

**Universidad Zamorano**  
**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**  
**Ingeniería Agronómica**



**Universidad  
Zamorano®**

Proyecto Especial de Graduación  
**Determinación de la Resistencia de *Parthenium hysterophorus L.* al  
Glifosato en Zamorano, Honduras.**

Estudiante

María Fernanda Pilaguano Basantes

Asesores

Rony Muñoz, M. Sc.

Raúl Ulloa, M.Sc.

Honduras, octubre 2025

## **Autoridades**

**KEITH L. ANDREWS**

Rector i.a.

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

**JULIO CESAR NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	4
Índice de Figuras .....	5
Índice de Anexos .....	6
Resumen .....	7
Abstract .....	8
Introducción .....	9
Materiales y Métodos .....	12
Ubicación del Estudio.....	12
Tratamientos .....	12
Selección del Material Vegetal de <i>Parthenium hysterophorus</i> .....	13
Establecimiento del Experimento .....	14
Variable Evaluadas .....	15
Porcentaje de Fitotoxicidad .....	15
Biomasa en Peso Seco.....	16
Diseño y Análisis Experimental .....	16
Resultados y Discusión.....	19
Porcentaje de Fitotoxicidad .....	19
Biomasa Peso Seco.....	25
Conclusión.....	29
Recomendaciones .....	30
Referencias.....	31
Anexos.....	33

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Dosis de glifosato (kg i.a./ha) aplicadas a dos poblaciones de <i>Parthenium hysterophorus</i> uno posiblemente susceptible y otro con indicios de resistencia en Zamorano, Honduras. ....	12
Cuadro 2 Escala visual de fitotoxicidad para glifosato utilizada para evaluar los tratamientos aplicados a <i>Parthenium hysterophorus</i> , Zamorano, Honduras.....	15
Cuadro 3 Parámetros del modelo logístico para desarrollar la curva sigmoideal de dosis respuesta de los biotipos de <i>Parthenium hysterophorus</i> al glifosato. ....	18
Cuadro 4 Estimación de parámetros para el modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable peso seco (porcentaje en base al control) y estimación del Índice de Resistencia para biotipos resistente (BZR) y susceptibles (BSZ) de Plantas de <i>Parthenium hysterophorus</i> . L, Zamorano, Honduras. ....	25

### Índice de Figuras

Figura 1 Lugar de Estudio y sitios donde se recolectaron los poblaciones de <i>Parthenium hysterophorus</i> en Zamorano, Honduras.....	13
Figura 2 Respuesta total a los 25 días después de aplicación de glifosato de la población posiblemente susceptible (BSZ) de <i>Parthenium hysterophorus</i> al herbicida, expresada como porcentaje de fitotoxicidad en función de la dosis aplicada (kg ai/ha) en Zamorano, Honduras. ....	21
Figura 3 Respuesta total a los 25 días después de aplicación de glifosato de la población posiblemente resistente (BRZ) de <i>Parthenium hysterophorus</i> al herbicida, expresada como porcentaje de fitotoxicidad en función de la dosis aplicada (kg ai/ha) en Zamorano, Honduras. ....	22
Figura 4 Plantas de <i>Parthenium hysterophorus</i> . L del biotipo susceptible tratadas con nueve dosis de glifosato (kg i.a./ha) a los 25 días después de la aplicación en Zamorano, Honduras. ....	24
Figura 5 Plantas de <i>Parthenium hysterophorus</i> del biotipo resistente tratadas con nueve dosis de glifosato (kg i.a./ha) a los 25 días después de la aplicación en Zamorano, Honduras. ....	24
Figura 6 Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de peso seco con respecto al control de biotipos resistente (BZR) y susceptibles (BSZ) de plantas de <i>Parthenium hysterophorus</i> . L, Zamorano, Honduras.....	26

### Índice de Anexos

Anexo A Resultados de la calibración para Roundup® 35.6 SL .....	33
Anexo B Dosificación del adherente MEGA PEGA + pH® .....	34
Anexo C Referencia de la dosis comercial .....	35
Anexo D Cálculos de calibración y dosificación.....	36
Anexo E Análisis estadístico en RStudio: modelo log-logístico de la biomasa (peso seco) en Zamorano, Honduras.....	38
Anexo F Análisis estadístico en InfoStat: resultados de fitotoxicidad y biomasa (peso seco).....	39
Anexo G Registro fotográfico del ensayo con <i>P. hysterophorus</i> .....	41

## Resumen

En Zamorano, Honduras, el uso continuo de glifosato durante más de 15 años ha generado indicios de resistencia en *Parthenium hysterophorus* L. Con el objetivo de determinar el índice de resistencia, se evaluaron dos poblaciones: uno susceptible (BSZ), recolectado en un lote sin aplicaciones previas de glifosato, y otro con sospecha de resistencia (BRZ), proveniente de un lote con aplicaciones frecuentes. Las muestras recolectadas fueron plántulas, las cuales se trasplantaron en macetas. Una vez que presentaron de 6 a 8 hojas verdaderas, se les aplicaron diez dosis de glifosato (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0 y 2.25 kg i.a./ha), bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo bifactorial y cuatro repeticiones. Se evaluó la fitotoxicidad a los 10, 13, 16, 19, 22 y 25 días después de la aplicación (DDA), así como la biomasa aérea en peso seco a los 25 DDA. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.0001$ ) entre las poblaciones determinando que son biotipos. El biotipo susceptible (BSZ) alcanzó el 100% de fitotoxicidad con 0.25 kg i.a./ha, mientras que el biotipo resistente (BRZ) presentó 0 % de fitotoxicidad a dosis bajas hasta los 19 DDA y un máximo de 98% a 2.25 kg i.a./ha. El modelo logístico estimó un I50 de 0.55 kg/ha para BSZ y 2.11 kg/ha para BRZ, con un IR de 3.84 confirmando su resistencia. Se recomienda implementar un manejo integrado de malezas que incluya la rotación de herbicidas con diferentes modos de acción para un control efectivo de *P. hysterophorus*.

*Palabras claves:* biotipos, glifosato, índice de Resistencia, *Parthenium hysterophorus*

### Abstract

In Zamorano, Honduras, continuous uses of glyphosate for more than 15 years have led to signs of resistance in *Parthenium hysterophorus* L. To determine the resistance index, two populations were evaluated: one susceptible (BSZ), collected from a plot with no previous glyphosate applications, and another suspected of resistance (BRZ), from a plot with frequent applications. The samples collected were seedlings, which were transplanted into pots. Once they had 6 to 8 true leaves, ten doses of glyphosate (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75, 2.0, and 2.25 kg a.i./ha) were applied under a completely randomized block design with a two-factor arrangement and four replicates. Phytotoxicity was evaluated at 10, 13, 16, 19, 22, and 25 days after application (DAA), as well as above-ground biomass in dry weight at 25 DAA. Statistical analysis showed significant differences ( $P \leq 0.0001$ ) it determined that we have biotypes. The susceptible biotype (BSZ) reached 100% phytotoxicity at 0.25 kg a.i./ha, while the resistant biotype (BRZ) showed 0% phytotoxicity at low doses up to 19 DPA and a maximum of 98% at 2.25 kg a.i./ha. The logistic model estimated an I50 of 0.55 kg/ha for BSZ and 2.11 kg/ha for BRZ, with an IR of 3.84 confirming its resistance. It is recommended to implement integrated weed management that includes the rotation of herbicides with different modes of action for effective control of *P. hysterophorus*.

*Keywords:* biotypes, glyphosate, resistance index, *Parthenium hysterophorus*

## Introducción

En la agricultura, la resistencia en malezas ante herbicidas es un proceso evolutivo cambiante que permite a los diferentes biotipos adquirir la capacidad heredable de sobrevivir, desarrollarse y reproducirse a pesar de aplicaciones de dosis letales que habitualmente controlan a las distintas plantas (Doeyo, 2020). Esto es el resultado de la selección constante ejercitada por el uso repetido del herbicida con el mismo modo de acción, eliminando así los individuos susceptibles y favoreciendo la supervivencia de aquellas plantas con rasgos resistentes, que con el pasar del tiempo llegan a dominar la población, reduciendo la eficacia del herbicida (Villalba, 2009).

