, sobre la superficie del material, activa la formación de estructuras o grupos funcionales como ácidos carboxílicos, lactonas, carbonilo y estas elevan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente, pudiendo imprimir un carácter ácido-base al carbón (Reinoso *et al.*, 2002). Debido a la amplia distribución en el tamaño de sus poros y a su variada morfología, los materiales pueden clasificarse en función de sus características porosas en microporosos, mesoporosos o macroporosos, además, es posible que presenten una estructura mixta, denominada micromesoporosa, que combina características de los tres tipos mencionados, cada tipo de poro contribuye de manera clave a las porosidades de adsorción del carbón activado; los microporos adsorben moléculas pequeñas, mientras que los mesoporos y macroporos capturan compuestos de mayor tamaño, mejorando la capacidad de adsorción global (Goncalves *et al.*, 2017).

Existen dos tipos de carbón activado, en polvo y granular, el carbón activado en polvo (CAP) tiene un tamaño promedio de 100  $\mu\text{m}$ , con un rango típico entre 55 y 75  $\mu\text{m}$ , por otro lado, el carbon activado granular (CAG) presenta partículas con un tamaño de entre 1 y 5 mm (Navarro y Vargas, 210). El carbón activado es ampliamente utilizado en diversos campos, como la belleza, la alimentación y la producción de plántulas, su estructura cristalina reticular similar a la del grafito, presenta un orden menos perfecto en comparación con este último, el área de superficie del carbón activado varía según la materia prima a utilizar y el proceso de activación empleado (Espinoza, 2019). Actualmente, los carbones activados tienen múltiples aplicaciones en diversos países, siendo EE. UU. el principal consumidor, representando aproximadamente el 80% del uso total en distintos productos (Ures *et al.*, 2014).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación Geográfica

El experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, específicamente en el Departamento de Parasitología, dentro del Laboratorio de Toxicología.

### 4.2 Herbicida Preemergente

Se evaluó un herbicida preemergente elaborado a partir de fermento de soya, tanto en su forma pura como combinado al 5% con carbón activado (C. A.) y nanopartículas de hidróxido de silicio (NPs). Las dosis empleadas fueron del 3%, 5% y 10% del producto. Para esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones para cada tratamiento. Además, se incluyó un testigo con el herbicida químico comercial Metolacoloro (TQ), así como un testigo absoluto (TA) que únicamente fue tratado con agua.

### 4.3 Prueba de Germinación Estándar

Se llevaron a cabo dos bioensayos: el primero utilizando semillas de Maíz (*Zea mays*) y el segundo con semillas de pasto Festuca Alta (*Festuca arundinacea*). Se seleccionan las semillas con las mejores características en cuanto a tamaño, color y ausencia de daños visibles. Además, las semillas fueron tratadas previamente con un fungicida para prevenir posibles contaminaciones.

La prueba se realizó siguiendo la metodología de germinación entre papel descrita por ITSA (1976). Para ello, se prepararon tacos de germinación utilizando papel estraza doble como base. En cada taco se colocaron 50 semillas dispuestas en la misma orientación, distribuidas en 5 hileras de 10 semillas cada una, una vez dispuestas las semillas, se aplicó el tratamiento correspondiente, mojando la base del taco. Posteriormente, se colocó otra hoja de papel sobre las semillas y se asperjó nuevamente con el tratamiento. El taco se enrolló simulando un taco y se

colocó en una bolsa de plástico previamente etiquetada. Los tacos fueron incubados durante 15 días a una temperatura de  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

El bioensayo fue monitoreado cada tres días, asegurándose de que mantuvieran la humedad adecuada y estuvieran libres de hongos o bacterias. La evaluación del experimento se realizó 15 días después de su establecimiento. Los parámetros evaluados incluyeron el número de semillas sin germinar, número de semillas germinadas, longitud de las raíces y plúmulas, así como el peso fresco y seco de las plántulas. Además, se calculó el porcentaje de emergencia (PE) utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{PE} = (\text{Número total de plántulas germinadas} / \text{Número total de semillas}) * 100.$$

#### **4.4 Análisis Estadístico**

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar y los resultados obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza, con la comparación de medias realizadas mediante la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Software), versión 9.0.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Porcentaje de Emergencia en Semillas de Maíz (*Zea mays*)

