

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

**Respuesta de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato en
cultivos de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Pérez
Zeledón, Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Artículo Científico para optar al grado
de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía.

Estudiante

Bach. Mainor Castillo Segura

Tutor

Dr. Fernando Ramírez Muñoz

Campus Omar Dengo

Heredia, 2025

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Respuesta de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato en cultivos de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Pérez Zeledón, Costa Rica

Bach. Mainor Castillo Segura

Trabajo final de graduación modalidad artículo científico sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

**Trabajo final de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía.**

Dr. Ramón Molina Bravo

Representante Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Dr. Fabián Echeverría Beirute

Representante Director de la Escuela de Ciencias Agrarias

Dr. Fernando Ramírez Muñoz

Tutor del Trabajo Final de Graduación

Bach. Mainor Castillo Segura

Sustentante

Índice General

Introducción General	7
Objetivos.....	8
General.....	8
Específicos	8
Respuesta de <i>Delilia biflora</i> (L.) Kuntze al herbicida glifosato en cultivos de maíz (<i>Zea mays</i>) y frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en Pérez Zeledón, Costa Rica	9
Resumen	9
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y métodos.....	13
Ubicación de los ecotipos de <i>D. biflora</i> (L.) Kuntze	13
Método de recolección de semillas, escarificación y germinación.	13
Descripción y aplicación de los tratamientos.....	14
Evaluación de los tratamientos y procesamiento de datos.....	15
Resultados.....	16
Discusión	23
Conclusiones.....	27
Agradecimientos.....	29
Recomendaciones.	29
Referencias	30

Índice de Figuras

Figura 1. Respuesta del ecotipo PZ de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	18
Figura 2. Respuesta del ecotipo SA de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	18
Figura 3. Respuesta del ecotipo SM de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	18
Figura 4. Curva de respuesta a dosis creciente de glifosato 14 dda, edad 1, (PZ, SA, SM). Fuente. Elaboración propia.....	19
Figura 5. Porcentaje de daño visual 14 dda, edad 1, con dosis crecientes de glifosato de los ecotipos (PZ, SA, y SM). Fuente. Elaboración propia.	19
Figura 6. Respuesta del ecotipo PZ de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	20
Figura 7. Respuesta del ecotipo SA de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	20
Figura 8. Respuesta del ecotipo SM de <i>D. biflora</i> a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.....	21
Figura 9. Curva de respuesta a dosis creciente de glifosato de los ecotipos PZ, SA y SM, 14 dda para la edad 2. Fuente. Elaboración propia.....	21
Figura 10. Porcentaje de daño visual 14 dda para la edad 2, con dosis crecientes de glifosato de los ecotipos PZ, SA, SM. Fuente. Elaboración propia.	22

Índice de Tablas

Tabla 1. Tratamientos para determinar la respuesta a dosis crecientes de glifosato en ecotipos de <i>D. biflora</i>	15
Tabla 2. <i>Fórmula para determinar el valor de DE_{50} de los ecotipos de <i>D. biflora</i>.</i>	16
Tabla 3. Valor de DE_{50} y error estándar de ecotipos de <i>D. biflora</i> al herbicida glifosato de distintas regiones de Costa Rica.	17
Tabla 4. <i>Índice de resistencia (IR) de ecotipos de <i>D. biflora</i> en estudio. IR: $(DE_{50} R/DE_{50} S)$</i>	22

Introducción General

La evolución de resistencia de una planta maleza a un herbicida, es un fenómeno cada vez más común en la agricultura a nivel global, donde las poblaciones de malezas no responden como se espera a los herbicidas utilizados para su control, lo que representa un grave desafío para la productividad y sostenibilidad agrícola. La resistencia a los herbicidas hace referencia a la capacidad de las poblaciones de plantas para desarrollar un fenómeno de selección, reduciendo la efectividad de las aplicaciones y pudiendo llevar a la necesidad de aplicar cantidades aún mayores de herbicidas para controlarlas (Alcántara, 2022).