La molécula de glifosato (N-fosfometilglicina) fue sintetizada por primera vez por el científico suizo Henri Martin en 1950 y redescubierto en 1970 por el químico John Franz como un herbicida de amplio espectro y potente inhibidor de la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa), clave en la vía del shikimato, lo que le confiere eficacia frente a más de 100 especies de malezas anuales y perennes. Fue presentada al mercado por la empresa Monsanto en 1974 bajo el nombre comercial Roundup®. Su acción post-emergente, sistémica y de amplio espectro lo ha convertido en el herbicida más común a nivel global, tanto en sistemas convencionales y en cultivos transgénicos resistentes (Bravo y Naranjo, 2016). Su función consiste en translocarse desde el floema hacia tejidos meristemáticos, donde se encarga de bloquear procesos metabólicos vitales de la planta, causando la muerte total de las malezas (Campuzano et al., 2017).

Según la (International Herbicide-Resistant Weed Database, 2025), se han registrado 539 casos únicos de resistencia a herbicidas a nivel mundial, involucrando 273 especies en 75 países. Dentro de estos, el glifosato destaca por su amplia difusión: actualmente se han identificado 57 especies de malezas con resistencia confirmada a este herbicida, distribuidas en más de 30 países. Los casos son especialmente frecuentes en regiones con agricultura intensiva como Estados Unidos, Brasil y Argentina, y también se han reportado en México, Colombia y Chile (International Herbicide-Resistant Weed Database, 2025) WeedScience.org, 2025). Esta situación refleja la preocupante capacidad de adaptación de las malezas al uso continuo del herbicida, lo que compromete la sostenibilidad de su

efectividad. A nivel global, actualmente existen 537 casos únicos de malezas resistentes a herbicidas (especie × sitio de acción), que abarcan 273 especies (156 dicotiledóneas y 117 monocotiledóneas) (Heap, 2025).

Las malezas han desarrollado resistencia a 21 de los 31 sitios de acción conocidos y a 168 herbicidas diferentes, con reportes en 102 cultivos de 75 países. Estos datos evidencian la magnitud del problema y refuerzan la importancia de las recomendaciones del Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), que promueve el uso de la clasificación de herbicidas por su modo de acción y la implementación de estrategias de rotación y mezcla para retrasar la evolución de la resistencia (International Herbicide-Resistant Weed Database, 2025).

*Parthenium hysterophorus L.* (ajenjo, escoba amarga, marihuana macho o quinino) es una maleza anual originaria del continente americano. Posee una elevada capacidad de dispersión, producción de semillas, resistencia a condiciones adversas y efectos alelopáticos como el parthenin, que inhibe el desarrollo de otras plantas (Noor et al., 2024). Su expansión ha sido documentada en África, Asia y Oceanía, y en países como Colombia fue introducida como forraje en 1956, transformándose en una especie invasora difícil de manejar (Adkins y Shabbir, 2014).

En Zamorano, se han identificado áreas agrícolas con aplicaciones frecuentes de glifosato, como los lotes de la lote 1 de la Unidad de Control Biológico y Zona 1, utilizado durante más de veinte años para producción de maíz (*Zea mays L.*) y sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai) para la exportación, donde se aplica glifosato hasta tres veces por año. Estas condiciones han favorecido la selección de individuos resistentes de *P. hysterophorus*, considerada una de las malezas más agresivas a nivel mundial (Bajwa et al., 2018).

Actualmente, en la agricultura, la resistencia de las malezas hacia los herbicidas es una problemática que a futuro se ve reflejada de una manera más crítica. Esto exhibe un crecimiento exponencial, por lo que representa una amenaza para el control efectivo de plantas no deseadas. Este problema surge debido al uso intensivo y repetitivo del mismo herbicida, lo que favorece la selección de biotipos resistentes capaces de sobrevivir y reproducirse en condiciones no favorables (Tuesca et

al., 2010). La resistencia al glifosato, un herbicida con modo de acción sistémico, la eficacia ha impulsado su uso masivo en todo el mundo, propiciando la aparición de biotipos resistentes en especies como *P. hysterophorus*, dificultando su control, aumentando los costos y comprometiendo la sostenibilidad de la producción agrícola (Salazar y Aldana, 2015).

Los objetivos de este estudio fueron evaluar la resistencia al glifosato de dos poblaciones de *Parthenium hysterophorus* colectados en la Universidad Zamorano, uno posiblemente susceptible y otro con indicios de resistencia.

## Materiales y Métodos

### Ubicación del Estudio

El experimento se llevó a cabo en una estructura de casa malla del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria (CPA) de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, situada en el Valle del Yeguaré, en el municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Esta localización presenta una latitud de 14° 0'41.53"N y una longitud de 87° 0'10.18"O, a una altitud de 800 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una temperatura media de 24 °C.

### Tratamientos

En este estudio se aplicaron diez tratamientos con diferentes dosis de glifosato sobre plántulas de *Parthenium hysterophorus*, recolectadas de dos lotes distintos de la Universidad Zamorano. Los tratamientos incluyeron un testigo sin aplicación de herbicida, tres subdosis (0.25, 0.50 y 0.75 kg i.a./ha), la dosis comercial recomendada (1 kg i.a./ha) y cinco sobredosis (1.25, 1.50, 1.75, 2.00 y 2.25 kg i.a./ha), detalladas en el Cuadro 1. Todas las dosis se expresaron en kilogramos de ingrediente activo por hectárea (kg i.a./ha), permitiendo evaluar la respuesta de los biotipos frente a una gama de concentraciones del herbicida

### Cuadro 1

*Dosis de glifosato (kg i.a./ha) aplicadas a dos poblaciones de Parthenium hysterophorus uno posiblemente susceptible y otro con indicios de resistencia en Zamorano, Honduras.*

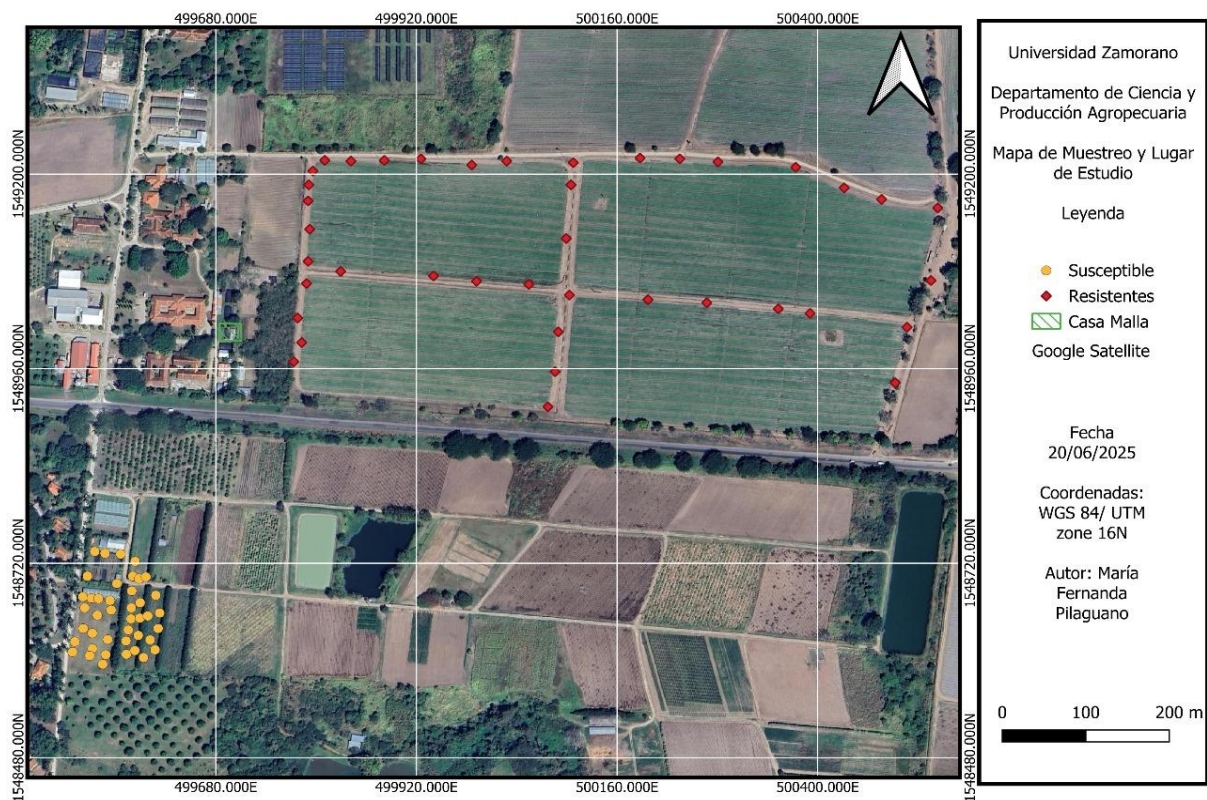
Tratamientos	Dosis (kg ingrediente activo/ha)
1	0.00
2	0.25
3	0.50
4	0.75
5	1.00
6	1.25
7	1.50
8	1.75
9	2.00
10	2.25

### Selección del Material Vegetal de *Parthenium hysterophorus*

Se extrajeron poblaciones de *P. hysterophorus* de dos lotes ubicados en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (Figura 1). La población posiblemente susceptible se recolectó del lote 1 de la unidad de Agricultura Regenerativa, el cual no ha recibido aplicaciones previas de glifosato según los registros del área. Los poblaciones con indicios de resistencia se obtuvieron de los lotes denominados Zona 1, donde se han realizado aplicaciones de glifosato con frecuencia, lo que podría favorecer la selección de biotipos resistentes.