A partir de la información presentada en la tabla 1, podemos entender que la aplicación del herbicida solo a 10 % provocó una inhibición del 100 % en la emergencia de semillas de maíz. Esto coincide con lo reportado por Duke y Powles (2008), quienes encontraron que altas concentraciones de glifosato pueden generar efectos fitotóxicos severos en especies de cultivos sensibles, incluyendo alteraciones en la germinación y desarrollo radicular. Al igual que Gomes *et al.* (2014) describieron que el glifosato en concentraciones elevadas no solo reduce la emergencia, sino que también altera la actividad enzimática de la semilla, afectando su viabilidad. Los resultados indican que la combinación del herbicida con nanopartículas (NPs) al 10% obtuvo valores similares al producto solo, Ghormade *et al.* (2011) comentaron que el uso de nanopartículas en agroquímicos ha sido explorado como una estrategia para mejorar la eficiencia de los herbicidas al permitir una liberación controlada y mejorar su absorción por malezas objetivo. Sin embargo, Rizwan *et al.* (2011), mencionaron que cuando se utilizan en concentraciones altas, las NPs pueden modificar la dinámica del herbicida en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas, lo que podría aumentar su efecto tóxico en cultivos no objetivos, como el maíz en este caso.

**Tabla 1.** Porcentaje de emergencia de semillas de maíz.

Dosis	HS (%)	H + NPs (%)	H + C. A. (%)
3 %	2.80 b	14 b	4 b
5 %	0.80 b	2 b	4.80 b
10 %	0 b	0 b	0.40 b
TQ	60 a		
TA	50.40 a		

## 5.2 Longitud de Plúmula y Raíz en Maíz (*Zea mays*)

La Tabla 2 nos muestra que la aplicación de herbicidas al 10 % resultó en una inhibición total del crecimiento de la plúmula, esto dice que la concentración del herbicida utilizada generó un efecto tóxico en las semillas de maíz, impidiendo su desarrollo inicial. Travalos *et al.* (2017) nos señalan que altas concentraciones de herbicidas pueden afectar negativamente la germinación y el crecimiento de las plántulas debido a la alteración de procesos fisiológicos clave, como la división celular y la elongación de los tejidos. Dayan y Duke, (2014) mencionaron que los herbicidas afectan la plúmula al inhibir la biosíntesis de aminoácidos esenciales o al interferir con la actividad enzimática dentro de las células vegetales. El uso de herbicidas con nanopartículas al 10% tampoco permitió el crecimiento de la plúmula, lo que indica que la formulación nanoencapsulada no redujo el impacto fitotóxico del herbicida. Estudios realizados por Rico *et al.* (2011) mostraron que nanopartículas metálicas pueden generar estrés oxidativo en las células vegetales, afectando la germinación y el desarrollo inicial.

Al analizar los efectos de la aplicación de herbicidas al 10% comprendemos que influyen en el desarrollo radicular y por ende en la salud y productividad de las plantas. Estudios de Alfaro *et al.*, (2021) encontraron que la aplicación de 2,4-D afectó significativamente el crecimiento de *Zea mays* variación amiláceo evidenciando que había una disminución en la longitud de raíz, esta reducción en el desarrollo radicular puede comprometer la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes, afectando su rendimiento general. En el herbicida con NPS obtuvimos los mismos resultados que el herbicida solo ya que la incorporación de nanopartículas en las formulaciones de herbicidas busca mejorar la eficiencia. Sin embargo, los efectos de esta combinación en longitud de raíz pueden variar, investigaciones previas de Afonso *et al.*, (2015) sugieren que las nanopartículas pueden influir en el crecimiento radicular dependiendo de su concentración y tipo. Por ejemplo, se ha observado que nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) pueden promover el crecimiento de las raíces en ciertas concentraciones, mientras que en dosis más altas pueden ser inhibidoras, es crucial determinar la concentración

optima y el tipo de nanopartículas utilizadas para asegurar que no se produzcan efectos en el desarrollo de la raíz.

**Tabla 2.** Longitud de plúmula y raíz en semillas de maíz.

Dosis	Longitud de plúmula (cm)			Longitud de raíz (cm)		
	HS	H + NPs	H + C. A.	HS	H + NPs	H + C. A.
3 %	6.60 ab	5.44 ab	0.13 b	2.36 ab	2.50 ab	0.19 b
5 %	0.34 b	0.30 b	3.28 b	0.70 b	0.90 b	2.21 ab
10 %	0 b	0 b	0.30 b	0 b	0 b	0.20 b
TQ	0.83 b			1.35 b		
TA	12.21 a			5.24 a		

### 5.3 Peso Fresco y Peso Seco de Semilla de Maíz (*Zea mays*)

La información de la tabla 3 nos indica que la aplicación de herbicida al 10 % obtuvo efectos significativos en el peso fresco y seco de las plantas de maíz ya que obtuvimos 0 gr, sin embargo, los resultados fueron estadísticamente similares en los demás tratamientos, Gonzales *et al*, (2021) mencionan que ciertos herbicidas como la atrazina pueden reducir el peso fresco de las plantas debido a su acción inhibidora sobre procesos fisiológicos. por otro lado, en la tabla 3 podemos observar que la combinación del herbicida más nanopartículas obtuvo 0 gr de peso. Algunos estudios sugieren que las nanopartículas pueden influir en el crecimiento y la biomasa de las plantas dependiendo de su concentración y tipo. Por ejemplo, González *et al*, (2021) expresaron que la aplicación de nanoherbicidas basados en PLGA cargados con atrazina mostró una liberación controlada del herbicida, lo que podría reducir la fitotoxicidad en comparación con la aplicación de atrazina sola, por lo que es crucial determinar la concentración y el tipo de nanopartículas adecuados para asegurar que no se produzcan efectos negativos en el desarrollo de la planta.

Vale, (2019) evaluó el efecto de herbicidas selectivos en el cultivo de *Zea mays L.* y encontraron que la aplicación de nicosulfuron afectó negativamente el desarrollo de la planta incluyendo una reducción en el peso seco, esta reducción en la biomasa puede comprometer el rendimiento agrícola y la salud general de las plantas. Raliya *et al.*, (2015) mostraron en su investigación la aplicación de nanopartículas de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en plantas de maíz generando una mejora en el crecimiento y el peso seco en concentraciones óptimas, mientras que concentraciones más altas resultaron en efectos fitotóxicos.

**Tabla 3.** Peso fresco y peso seco en semillas de maíz.

Dosis	Peso fresco (gr)			Peso seco (gr)		
	PS	H + NPs	H + C. A.	PS	H + NPs	H + C. A.
3 %	2.22 b	5.24 b	1.61 b	1.29 bc	2.88 b	0.76 bc
5 %	0.85 b	1.43 b	2.67 b	0.72 bc	1.22 bc	1.82 bc
10 %	0 b	0 b	0.44 b	0 c	0 c	0.38 bc
TQ	14.08 a			7.33 a		
TA	19.44 a			7.31 a		

#### 5.4 Porcentaje de Emergencia de Pasto Festuca Alta (*Festuca arundinacea*)

En la Tabla 4. Podemos observar que el tratamiento de carbon activado más herbicida al 10 % obtuvo una reducción del 19.5 % de germinación en comparación al testigo absoluto, siendo la dosis con mayor efectividad. Estos datos difieren de lo realizado por Silva *et al.* (2016), quienes encontraron que la aplicación de carbón activado en suelos tratados con herbicidas permitió una emergencia de plántulas similar a la de los controles sin herbicida, evidenciando su eficacia como agente protector. Pereira *et al.* (2015), han indicado que la incorporación de carbón activado en el suelo puede proteger las semillas y plántulas de los efectos fitotóxicos de ciertos herbicidas, mejorando así el porcentaje de emergencia.

**Tabla 4.** Porcentaje de emergencia de pasto festuca alta.

Dosis	H (%)	H + NPs (%)	H + C. A. (%)
3 %	93.50 a	92 a	89.50 a
5 %	95.50 a	92.50 a	96.50 a
10 %	90 a	90 a	77 b
TQ	0 c		
TA	96.50 a		

### 5.5 Longitud de Plúmula y Raíz de Pasto Festuca Alta

La inhibición de la germinación y el crecimiento de la plúmula en *Festuca arundinacea* es esencial para el manejo de malezas en sistemas agrícolas. En la Tabla 5, se observa una diferencia significativa en la longitud de la plúmula entre el testigo absoluto y el tratamiento con nanopartículas al 3%, lo que sugiere un efecto inhibitorio por parte de este último. Los datos indican que la longitud de la plúmula en el testigo fue de 24.64 cm, mientras que en el tratamiento con nanopartículas al 3% fue de 19.86 cm, evidenciando una reducción notable en el crecimiento de la plúmula. Juárez-Maldonado *et al.* (2023) mencionan que el uso de nanopartículas de hidroxapatita, pueden inhibir la germinación y el crecimiento de plántulas, lo que sugiere que la selección y dosificación adecuadas de nanopartículas son cruciales para maximizar el control de malezas. Lira-Saldivar *et al.* (2016), realizaron investigaciones sobre el efecto de nanopartículas metálicas en la fisiología de semillas mostrando que ciertas concentraciones pueden inhibir la germinación y el crecimiento de plántulas, dependiendo de la dosis y el tipo de nanopartícula aplicada.

En la Tabla 5 se observa una diferencia significativa en la longitud de raíz entre el testigo absoluto (26.67 cm) y el tratamiento nanopartículas al 10 % (5.82 cm), lo que sugiere un efecto inhibitorio del desarrollo de la raíz por parte de este último. La inhibición del crecimiento puede atribuirse a la interacción de las nanopartículas con componentes celulares de las semillas, generando estrés oxidativo o interfiriendo

en la absorción de agua y nutrientes esenciales para la elongación radicular (Vázquez-Núñez, 2023).