#### Figura 1

Lugar de Estudio y sitios donde se recolectaron los poblaciones de *Parthenium hysterophorus* en Zamorano, Honduras.



## **Establecimiento del Experimento**

El experimento se inició con el trasplante de los especímenes de *P. hysterophorus* en macetas individuales, se utilizó como sustrato compost de la Unidad de Agricultura Regenerativa. Las macetas fueron de plástico, con un tamaño de 15 cm de altura y 15 cm de diámetro, las cuales estaban rotuladas con las abreviaturas correspondientes a 'BSZ' para las poblaciones posiblemente susceptible y 'BRZ' para los posiblemente resistentes, junto con un número de identificación que comenzaba desde 100, 101, 102, hasta 110 para la repetición R1, así sucesivamente para cada una de las cuatro repeticiones (R1, R2, R3, R4), utilizando rangos numéricos únicos como 201-210, 301-310 y 401-410 según la repetición correspondiente, con el fin de evitar confusiones en la identificación durante el desarrollo del experimento. El riego se realizó dos veces al día, aplicando medio litro de agua por maceta para asegurar un adecuado crecimiento de las plantas.

La aplicación de glifosato (Roundup® 35.6 SL) se realizó cuando las plantas presentaron entre seis y ocho hojas verdaderas, aproximadamente 30 días después del trasplante. Se utilizó una bomba de mochila equipada con una boquilla de abanico plano de rango extendido (8002 XR), previamente calibrada, el volumen de aplicación fue de 400 L/ha, para garantizar una aspersion uniforme en cada una de las unidades experimentales.

La calibración del equipo de aspersion se realizó en un área libre de vegetación para evitar interferencias. Se simuló la aspersion con 2 litros de agua, replicando las condiciones reales de los tratamientos, lo que permitió estimar el volumen distribuido y ajustar con precisión la dosis de glifosato. Se determinó que el equipo aplicaba uniformemente 2 litros sobre 50 m<sup>2</sup>, asegurando un flujo constante y homogéneo en todos los tratamientos y evitando subdosificación o sobredosificación.

Con el fin de mejorar la eficacia del herbicida, se utilizó el adherente MEGA PEGA + pH® (SAMPOLK), la dosis recomendada oscila entre 2 y 2.5 mL por litro de agua, dentro de un rango óptimo de pH de 5.5 a 7. Para asegurar estas condiciones, se empleó un medidor de pH y se realizaron los ajustes necesarios antes de la aplicación. Considerando que cada tratamiento se preparó con 2 litros

de solución, se adicionaron 5 mL de adherente a cada uno, asegurando así la adherencia del herbicida a las hojas y la estabilidad de la mezcla en las condiciones de campo.

### Variable Evaluadas

Las variables que se evaluaron en el experimento fueron: el porcentaje de fitotoxicidad, determinado mediante observaciones visuales a distintas fechas después de la aplicación de glifosato, y la biomasa aérea en peso seco de las plantas, evaluada a los 25 días después de la aplicación.

### Porcentaje de Fitotoxicidad

Para determinar el porcentaje de fitotoxicidad de las plantas sometidas a las distintas dosis de glifosato se realizaron evaluaciones de fitotoxicidad a los 10, 13, 16, 19, 22 y 25 días después de la aplicación (DDA). Las estimaciones de los porcentajes de fitotoxicidad se realizaron por medio de observación visual con una escala de 0 a 10, donde cero indica ausencia de fitotoxicidad (0% daño) y diez representa plantas completamente muertas por efecto del herbicida (100% daño) (European Weed Research Council, 1964). La planta testigo, sin aplicación de glifosato, sirvió como referencia para asignar los valores (Cuadro 2). Además, todo el proceso fue documentado mediante fotografías para registrar la progresión de la fitotoxicidad durante los 25 DDA.

### Cuadro 2

*Escala visual de fitotoxicidad para glifosato utilizada para evaluar los tratamientos aplicados a *Parthenium hysterophorus*, Zamorano, Honduras.*

Grado	Descripción del daño
0	Planta completamente sana, sin síntomas visibles
1	Leve clorosis en algunas hojas
2	Clorosis generalizada sin necrosis
3	Clorosis con necrosis leve en bordes
4	Clorosis + necrosis en varias hojas
5	Marchitez parcial con necrosis en hojas principales
6	Daño severo en más del 50% del follaje
7	Necrosis avanzada, hojas colapsadas
8	Planta casi muerta, solo tallo parcialmente erguido
9	Planta con necrosis total, sin signos de crecimiento
10	Planta completamente muerta

### **Biomasa en Peso Seco**

A los 25 DDA de los tratamientos, se procedió al corte de todas las plantas en segmentos de 2 cm. Se tomaron muestras de la parte aérea de las plantas, comprendiendo tanto el tallo como las hojas. Las muestras fueron colocaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas para su correcta identificación, seguido de esto, se registró el peso fresco en gramos utilizando una balanza de precisión OHAUS Pioneer™ Plus, modelo PA163 (capacidad máxima 163 g, legibilidad 0.001 g). La determinación del peso seco se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en el Departamento de Ciencias y Producción Agropecuaria. Para este procedimiento, se utilizó un horno de circulación forzada (VWR® Forced Air Ovens, Basic, 120V), manteniendo una temperatura constante de 65 °C durante 96 horas. Se realizaron muestreos aleatorios con intervalos de 24 horas para monitorear la pérdida de humedad, lo cual permitió establecer el tiempo adecuado para la obtención del peso seco final de las 80 unidades experimentales.

### **Diseño y Análisis Experimental**

El diseño experimental correspondió a un Diseño Bloques Completos Al Azar con arreglo bifactorial combinatorio, que incluyó los factores biotipo y dosis. En total se evaluaron 20 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, sumando 80 unidades experimentales. Las plantas se redistribuyeron aleatoriamente dentro de la casa malla, con el propósito de evitar patrones visuales y reducir posibles sesgos por variabilidad espacial.

Para el análisis de los datos obtenidos de las variables peso seco y fitotoxicidad se empleó el programa InfoStat y RStudio, con el que se calcularon los valores de probabilidad (Anexo E y F). Asimismo, se elaboraron gráficos descriptivos en Microsoft Excel para visualizar el porcentaje de fitotoxicidad de las plantas, entendida como la muerte progresiva de las mismas, durante el periodo comprendido entre los días 10 y 25 DDA.

Para calcular el Índice de resistencia se usó el modelo log-logístico, que es una herramienta estadística ampliamente utilizada para evaluar la respuesta a dosis de herbicidas en experimentos de resistencia (Seefeldt et al., 1995). Este modelo describe la relación entre la eficacia del herbicida y las

diferentes dosis aplicadas, permitiendo estimar parámetros claves como la dosis efectiva al 50% (ED50 o I50), que representa la concentración necesaria para alcanzar un efecto del 50% sobre la variable evaluada. Se eligió este modelo por su alta precisión en el ajuste de curvas dosis-respuesta, especialmente en estudios donde se requiere evaluar la eficacia de un herbicida como el glifosato. El modelo se basa en una curva sigmoideal que permite representar de forma precisa cómo varía la respuesta biológica (como el porcentaje de fitotoxicidad o el peso seco de la planta), en función de la dosis. Además, considera factores importantes como los límites inferior y superior de la respuesta, la pendiente de la curva y el valor de la dosis media efectiva, según lo especifica la Ecuación 1. Esto permitió un análisis detallado de cómo las plantas responden al glifosato a diferentes concentraciones de Glifosato (Seefeldt et al., 1995)

$$y = C + \frac{D-C}{1 + e^{-A*(dosis-B)}} \quad [1]$$

En donde,

$y$  = Respuesta medida (porcentaje de fitotoxicidad o peso seco relativo al control).

$C$  = Límite inferior (mínimo efecto observado, típicamente a dosis altas).

$D$  = Límite superior (respuesta en ausencia de herbicida, el control).

$A$  = Tasa de crecimiento de la curva (influye en la pendiente).

$B$  = Punto de inflexión (corresponde al I50, donde la curva alcanza el 50% de la respuesta).

**Cuadro 3**

*Parámetros del modelo logístico para desarrollar la curva sigmoideal de dosis respuesta de los biotipos de *Parthenium hysterophorus* al glifosato.*

Parámetro	Definición	Observaciones
A	Tasa de crecimiento de la curva	-
B	Punto de inflexión	Representa la pendiente de la curva en dosis que produce el 50% de inhibición de la actividad de la enzima EPSPS (I50)
C	Límite inferior	Corresponde a la respuesta media a la dosis mayor (tomar en cuenta que el valor no siempre será 0)
D	Límite superior	Corresponde a la respuesta media del control (testigo)

*Nota.* Tomado de Seefeldt et al. (1995).

## Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos corresponden al experimento realizado, el cual se enfocó en la evaluación de dos poblaciones de *Parthenium hysterophorus* en Zamorano: uno posiblemente susceptible (BSZ) y otro posiblemente resistente (BRZ) al glifosato. Se analizaron las variables de porcentaje de fitotoxicidad, biomasa de peso seco, valores de  $I_{50}$  e Índice de Resistencia, lo que evidenció diferencias significativas entre ambos biotipos ( $p < 0.0001$ ).

### Porcentaje de Fitotoxicidad

La toma de datos de la variable fitotoxicidad se realizó entre los días 10 a 25 DDA del herbicida. En el día diez las plantas de los BRZ y BSZ, presentaron síntomas de fitotoxicidad al herbicida incluyendo clorosis, marchitamiento y necrosis en los bordes de las hojas de las plantas.

En la Figura 2 se puede observar la población del BSZ a los 25 DDA en función de las diferentes dosis del herbicida, mostrando uniformidad en los resultados desde la primera dosis evaluada de 0.25 kg, alcanzando un 100 % de fitotoxicidad, la cual se mantuvo constante con todas las dosis posteriores, indicando que el glifosato bloqueó completamente la enzima EPSPS, deteniendo la producción de aminoácidos esenciales y causando la muerte total de las plantas. En poblaciones sensibles, la ausencia de mutaciones en EPSPS permitió una inhibición total, logrando 100 % de daño foliar (Bracamonte et al., 2016). Demostrando que la población es sensible al herbicida, siendo controlada de manera efectiva incluso con subdosis. La ausencia de plantas sobrevivientes en todos los tratamientos evidenció que no existía tolerancia ni mecanismos de resistencia dentro de esta población.

El comportamiento registrado en este estudio coincidió con lo documentado en investigaciones anteriores. Tal como muestra Moreno y Peñaranda (2019) se evaluó el control de *Polygonum segetum* y *Lolium temulentum* con glifosato en Colombia, obteniéndose niveles de fitotoxicidad entre 44 y 50 % durante los primeros DDA con dosis bajas. Al último día de evaluación, 21 DDA, la fitotoxicidad alcanzó entre 68 y 80 %; sin embargo, las dosis mayores lograron un efecto de fitotoxicidad más rápido y una mayor eficacia desde las primeras evaluaciones. Este patrón, caracterizado por una mortalidad moderada a dosis bajas y una respuesta más rápida a dosis altas,

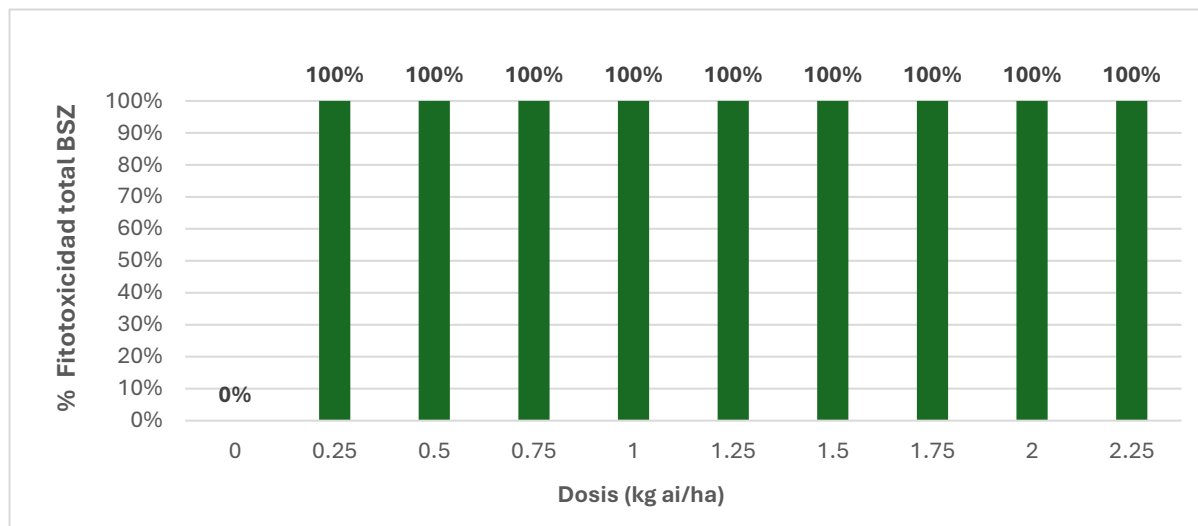
coincide con lo observado en la población BSZ, que presentó 100 % de fitotoxicidad a los 25 DDA. Por lo tanto, la translocación sistémica del glifosato inhibió la enzima EPSPS en plantas sensibles, permitiendo un control completo incluso con subdosis tras un período prolongado. Estos resultados nos indican que tenemos la presencia de biotipos uno resistente y otro susceptible.

El biotipo BSZ de *P. hysterophorus* mostró una alta sensibilidad al glifosato, un comportamiento similar al descrito en la población susceptible reportada por Nina y Toc Mó (2020), se observó que el biotipo BZ alcanzó aproximadamente entre 70 % y 85 % de fitotoxicidad durante los primeros días después de la aplicación (DDA), incrementando progresivamente hasta alcanzar el 100 % al final del período de evaluación para todas las dosis. La rápida respuesta observada tanto en BSZ como en BZ frente al glifosato sugirió una inhibición efectiva de la vía del shikimato, lo que implicó una baja presión de selección del herbicida dependiendo del área de aplicación. Estos resultados confirman la eficacia del glifosato para el control de *P. hysterophorus* en poblaciones susceptibles, aunque también resaltan la importancia de adoptar estrategias de manejo integrado, como la rotación de herbicidas y la implementación de prácticas culturales, con el fin de prevenir la evolución de resistencia en el futuro.

Según Duke (2015), en las plantas susceptibles, el herbicida actuó inhibiendo la enzima EPSPS, bloqueando así la vía del shikimato y provocando, con el paso de los días, la descomposición de los cloroplastos, lo que explicó los síntomas de clorosis y necrosis observados en el BSZ. Esta respuesta se atribuyó a la ausencia de aplicaciones previas de glifosato en el lote 1 de la Unidad de Agricultura Regenerativa de Zamorano, lo que confirmó que el glifosato fue eficiente para controlar poblaciones susceptibles. Sin embargo, para mantener dicha eficacia, fue esencial implementar un manejo integrado, que incluyó la rotación de herbicidas y prácticas culturales, con el fin de prevenir el desarrollo de resistencia.

**Figura 2**

Respuesta total a los 25 días después de aplicación de glifosato de la población posiblemente susceptible (BSZ) de *Parthenium hysterophorus* al herbicida, expresada como porcentaje de fitotoxicidad en función de la dosis aplicada (kg ai/ha) en Zamorano, Honduras.