**Tabla 5.** Longitud de plúmula y raíz de pasto festuca alta.

Dosis	Longitud de plúmula (cm)			Longitud de raíz (cm)		
	PS	H + NPs	H + C. A.	PS	H + NPs	H + C. A.
3 %	22.42 ab	19.86 ab	24.82 ab	7.40 cd	7.09 cd	13.17 bc
5 %	27.12 ab	20.14 ab	27.46 ab	15.16 b	6.33 d	12.03 bcd
10 %	23.55 ab	22.26 ab	43.73 a	8.89 cd	5.82 de	10.80 bcd
TQ	0 b			0 e		
TA	24.64 ab			26.67 a		

### 5.6 Peso Fresco y Seco de Semilla Pasto Festuca Alta

En la Tabla 6 los datos indican que el peso fresco en el testigo fue de 0.89 gr, mientras que en el tratamiento nanoparticulas al 5% fue de 0.65 gr, evidenciando una reducción notable en el peso fresco. Este hallazgo es consistente con estudios previos que reportan efectos similares al utilizar nanopartículas para el control de malezas, López-Martínez *et al.* (2023) evaluaron el efecto de nanopartículas de hidroxiapatita en la germinación de *Cucumis sativus* y encontraron que concentraciones elevadas pueden inhibir el crecimiento de las plántulas.

En la Tabla 6, los datos reportados de peso seco muestran una diferencia significativa entre los tratamientos, destacando al herbicida solo con 0.15 gr, siendo superior al testigo absoluto, el cual presentó un peso de 0.24 gr. De la Vega *et al.* (2019), evaluaron el efecto de nanopartículas de hidroxiapatita en la germinación de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y encontraron que a concentraciones elevadas inhibieron el crecimiento de las plántulas. López-Martínez *et al.* (2023) señalan que concentraciones de 200 mg L<sup>-1</sup> de nanopartículas de hidroxiapatita pueden inhibir la germinación en ciertas especies vegetales. Presa-Figueroa *et al.* (2016),

mencionan que estos parametros nos permiten conocer la calidad de las semillas y su potencial para generar competencia a los cultivos.

**Tabla 6.** Peso fresco y seco de semilla pasto festuca alta.

Dosis	Peso fresco (gr)			Peso seco (gr)		
	PS	H + NPs	H + C. A.	PS	H + NPs	H + C. A.
3 %	0.86 d	0.71 g	0.78 e	0.18 f	0.19 e	0.20 d
5 %	1.22 a	0.65 i	1.12 b	0.20 d	0.16 h	0.23 b
10 %	0.69 h	0.77 f	0.69 h	0.15 i	0.21 c	0.17 g
TQ	0 j			0 j		
TA	0.89 c			0.24 a		

## VI. CONCLUSIONES

En el bioensayo con semillas de maíz el herbicida solo y adicionado con nanoparticulas al 10 % obtuvieron el 100 % de inhibicion en la germinacion, sin embargo, los demás tratamientos fueron efectivos ya que la germinacion fue minima.

En el caso de *Festuca arundinacea*, el tratamiento que mostró la mayor inhibición en la germinación fue herbicida mas carbón activado al 10%, esta mezcla puede ser una alternativa en el control de malezas de hoja angosta.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acciaresi, H. A. y Sarandón, S. J. (2002). Manejo de malezas en la agricultura sustentable. Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. La Plata: Ediciones Científicas Americanas. Cap, 17, 331-361.
- Afonso, M. S., Ferreira, S., Domingues, F. C. y Silva, F. (2015). Resveratrol production in bioreactor: Assessment of cell physiological states and plasmid segregational stability. *Biotechnology Reports*, 5, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.10.008>
- Alfaro, S. V., Rodríguez-Rodríguez, R. y Polo-Corro, J. L. (2021). Efecto del herbicida 2, 4-d sobre el crecimiento de *Zea mays* L. var. "amiláceo" en la provincia de Santiago de Chuco. *Revista Científica PUNKURI*, 1(2), 17-26. <https://doi.org/10.55155/punkuri.v1i2.21>
- Amat Jiménez, P. J. (2022). Caracterización morfológica de las malezas del género *Echinochloa* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Arteaga Crespo, Y. (2013). Termoconversión del aserrín de *Acacia mangium* Willd en biocarbón para acondicionador de sustratos en la producción de plántulas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Doctoral dissertation, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Facultad Forestal y Agronomía. Centro de Estudios Forestales).
- Aryadeep, R. (2020). Silicon-nanoparticles in crop improvement and agriculture. *International Journal on Recent Advancement in Biotechnology & Nanotechnology*, 3(1): 54-65.
- Ball, D. M., Hoveland, C. S. y Lacefield, G. D. (2015). *Southern Forages: Modern Concepts for Forage Crop Management*.