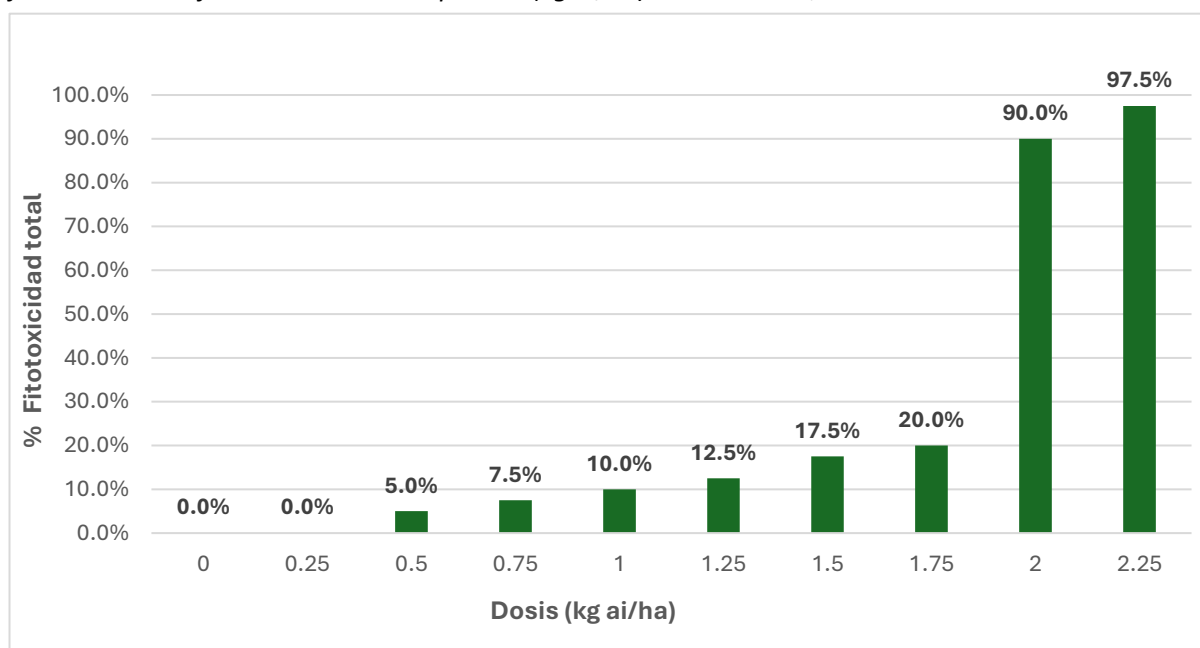
La Figura 3 muestra los porcentajes de fitotoxicidad a las diferentes dosis de glifosato en la población resistente (BRZ) evaluada a los 25 DDA. Se observó que, a bajas dosis del herbicida (0.25 a 0.75 kg), la fitotoxicidad fue reducida (0–8 %). A medida que se incrementó la dosis entre 1.0 y 1.75 kg, la respuesta de fitotoxicidad aumentó gradualmente, alcanzando valores entre 10 y 20 %, lo que indicó que las plantas fueron capaces de tolerar concentraciones que, en condiciones normales, deberían haber generado efectos más severos, por lo que se determinó que este también es un biotipo.

A partir de las dosis de 2.0 y 2.25 kg se observó un incremento rápido en la fitotoxicidad, alcanzando valores entre 90 y 98%. Estos resultados reflejaron un patrón típico de resistencia, la población mantuvo su viabilidad a dosis bajas y medias, pero pudo causar fitotoxicidad parcialmente únicamente a dosis altas. Esto confirmó que la población BRZ presentó un nivel significativo de resistencia, ya que requirió dosis superiores a las de uso comercial para alcanzar el control. Los resultados mostrados en la última etapa, mantuvieron una amplia relación con aquello aplicado y descrito por Rosario et al. (2013), donde identificaron que el biotipo resistente de *P. hysterophorus*,

mostró índices de sanidad y baja mortalidad en relación con dosis entre 0.25 a 1.75 kg del herbicida, lo que demostró una disminución en la eficacia del glifosato. Sin embargo, solo al aplicar sobredosis se registró un aumento notable en la mortalidad y una reducción en la sanidad de la maleza, aunque no se logró su eliminación completa.

### Figura 3

*Respuesta total a los 25 días después de aplicación de glifosato de la población posiblemente resistente (BRZ) de *Parthenium hysterophorus* al herbicida, expresada como porcentaje de fitotoxicidad en función de la dosis aplicada (kg ai/ha) en Zamorano, Honduras.*



Esta baja sensibilidad inicial pudo explicarse por la presencia de mutaciones en la enzima EPSPS, como Pro-106-Ser o Pro-106-Ala, así como por la amplificación del gen EPSPS, mecanismos que han sido documentados en biotipos resistentes en México y China. Dichos mecanismos permitieron la supervivencia de las plantas bajo dosis normales de glifosato, provocando un incremento significativo de la fitotoxicidad únicamente cuando se aplicaron sobredosis (Chen et al., 2015). Los datos obtenidos demostraron que el uso continuo de herbicidas ejerció una presión de selección que favoreció la aparición y reproducción de poblaciones resistentes, recalando la necesidad de implementar estrategias de manejo integrado, tales como la rotación de modos de acción, el monitoreo constante

y el control cultural, con el fin de preservar la eficacia de los herbicidas y mitigar la propagación de malezas resistentes.

Se encontraron patrones similares en los estudios presentados por Bracamonte et al. (2016) de fitotoxicidad en poblaciones resistentes de *P. hysterophorus* donde observaron que la fitotoxicidad fue menor al 10% con dosis de 1 kg a los 30 días postaplicación, mientras que las dosis entre 2 y 4 kg provocaron un daño fitotóxico de 50 a 60%, caracterizado por necrosis foliar. Dicho comportamiento coincidió con lo observado en la población BRZ, donde solo las sobredosis entre 2 y 2.25 kg alcanzaron más del 90% de fitotoxicidad, reflejando una respuesta limitada a concentraciones bajas y una latencia inicial, ya que presentaron 0% de daño con 0.25 kg. Esto sugirió que la resistencia estuvo asociada a una menor absorción o translocación del herbicida.

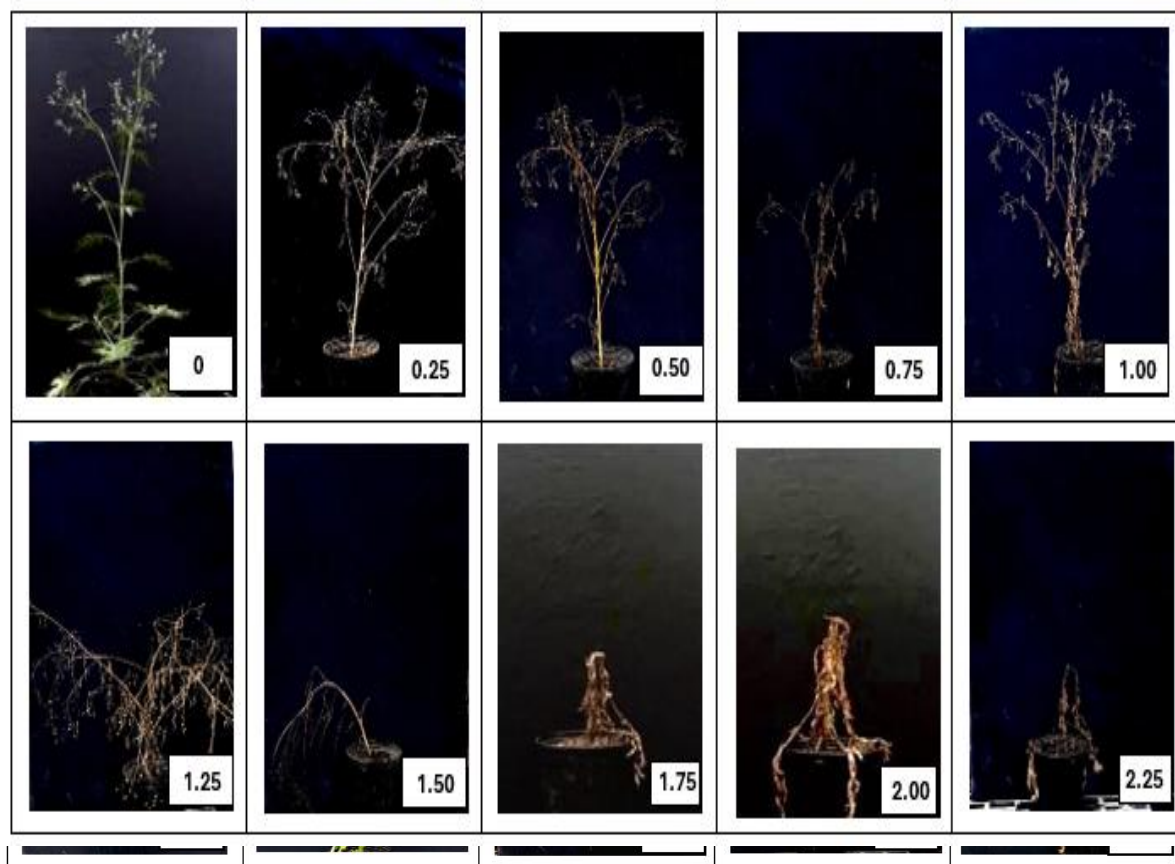
En el estudio realizado en Honduras, Nina y Toc Mó (2020), En la Universidad Zamorano se evaluó un biotipo resistente de *P. hysterophorus* originario de Comayagua (BC), donde el daño máximo registrado a los 16 DDA fue del 25% con dosis entre 0.34 y 1.70 kg, sin que se alcanzara un control total de la maleza. De manera similar, el biotipo BRZ presentó una respuesta menor a las dosis convencionales, con niveles de fitotoxicidad entre 0 y 10% a los 25 DDA. Sin embargo, al incrementarse las dosis hasta 2.0 y 2.25 kg, la población BRZ mostró un aumento significativo en la mortalidad, alcanzando daños del 90 y 98% al finalizar las evaluaciones. Esta coincidencia en la falta de eficacia del glifosato en ambos biotipos reforzó la hipótesis de que las poblaciones resistentes en la región habían sido seleccionadas por el uso intensivo y continuo de este herbicida, evidenciando la necesidad de diversificar las estrategias de manejo.

En la Figura 4 se presentan las imágenes del biotipo susceptible de *P. hysterophorus* después de la aplicación de glifosato. Independientemente de la dosis utilizada, el resultado fue uniforme: todas las plantas alcanzaron el 100% de fitotoxicidad. Esto se evidenció en la ausencia total de tejido verde, la necrosis generalizada en hojas y tallos, y el colapso completo de las estructuras vegetativas. En ningún tratamiento se observó sobrevivencia, lo que indica que el herbicida ejerció un efecto letal en todos los casos.

Por el contrario, en la Figura 5 se muestra el comportamiento del biotipo resistente Zamorano (BSZ) de *P. hysterophorus* frente a diferentes dosis de glifosato. Con dosis de 0.25 a 1.50 kg ai/ha, las plantas mostraron únicamente un ligero amarillamiento y una reducción mínima en el crecimiento, lo que indicó que estas concentraciones no fueron suficientes para controlar el biotipo. A partir de 1.75 kg ai/ha se observó un daño más evidente: las plantas empezaron a marchitarse, con necrosis en las hojas y pérdida de vigor. Finalmente, en las dosis de 2.00 y 2.25 kg ai/ha la mayoría de las plantas presentó una alta fitotoxicidad. Sin embargo, para alcanzar este nivel de control fue necesario aplicar dosis mucho más altas que las comúnmente recomendadas, por lo que este biotipo mostró resistencia al glifosato.

#### Figura 4

*Plantas de Parthenium hysterophorus. L del biotipo susceptible tratadas con nueve dosis de glifosato (kg i.a./ha) a los 25 días después de la aplicación en Zamorano, Honduras.*



## Biomasa Peso Seco

La curva logística se determinó utilizando el peso seco de las plantas de *P. hysterophorus* recopiladas a los 25 DDA. Dado que el peso seco se midió mediante una metodología cuantitativa, las respuestas mostraron un  $R^2 = 0.95$ , lo que indicó que el modelo describió de manera adecuada la respuesta de los biotipos frente a las diferentes dosis evaluadas.

Asimismo, para alcanzar un 50 % de inhibición de la enzima EPSPS en plantas de *P. hysterophorus*, el BRZ necesitó una dosis de 2.11 kg/ha, mientras que el BSZ solo requirió 0.55 kg/ha del ingrediente activo. Con base en estos valores, el Índice de Resistencia (IR) evidenció que el biotipo BRZ es 3.84 veces más resistente que el biotipo BSZ (Cuadro 4 y Figura 6)

### Cuadro 4

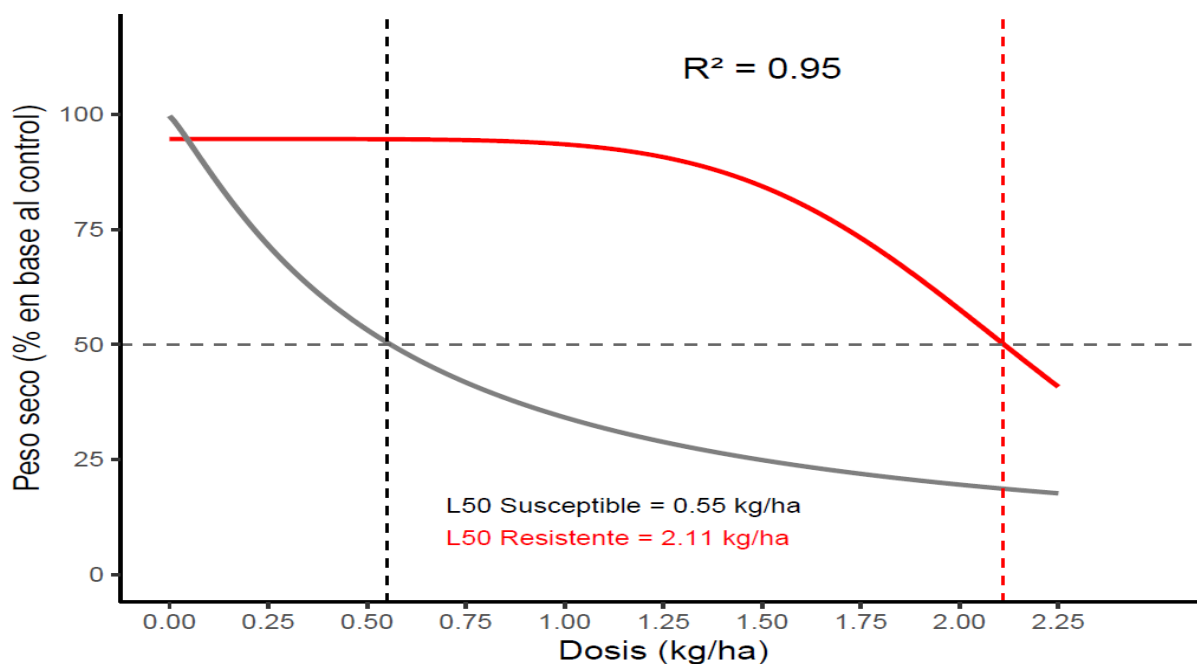
*Estimación de parámetros para el modelo logístico derivados de la Ecuación 1 para la variable peso seco (porcentaje en base al control) y estimación del Índice de Resistencia para biotipos resistente (BRZ) y susceptibles (BSZ) de Plantas de Parthenium hysterophorus. L, Zamorano, Honduras.*

Biotipo	A	B	C	D	I <sub>50</sub>	IR	P<valor
BRZ	5.62424	-9.6365	94.63819	2.22387	2.11	3.84	<0.0001
BSZ	1.16672	2.03369	99.65493	0.54289	0.55	-	<0.0001

Nota. A = tasa de crecimiento; B = punto de inflexión; C = límite inferior (%); D = límite superior (%); I<sub>50</sub> = dosis de glifosato que causa el 50% de inhibición de la enzima EPSPS; IR = Índice de Resistencia (BRZ I<sub>50</sub> / BSZ I<sub>50</sub>); b Diferencia de IR de 1 (P<0.05).

**Figura 6**

Curva de respuesta al incremento de la dosis de glifosato y su efecto en el porcentaje de peso seco con respecto al control de biotipos resistente (BZR) y susceptibles (BSZ) de plantas de *Parthenium hysterophorus*. L, Zamorano, Honduras.



El índice de resistencia de *P. hysterophorus* fue de 3.84, determinado mediante un bioensayo de dosis-respuesta, lo que indicó que el biotipo BRZ requiere aproximadamente cuatro veces más dosis que las poblaciones susceptibles para causar el mismo efecto. Revisiones del (International Herbicide-Resistant Weed Database) sugieren que un IR entre 3 y 10 refleja una resistencia emergente pero establecida, lo que requiere dosis superiores a las comerciales para lograr un control parcial, debido a la presión selectiva. Esto indica la necesidad de explorar mecanismos específicos, como mutaciones en EPSPS, mediante análisis moleculares, así como de adoptar estrategias de manejo sostenible, incluyendo la rotación de herbicidas.