- Bedmar, F., Eyherabide, J. y Satorre, E. H. (2002). Bases para el manejo de malezas. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, 273-311.
- Brunton, D. J., Boutsalis, P., Gill, G. y Preston, C. (2018). Resistance to multiple PRE herbicides in a field-evolved rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) population. *Weed Science*, 66(5), 581-585.
- Campero, C. M. (1996). Efecto de la festuca tóxica sobre el desempeño reproductivo y producción en bovinos: una revisión.
- Cao, B., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L. y Xu, K. (2015). Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. *Scientia Horticulturae*, 194: 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.037>.
- Malaspina, M. (2022). Efectos de la composición específica de cultivos de cobertura en la comunidad de malezas 1. Introducción. Tesis de magíster en ciencias agrarias, 92.
- Casler, M. D. y Duncan, R. R. (Eds.). (2003). *Turfgrass biology, genetics, and breeding*. John Wiley & Sons.
- Chauhan, B. S., Mahajan, G., Sardana, V., Timsina, J. y Jat, M. L. (2017). Herbicide resistance in weeds: Current status and future challenges in crop production. *Outlook on Agriculture*, 46(4), 271-280. <https://doi.org/10.1177/0030727017732186>
- Costanza, R., Atkins, P. W., Hernandez-Blanco, M. y Kubiszewski, I. (2021). Common asset trusts to effectively steward natural capital and ecosystem services at multiple scales. *Journal of environmental management*, 280, 111801. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111801>

- Dayan, F. E. y Duke, S. O. (2014). Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant physiology*, 166(3), 1090-1105.
- De la Vega García, N. L., Valdivia, C. B. P., Chávez, M. D. C. A. G., Chacón, D. P. y González, R. C. (2020). Síntesis y efecto de nanopartículas de hidroxiapatita en la germinación y crecimiento de frijol. *Agrociencia*, 54(8), 1009-1029.
- Diaz-Soltero, H. (2022). Global identification of invasive species: The CABI invasive species compendium as a resource. In *Invasive species and global climate change* (pp. 239-247). GB: CABI.
- Domínguez-Escudero, J. M. A., Iglesias-Gómez, J. M., Olivera-Castro, Y., Milera-Rodríguez, M. D. L. C., Pérez, O. C. T. y Wencomo-Cárdenas, H. B. (2021). Caracterización del pastizal y su manejo en un sistema de pastoreo racional Voisin, en Panamá. *Pastos y Forrajes*, 44.
- Domínguez, j. F. P. y cortés, r. R. Tecnología de manejo y control de plagas del agave. *Conocimiento y practicas agronomicas para la produccion de agave tequilana weber en la zona de denominacion de origen del tequila*, 135.
- Dos Santos CA, Seckler MM, Ingle AP, Gupta I, Galdiero S, Galdiero M, *et al.* Silver nanoparticles: therapeutical uses, toxicity, and safety issues. *Journal of pharmaceutical sciences*. 2014;103(7):1931-44. Epub 2014/05/16
- Duke, S. O. y Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4), 319-325. <https://doi.org/10.1002/ps.1518>
- Espinoza Barragán, D. A. (2019). Aplicación de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz como filtro purificador de agua.

- Esqueda-Esquivel, V. A. y Tosquy-Valle, O. H. (2004). Efecto de cihalofop-butilo para el control de malezas gramíneas anuales en arroz de temporal. *Agronomía Mesoamericana*, 173-1178.
- Fernández-Quintanilla, C., Salas-Pérez, R. y Jiménez-Aguilar, A. (2018). Control de malezas resistentes en la agricultura argentina: Impacto en la producción agrícola. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 31(3), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.rta.2018.02.008>
- Galon, L., De David, F. A., Forte, C. T., Júnior, F. W., Radunz, A. L., Kujawinski, R. y Mossi, A. J. (2018). Chemical management of weeds in corn hybrids. *Weed biology and management*, 18(1), 26-40.
- García-Ocaña, M., Ramírez-Sánchez, S., Ireta-Moreno, J., Rodríguez-Navarro, S., Tamayo-Esquer, L. y Arispe-Vazquez, L. (2024). Coberturas en control de malezas en cultivo de agave en los Altos de Jalisco. *Abanico Boletín Técnico*, 3, e2024-29.
- García, L. M., Pérez, A. B., & Torres, J. C. (2017). Efecto alelopático de *Festuca arundinacea* en la germinación de *Zea mays*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 123-130.
- Ghormade, V., Deshpande, M. V. y Paknikar, K. M. (2011). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology advances*, 29(6), 792-803. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.007>
- Gomes, M. P., Smedbol, E., Chalifour, A., Hénault-Ethier, L., Labrecque, M., Lepage, L. y Juneau, P. (2014). Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. *Journal of experimental botany*, 65(17), 4691-4703. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru269>