El primer indicio reportado a nivel mundial de resistencia de *P. hysterophorus* ocurrió en América en el año 2004, específicamente en Colombia, en el Valle del Cauca. La resistencia se presentó en plantaciones de caña de azúcar tras el uso continuo del herbicida glifosato, ya que dichas malezas sobrevivían a aplicaciones de 1.44 kg i.a./ha, según lo reportado por investigadores de la Universidad

Nacional de Colombia (UNAL), marcando así la primera sospecha de resistencia de la especie a nivel mundial (Rosario et al., 2013). Sin embargo, entre 2006 y 2009 se llevaron a cabo bioensayos de dosis-respuesta con dos biotipos: La Rioja (resistente) y La Isla (susceptible), evaluando ocho dosis distintas en laboratorio. Se encontró un índice de resistencia de aproximadamente 1.8 para el biotipo La Rioja en comparación con La Isla, además de que el biotipo resistente presentó un  $L_{50}$  de la enzima EPSPS 8.4 veces mayor (Rosario et al., 2013). Aun así, en 2013 se publicaron los resultados que confirmaron científicamente la resistencia de *P. hysterophorus* al glifosato, donde el biotipo resistente presentó un  $L_{50}$  de 3.5 a 3.8 veces superior al susceptible, determinando así que la resistencia se debía a una mutación en la enzima EPSPS (Pro 106 Ser), un mecanismo por sitio de acción (resistencia del sitio objetivo, TSR) (Rosario et al., 2013).

En 2016 se registró el primer reporte de resistencia en el Caribe, específicamente en Cuba y República Dominicana, donde se confirmó la resistencia combinada en varias poblaciones de *P. hysterophorus*. Los mecanismos involucrados incluyeron resistencia al sitio objetivo, asociada a mutaciones Pro-106 Ser en la enzima EPSPS, así como resistencia a sitios no objetivo, caracterizada por alteraciones en la absorción y translocación del herbicida. (Bracamonte et al., 2016). Para 2020, en República Dominicana se realizaron estudios en banano que documentaron resistencia múltiple de *P. hysterophorus* a varios herbicidas, incluyendo glifosato, flazasulfuron, fomesafen, glufosinato y 2,4-D. Los mecanismos confirmados incluyeron mutaciones en EPSPS, GS y ALS, además de metabolismo acelerado vía P450 y otras enzimas, constituyendo así el primer caso reportado de resistencia múltiple y cruzada (Bracamonte et al., 2016).

Para 2017, en Estados Unidos, Florida, se registró el primer reporte en Norteamérica, donde se evaluaron múltiples dosis de glifosato. El biotipo resistente sobrevivió incluso a dosis muy superiores a las comerciales, presentando un índice de resistencia de 40 a 43 veces mayor que el biotipo susceptible, constituyendo hasta la fecha el caso con los mayores niveles de resistencia a nivel mundial (Alviter et al., 2024). En el mismo año, se determinó que la población mexicana presentó

resistencia al glifosato, confirmada bajo los criterios del Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), lo que abrió paso a investigaciones realizadas entre 2018 y 2019. Estas investigaciones caracterizaron tres poblaciones resistentes: GR1 y GR2, que presentaron resistencia múltiple mediante dos mecanismos combinados mutación en EPSPS (Pro-106-Ser) y alteraciones en la absorción y translocación del glifosato, y GR3, que mostró resistencia sin mutación en EPSPS.

El primer caso registrado de resistencia en Honduras se presentó en el Valle de Comayagua, donde se realizaron bioensayos de dosis-respuesta, aplicando seis dosis de glifosato en dos biotipos BR (sospechoso de resistencia) y BS (susceptible). El índice de resistencia para BR fue de aproximadamente 4.29 veces, además de que solo presentó un 25 % de fitotoxicidad a la dosis comercial, en comparación con BZ, que alcanzó el 100 % de control (Nina y Toc Mó, 2020). La similitud entre ambos valores confirmó la presencia de biotipos de *P. hysterophorus* resistentes al glifosato en Honduras, siendo el primer caso documentado en la Universidad Zamorano.

### Conclusión

Se determinó la presencia de biotipos de *Parthenium hysterophorus* uno resistente a glifosato y otro susceptible. El biotipo resistente (BRZ) demostró una clara resistencia al glifosato, evidenciada por un Índice de Resistencia 3.84, síntomas tardíos y menor fitotoxicidad frente al biotipo susceptible (BSZ), así como una mayor biomasa bajo las mismas dosis, confirmando su capacidad de sobrevivir y mantener crecimiento aun con aplicaciones comerciales del herbicida.

### Recomendaciones

Continuar investigaciones basadas en ADN en *Parthenium hysterophorus* mediante la reacción en la cadena polimerasa (PCR) para identificar el mecanismo exacto de resistencia (mutación EPSPS).

Ampliar y ejecutar el muestreo a más biotipos de *P. hysterophorus* provenientes de otras zonas de producción agrícola de Honduras, para de esta manera comparar el Índice de Resistencia al glifosato.

Tener en cuenta el uso de dosis más altas de glifosato en los ensayos para obtener resultados más visibles sobre la resistencia.

## Referencias

- Adkins, S. y Shabbir, A. (2014). Biology, ecology and management of the invasive parthenium weed (*Parthenium hysterophorus* L.). *Pest Management Science*, 70(7), 1023–1029. <https://doi.org/10.1002/ps.3708>
- Alviter, A., Martínez, P., Cortés, E., Rodríguez, A. y Zaragoza, J. (2024). Caracterización de *Parthenium Hysterophorus* L una Arvense de Importancia Internacional. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 5900–5925. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3.11787](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11787)
- Bajwa, A., Chauhan, B. y Adkins, S. (2018). Germination Ecology of Two Australian Biotypes of Ragweed *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus*) Relates to Their Invasiveness. *Weed Science*, 66(1), 62–70. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.61>
- Bracamonte, E., Barro, F., Fernández-Moreno, P. T. y De Prado, R. (2016). *Parthenium hysterophorus* resistente al glifosato en las islas del Caribe: Resistencia no selectiva y resistencia selectiva al sitio de acción en función de los niveles de resistencia. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01845>
- Bravo, E. y Naranjo, A. (2016). América Latina fumigada y crisis de las commodities. El caso del glifosato de Monsanto. *Ciencia Política*, 11(21). <https://doi.org/10.15446/cp.v11n21.60295>
- Campuzano, C., Feijóo, L., Manzur, K., Palacio, M., Rendón, J. y Zapata, J. (2017). Efectos de la intoxicación por glifosato en la población agrícola. *Revista CES Salud Pública*, 8(1), pp. 121–133. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6176888>
- Chen, J [Jingchao], Huang, H., Zhang, C., Wei, S., Huang, Z., Chen, J [Jinyi] y Wang, X. (2015). Las mutaciones y la amplificación del gen EPSPS confieren resistencia al glifosato en la gramínea (*Eleusine indica*). *Planta*, 242(4), 859–868. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2324-2>
- Doeyo, J. A. (2020). *Consociación intraespecífica de Lolium perenne diploide resistente a glifosato y cultivares tetraploides: variación de la habilidad competitiva de la maleza resistente y efecto sobre la sensibilidad al herbicida de la descendencia* [Tesis de posgrado]. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101432> <https://doi.org/10.35537/10915/101432>
- Duke, S. O. (2015). Perspectivas sobre los cultivos transgénicos resistentes a herbicidas en Estados Unidos, casi 20 años después de su introducción. *Pest Management Science*, 71(5), 652–657. <https://doi.org/10.1002/ps.3863>
- International Herbicide-Resistant Weed Database. (2025). *Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database*. [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)
- Moreno, Á. y Peñaranda, I. (2019). Evaluación de cuatro tipos de coadyuvantes sobre el control y la absorción, traslocación y distribución de glifosato en *Polygonum segetum* y *Lolium temulentum*. *Metroflor-Agro*. <https://www.metroflorcolombia.com/evaluacion-de-cuatro-tipos-de-coadyuvantes-sobre-el-control-y-la-absorcion-traslocacion-y-distribucion-de-glifosato-en-polygonum-segetum-y-lolium-temulentum/>
- Nina, R. y Toc Mó, D. (2020). *Determinación de la resistencia de Parthenium hysterophorus L. al glifosato en Honduras* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola

Panamericana, Zamorano, Honduras. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/220e22e0-f067-4a6c-8943-f13f069eb7c7/content

- Noor, M., Hussain, S., Choudhary, S., Tyagi, S. y Mishra, M. (2024). The Boon and Bane of *parthenium hysterophorus* for human health. *Military Medical Science Letters*, 93(3), 297–311. <https://doi.org/10.31482/mmsl.2023.033>
- Rosario, J., Fuentes, C. y De Prado, R. (2013). Resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato: un nuevo biotipo resistente a herbicida en Colombia. *APF*, 2(1), 15–18. <https://www.sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/13>
- Salazar, N. y Aldana, M. (2015). Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *BIOtecnia*, 13(2), 23. <https://doi.org/10.18633/bt.v13i2.83>
- Seefeldt, S., Jensen, J. y Fuerst, P. (1995). Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. *Weed Technology*, 9(2), 218–227. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00023253>
- Tuesca, D. I., Nisensohn, L., Sabbatini, M. R. y Chantre Balacca, G. R. (2010). *Biotecnología y Mejoramiento vegetal II: Resistencia de malezas a herbicidas: evolución y estrategias de manejo*. <https://chilebio.cl/wp-content/uploads/2015/12/Indice-e-introduccion.pdf>
- Villalba, A. (2009). Resistencia a herbicidas. Glifosato. *Ciencia, Docencia Y Tecnología*, pp. 169–186. <[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-17162009000200010&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162009000200010&lng=es&nrm=iso)>

## Anexos

### Anexo A

#### *Resultados de la calibración para Roundup® 35.6 SL*

En este anexo se presentan los valores obtenidos a partir de la calibración de la bomba de mochila (2 L de solución sobre 50 m<sup>2</sup> = 400 L/ha). La tabla muestra la cantidad de herbicida en litros por hectárea y su equivalente en mililitros por tanque de 2 L para cada dosis objetivo (kg i.a./ha). Estos cálculos permitieron preparar las soluciones con precisión y asegurar que cada tratamiento recibiera la cantidad adecuada de ingrediente activo.