- González, J. A., Chaves, N. y Mora, M. (2021). Estudio del potencial herbicida de nanopartículas de PLGA cargadas con atrazina. *Repositorio TEC*.
- González, J. R., López, L. G. y Martínez, J. L. (2019). Impacto de la resistencia de malezas en pastizales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.rmcp.2019.03.008>
- Guevara-Bonilla, M., Arguedas-Gamboa, M., Arias-Aguilar, D., Briceño-Elizondo, E. y Esquivel-Segura, E. (2018). Utilización de cultivos de cobertura como alternativa para el control de malezas, aumento de la fertilidad y maximización del crecimiento en plantaciones forestales comerciales recién establecidas.
- Heap, I. (2014). Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest management science*, 70(9), 1306-1315. <https://doi.org/10.1002/ps.3696>
- Heap, I. J. A. M. (2010). The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.Weedscience.Com>.
- Heap, I., y Duke, S. O. (2018). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest management science*, 74(5), 1040-1049.
- Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solís, J., Gómez, M., Keiski, R., Cruz, G. (2018). Biochar based on residual biomasses and its influence over seedling emergence and growth in vivarium of *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 569-577. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13>
- Hilera, M., Pereira, E. y Lamela, L. (2015). Manejo y explotación de los pastos para la producción de leche. En *Fomento y explotación de los pastos tropicales. Compendio de artículos técnicos* (pp. 45-60). Biblioteca André Voisin.

- Holm, L., Doll, J., Holm, E., Pancho, J. V. y Herberger, J. P. (1997). World weeds: natural histories and distribution. <https://doi.org/10.1111/wbm.12141>
- Jat, R. K., Singh, R. G., Gupta, R. K., Gill, G., Chauhan, B. S. y Pooniya, V. (2019). Tillage, crop establishment, residue management and herbicide applications for effective weed control in direct seeded rice of eastern Indo–Gangetic Plains of South Asia. *Crop Protection*, 123, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.007>
- Khot, L., Sankaran, S., Maja, J., Ehsani, R. y Schuster, E. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Protection*, 35, 64-70.
- Koger, C. H. y Reddy, K. N. (2016). Effectiveness of preemergence herbicides in managing resistant and non-resistant weed populations. *Weed Technology*, 30(3), 627-632. <https://doi.org/10.1017/wet.2016.50>
- Król A., Pomastowski P., Rafińska K., Railean-Plugaru V., Buszewski B., (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in colloid and interface science* 249 (2017) 37–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033>
- Kumar, R., Yadava, Y., Yadav, A., Singh, K., Mishra, J., Yadav, R. Kumar, S., Sinha, N. y Mohan, M. (2015). Nanotechnology and its future prospective for sustainable agriculture. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 28(2), 101-109.
- Labrada, R. (2003). *Weed management for developing countries: Addendum 1*. Rome: FAO.
- Liebman. (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed research*, 40(1), 27-47. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00164.x>

Llovet Martín, A. (2021). 5 Role of biochar in N cycling in a Mediterranean agroecosystem: potential benefits and trade-offs.

López-Martínez, G., Ruiz-Torres, N., Diaz-Barriga-Castro, E., Lira-Saldívar, R. H., López Hernández, I., Luna Anguiano, J. y Flores-Hernández, E. A. (2023). Efecto de nanopartículas de hidroxapatita en el desarrollo y germinación de Cucumis Sativus L. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 10(SPE3). <https://doi.org/10.19136/era.a10niii.3608>

López-Urquídez, G. A., Murillo-Mendoza, C. A., Martínez-López, J. A., Ayala-Tafoya, F., Yañez-Juárez, M. G. y López-Orona, C. A. (2020). Efecto de herbicidas preemergentes en el control de malezas y el desarrollo de cebolla bajo condiciones de fertirriego. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(5), 1149-1161.

López, F., Martínez, R., & Sánchez, P. (2018). Impacto ambiental de los herbicidas: contaminación del agua y efectos en la biodiversidad. Ecología y Medio Ambiente, 22(3), 123-135.

Martín, G., Milera, M., Simón, L., Hernández, D., Hernández, I., Iglesias, J. y García, E. G. (2000). La agroforestería para la producción animal; un enfoque de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes” Indio Hatuey”. Pastos y Forrajes, 23(3), 251-265.

Martínez, F. J. y López, R. A. (2019). Festuca arundinacea como hospedera alternativa de Fusarium spp. En sistemas agrícolas. Fitopatología, 54(3), 215-222.

Mehrazar, E., Rahaie, M. y Rahaie, S. (2015). Application of nanoparticles for pesticides, herbicides, fertilizers and animals feed management. International Journal of Nanoparticles, 8(1), 1-19.

- Mejia, M. V. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et technica*, 23(3), 411-419.
- Merrill, A., & Lembi, C. A. (2009). *Applied weed science: including the ecology and management of invasive plants*.
- Moreno-Preciado, O. E., & Balaguera-López, H. E. (2021). Caracterización de la comunidad de malezas y su diversidad en una modelación estadística en un cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1734>
- Navarro, P., Vargas, C. (2010). Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 46(3), 227-239. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0929>
- Nkuna, K. V., Visser, V., Wilson, J. R. y Kumschick, S. (2018). Global environmental and socio-economic impacts of selected alien grasses as a basis for ranking threats to South Africa. *NeoBiota*, 41, 19-65. Doi.10.3897/neobiota.1.26599
- Norsworthy, J. K., Ward, S. M., Shaw, D. R., Llewellyn, R. S., Nichols, R. L., Webster, T. M. y Barrett, M. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed science*, 60(SP1), 31-62.
- Nuruzzaman, M., Rahman, M., Liu, Y. y Naidu, R. (2016). Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(7), 1447-1483.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of agricultural science*, 144(1), 31-43.

- Oliveros-Bastida, A. D. J. (2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Química Viva*, 7(1), 2-34.
- Paff, K. y Asseng, S. (2019). A crop simulation model for tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). *Agronomy*, 9(12), 817.
- Parrella, G., Nappo, A. G., Manco, E., Greco, B. y Giorgini, M. (2014). Invasion of the Q2 mitochondrial variant of Mediterranean *Bemisia tabaci* in southern Italy: possible role of bacterial endosymbionts. *Pest management science*, 70(10), 1514-1523. <https://doi.org/10.1002/ps.3686>
- Pereira, G. A. M., Barcellos Jr, L. H., Silva, D. V., Braga, R. R., Teixeira, M. M., Silva, A. A. y Ribeiro Jr, J. I. (2015). Application height in herbicides efficiency in bean crops. *Planta daninha*, 33(3), 607-614.
- Pereira, R. G., Veloso, C. M., da Silva, N. M., de Sousa, L. F., Bonomo, R. C. F., de Souza, A. O. y Fontan, R. D. C. I. (2014). Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and ZnCl<sub>2</sub> as activating agents for BSA and  $\alpha$ -lactalbumin adsorption. *Fuel Processing Technology*, 126, 476-486.
- Presa-Figueroa, M. I., Andrio-Enríquez, E., Rivera-Reyes, J. G., Mendoza-Elos, M. y Cervantes-Ortíz, F. (2016). Calidad fisiológica en líneas endogámicas de maíz para el Bajío. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 1(1), 125-125.
- Quintero-Pértuz, I. y Carbonó-DelaHoz, E. (2015). Panorama del manejo de malezas en cultivos de banano en el departamento de Magdalena, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 329-340.

- Radhakumari, M., Ball, A., Bhargava, S. K. y Satyavathi, B. (2014). Optimization of glucose formation in karanja biomass hydrolysis using Taguchi robust method. *Bioresource technology*, 166, 534-540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.065>
- Radosevich, S. R., Holt, J. S. y Ghera, C. M. (2007). *Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management*. John Wiley & Sons.
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N. y Biswas, P. (2015). Synergistic effect of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on spinach growth in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(9), 2377-2383. <https://doi.org/10.1021/jf5060706>
- Reed, J. D., Keeling, J. W. y Dotray, P. A. (2014). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in GlyTol® LibertyLink® cotton. *Weed Technology*, 28(4), 592-600.
- Reichert, F.; Albertoni, M.; Forte, C.; Pandolfi, L.; Dil, J.; Weirich, S.; Carezia, C.; Mulinari, J.; Mazutti, M.; Fongaro, G.; Galon, L.; Treichel, H.; Mossi, A. 2019. New perspectives for weeds control using autochthonous fungi with selective bioherbicide potential. *Heliyon* 5: e01676.
- Reiné, R., Barrantes, O., Broca, A. y Ferrer, C. (2009). *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Huesca. Available at: [http://www.uco.es/integraldehesa/components/com\\_booklibrary/ebooks/Multifuncionalidad de los pastos. pdf](http://www.uco.es/integraldehesa/components/com_booklibrary/ebooks/Multifuncionalidad%20de%20los%20pastos.pdf).
- Reinoso, R. F. y Sabio, M. M. (2002). *El carbón activado en procesos de descontaminación*. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.