Tratamiento (kg i.a./ha)	L producto / ha	ml producto / 2 L de mezcla
0.0	0.000	0.00
0.25	0.702	3.51
0.5	1.405	7.02
0.75	2.107	10.53
1.0	2.809	14.05
1.25	3.511	17.56
1.5	4.214	21.07
1.75	4.916	24.58
2.0	5.618	28.09
2.25	6.320	31.60

Nota: Elaboración propia a partir de la calibración de campo.

**Anexo B***Dosificación del adherente MEGA PEGA + pH®*

Este anexo resume la dosificación del adherente utilizado en la preparación de cada tratamiento. Según la recomendación del fabricante, la dosis adecuada es de 2–2.5 ml por litro de agua, en un rango óptimo de pH de 5.5 a 7. En este estudio se aplicaron 5 ml de adherente por cada 2 L de mezcla, manteniendo el pH dentro del rango recomendado.

Volumen de mezcla (L)	Dosis recomendada (ml/L)	Volumen de adherente utilizado (ml)
2	2.0 – 2.5	5.0

Nota: Elaboración propia con base en la recomendación de SAMPOLK S.A. (2021).

## Anexo C

### *Referencia de la dosis comercial*

La dosis comercial recomendada para formulaciones de glifosato similares ( $\approx 360$  g/L) es de 2.5–6 L/ha, siendo común el uso de 6 L/ha. Esto equivale aproximadamente a 2.1 kg i.a./ha, valor que coincide con la dosis más alta evaluada en este estudio (2.25 kg i.a./ha). Esto confirma que las dosis aplicadas abarcan desde niveles subletales hasta el rango comercial y ligeramente superiores, permitiendo evaluar la respuesta biológica de *Parthenium hysterophorus*.

## Anexo D

### *Cálculos de calibración y dosificación*

En este anexo se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular el volumen de agua aplicado, la cantidad de herbicida y la dosificación del adherente durante el proceso de calibración.

Ecuación 1. Volumen de agua utilizado en el área experimental

$$y = Vi - Vf$$

[1]

En donde,

- $y$  =mostrará la cantidad de agua en litros que se usará en el área.
- $Vi$  = indica el volumen inicial de agua.
- $Vf$  =muestra el volumen final en litros de agua utilizada en el área determinada.

Ecuación 2. Ajuste del volumen de agua a una hectárea

$$x = \frac{y \times 10,000 \text{ m}^2}{50 \text{ m}^2}$$

[2]

En donde,

- $x$  = representa cantidad de litros de agua a usar en una hectárea.
- $y$ = cantidad de agua en litros que se usará en el área de 50 m<sup>2</sup>.

Ecuación 3. Cantidad de herbicida Roundup® 35.6 SL por tratamiento

$$z = \frac{1 \text{ L Roundup}^{\circledR} 35.6 \text{ SL} \times \text{Dosis en kg ia}}{0.356 \text{ kg ia}}$$

[3]

En donde,

- $z$  = representa litros de Roundup® 35.6 SL en una dosis específica.

- *Dosis en kg ia* = kilogramos de ingrediente activo de cada tratamiento.
- 0.356 *kg ia* = kilogramos de ingrediente activo presente en el herbicida Roundup®

35.6 SL en 1 L.

Ecuación 4. Ajuste de la dosis al área de 50 m<sup>2</sup>

$$a = \frac{z \times 2 L}{b} \times 1,000$$

[4]

En donde,

- *a* = representa la cantidad de ml de Roundup® 35.6 SL en una solución de 2 L ajustado para un área de 50 m<sup>2</sup>.
- *z* = representa los litros de Roundup® 35.6 SL en una dosis específica.
- *b* = representa cantidad de litros de agua a usar en una hectárea.

Ecuación 5. Cálculo de la dosis de adherente

$$w = \frac{2.5 \text{ ml} \times 2L}{1 L} = 5 \text{ ml}$$

## Anexo E

*Análisis estadístico en RStudio: modelo log-logístico de la biomasa (peso seco) en Zamorano, Honduras.*

	Estimate	Std. Error	t-value	p-value
b:Resistente	5.62424	2.72577	2.0634	0.0426850
b:Suceptible	1.16672	0.27242	4.2828	5.613e-05
c:Resistente	-9.63650	92.49118	-0.1042	0.9173096
c:Suceptible	2.03369	12.23788	0.1662	0.8684812
d:Resistente	94.63819	1.73941	54.4081	< 2.2e-16
d:Suceptible	99.65493	3.28101	30.3733	< 2.2e-16
e:Resistente	2.22387	0.68504	3.2464	0.0017756
e:Suceptible	0.54289	0.13757	3.9461	0.0001827

**Sin corrección**

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:Resistente:50	2.22387	0.68504
e:Suceptible:50	0.54289	0.13757

### Con corrección

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:Resistente:50	2.11223	0.59981
e:Suceptible:50	0.55923	0.14481

**Valor de R2**

0.95741404

## Anexo F

*Análisis estadístico en InfoStat: resultados de fitotoxicidad y biomasa (peso seco).*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	845.66	13	65.05	24.5	0.0001
Population	308.11	1	308.11	116.05	0.0001
Dose (kg ai/ha)	533.01	9	59.22	22.31	0.0001
Bloque	4.54	3	1.51	0.57	0.64
Error	175.23	66	2.65		
Total	1020.89	79			

Population	Medias	n	E.E.	-	-
Resistant	5.08	40	0.26	A	
Suceptible	9	40	0.26		B

Dosis(kg ai/ha)	Medias	n	E.E.	-	-	-
0	0	8	0.58	A		
0.25	6.13	8	0.58		B	
0.5	6.88	8	0.58		B	
1	7.13	8	0.58		B	
0.75	7.13	8	0.58		B	
1.25	7.38	8	0.58		B	
1.5	8	8	0.58		B	
1.75	8.75	8	0.58			C
2	9.25	8	0.58			C
2.25	9.75	8	0.58			C

Nota: Análisis sobre fitotoxicidad.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	98.08	13	7.54	9.08	0.0001
Population	32.13	1	32.13	38.65	0.0001
Dose (kg ai/ha)	62.29	9	6.92	8.33	0.0001
Bloque	3.66	3	1.22	1.47	0.23
Error	54.87	66	0.83		
Total	152.95	79			

Population	Medias	n	E.E.	-	-
Suceptible	3.88	40	0.14	A	
Resistant	5.15	40	0.14		B

Dosis (kg ai/ha)	Medias	n	E.E.	Columna5	Columna6	Columna7
2.25	3.1	8	0.32	A		
2	3.51	8	0.32	A		
1.75	3.86	8	0.32	A		
1.5	4.09	8	0.32		B	
1	4.45	8	0.32		B	
1.25	4.5	8	0.32		B	
0.75	4.67	8	0.32		B	
0.5	5.39	8	0.32			C
0.25	5.49	8	0.32			C
0	6.08	8	0.32			C

Nota: Análisis Biomasa de peso seco

## Anexo G

Registro fotográfico del ensayo con *P. hysterophorus*.



Nota: Plántulas de *P. hysterophorus* en fase inicial de crecimiento.



Nota: Aplicación de glifosato con adherente en biotipos de *P. hysterophorus*



*Nota.* Riego aplicado a biotipos de *P. hysterothorus* durante el ensayo.