- Rico, C. M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J. R. y Gardea-Torresdey, J. L. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(8), 3485-3498. <https://doi.org/10.1021/jf104517j>
- Rivas-Ramírez, L. K. y Torres-Pacheco, I. (2021). Nanopartículas: Nuevas aliadas de la agricultura. *Digital Ciencia@ UAQRO*, 14(2), 19-27.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M. y Abbas, F. (2017). Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of hazardous materials*, 322, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>
- Rodríguez, P. A., Sánchez, D. F. y Morales, H. G. (2015). Estrategias de rotación de cultivos para el manejo de *Festuca arundinacea* como maleza. *Agronomía Sustentable*, 10(4), 301-309.
- Rojas-Martínez, M. S. O., Cabrera-Medina, M., Pablos-Reyes, P. y Rodríguez-Fajardo, A. (2014). Evaluación del control de malezas y la fitotoxicidad en caña de azúcar. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 18(1), 1-4.
- Saidan, M. N. (2019). Cross-sectional survey of non-hazardous waste composition and quantities in industrial sector and potential recycling in Jordan. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100227>
- Sarandón, S. J., Abril, A., Acciaresi, H. A., Altieri, M. A., Astier Calderón, M., Bezus, R. y Velarde, I. (2002). *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*.
- Sevilla, U. D. (2011). *Manual del carbón activo*. Aula. Aguapedia. Org, 1-89.

- Seyoum, S., Rachaputi, R., Chauhan, Y., Prasanna, B. y Fekybelu, S. (2018). Application of the APSIM model to exploit G× E× M interactions for maize improvement in Ethiopia. *Field Crops Research*, 217, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.012>
- Silva, A. A., Ferreira, L. R. y Santos, J. B. (2016). Carvão ativado na mitigação da fitotoxicidade de herbicidas em plantas de arroz. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(2), 123-131. <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i2.443>
- Slavíková, L., Ibrahim, E., Alquicer, G., Tomašechová, J., Šoltys, K., Glasa, M. y Kundu, J. K. (2022). Weed hosts represent an important reservoir of turnip yellows virus and a possible source of virus introduction into oilseed rape crop. *Viruses*, 14(11), Article 2511.
- Smith, A. B. y Jones, C. D. (2018). Competencia por nitrógeno entre *Festuca arundinacea* y *Triticum aestivum*. *Journal of Agricultural Science*, 76(1), 89-97.
- Smith, A. N. (2014). Reduced Chemical Weed Control Options in Virginia for Corn and Turfgrass and Characterization of *Sorghum halepense* Expressing Multiple Resistance to Nicosulfuron and Glyphosate.
- Tejeda Villagómez, E. A., Hernández-Adame, L., Nieto Navarro, F. y Anzaldo Montoya, M. (2023). Nanopartículas de silicio como vehículos de transporte para moléculas de interés agrícola. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69732>
- Toffolatti, S. L., Russo, G., Campia, P., Bianco, P. A., Borsa, P., Coatti, M. y Sierotzki, H. (2018). A time-course investigation of resistance to the carboxylic acid amide mandipropamid in field populations of *Plasmopara viticola* treated with anti-resistance strategies. *Pest management science*, 74(12), 2822-2834. <https://doi.org/10.1002/ps.5072>

- Travlos, I., Cheimona, N. y Bilalis, D. (2017). Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. *Agronomy*, 7(3), 60.
- Ures, P., Jácome, A. y Suárez, J. (2014). Adsorción en Carbón Activado. *Inditex*, 25. <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Adsorción+en+carbón+activo.pdf/29bfa658-fbd1-c98b-1606-8eb1252fc1b9>
- Vaca, I. (2018). Efecto del carbón activado en la germinación y brotación in vitro de Citrus. QUITO: Universidad Politécnica Salesiana.
- Vázquez-Núñez, E. (2023). Use of nanomaterials in agriculture and their ecological and environmental implications. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30).
- Vele Torres, W. H. (2019). Efecto de herbicidas selectivos en el cultivo de Zea mays L. var. marginal en Satipo.
- Vencill, W. K., Nichols, R. L., Webster, T. M., Soteris, J. K., Mallory-Smith, C., Burgos, N. R. y McClelland, M. R. (2012). Herbicide resistance: toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crops. *Weed Science*, 60(SP1), 2-30.
- Verde, C. L. L. (2022). Malezas en cultivos de Colima: Un enfoque florístico y ecológico. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26, 11-12. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.15>
- Volke Sepúlveda, T. y Velasco, J. A. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. ISBN 968-817-557-9. 64 pp

- Weston, L. A. y Duke, S. O. (2003). Weed and crop allelopathy. *Critical reviews in plant sciences*, 22(3-4), 367-389.
- Yadav, A. S. y Srivastava, D. S. (2015). Application of nano-technology in weed management: A Review. *Research & Reviews: Journal of Crop Science and Technology*, 4(2), 21-23.
- Zambrano, S. M. A. y Zavala, A. M. M. (2022). Intoxicación por inhibidores de colinesterasa y su efecto en la salud de agricultores. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria)*. ISSN: 2588-090X. Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP), 7(4), 1487-1515.
- Zhao, D., Wang, L. y Zhang, L. (2019). Evaluation of preemergence herbicides for controlling resistant weed species in soybean fields. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(3), 632-640. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06387>