Cuando una población de malezas evoluciona resistencia a un herbicida, se requiere una mayor cantidad del producto químico para eliminarla, lo que puede aumentar la cantidad de residuos de herbicidas en el suelo y en el agua y producir efectos negativos en la biodiversidad y el medio ambiente en general. Asimismo, la resistencia a los herbicidas puede conducir a un uso de productos químicos más tóxicos y potentes para controlar las malezas, lo que aumenta el riesgo de exposición a sustancias químicas perjudiciales para los trabajadores agrícolas y los consumidores de los alimentos producidos (Broce *et al.*, 2021).

El uso excesivo, frecuente e indiscriminado de herbicidas de amplio espectro, como el glifosato, ha sido un factor significativo en el desarrollo de resistencia. El glifosato es un herbicida no selectivo y sistémico, que se desarrolló en los años 70 y se comercializó inicialmente bajo la marca Roundup® de la empresa Monsanto; se utiliza ampliamente para controlar malezas en diversas situaciones (Herrera *et al.*, 2016).

Para determinar la resistencia de una planta a un herbicida se puede calcular su DE_{50} , que es la cantidad de herbicida que reduce el crecimiento de la planta a la mitad en comparación con una planta sin tratar, por medio de una curva de dosis-respuesta. El índice de resistencia (IR) se obtiene al comparar la DE_{50} del ecotipo presuntamente resistente con la del ecotipo presuntamente sensible. Si el IR es superior a 2, el ecotipo se considera resistente (Nina, 2020).

De acuerdo con Belz *et al.* (2022), cualquier población de malezas puede tener plantas resistentes en baja frecuencia, debido a mutaciones que ocurren naturalmente. Al aplicar herbicidas, los ecotipos susceptibles mueren mientras que los resistentes sobreviven produciendo propágulos, resultando en una selección química y enriquecimiento de la

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

población con plantas del ecotipo resistente. Los propágulos asexuales son una estructura capaz de desarrollarse de manera separada, para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que lo formó, y los propágulos sexuales o semillas pueden poseer las características de resistencia de la planta madre.

Productores de granos básicos de la zona de Pérez Zeledón, usualmente controlan la arvense *Delilia biflora* de forma presiembra con el herbicida glifosato, y expresan que en sus fincas su control se ha vuelto más difícil en los últimos años. Por lo tanto, el estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta de ecotipos de *D. biflora* al herbicida glifosato provenientes de cultivos de maíz y frijol de Pérez Zeledón, para determinar una posible resistencia.

Objetivos

General

- Determinar la respuesta de ecotipos de la planta *Delilia biflora* al herbicida glifosato como indicador de una posible resistencia en cultivos de maíz y frijol de la zona Sur de Costa Rica.

Específicos

- Evaluar el nivel de resistencia en ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato.
- Diferenciar la respuesta de plantas de dos edades de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato.
- Caracterizar la presión de selección a la que han sido sometidas las poblaciones de *Delilia biflora* (L.) Kuntze.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Respuesta de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato en cultivos de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Pérez Zeledón, Costa Rica

Response of *Delilia biflora* (L.) Kuntze to the herbicide glyphosate in corn (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) crops in Pérez Zeledón, Costa Rica

Mainor Jesús Castillo-Segura¹

Lic. Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional

minor.castillo.segura@est.una.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0001-9973-0737>

Resumen

Introducción: La evolución de la resistencia de las malezas a los herbicidas se ha convertido en un problema cada vez más frecuente en la agricultura, principalmente por su uso desmedido y prácticas inadecuadas. **Objetivo:** Determinar la respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* al herbicida glifosato como indicador de una posible evolución de resistencia en cultivos de maíz y frijol de la zona Sur de Costa Rica. **Materiales y Métodos:** Se evaluó la respuesta de tres ecotipos de *D. biflora* (dos susceptibles y uno presuntamente resistente) a dosis crecientes de glifosato. Se aplicaron nueve dosis del herbicida y dos testigos en plantas de dos edades, se evaluó el daño visual y el peso fresco para estimar la DE₅₀ y calcular el índice de resistencia (IR). **Resultados.** Las dosis de 267 y 534 g e.a./ha de glifosato provocaron la muerte de los tres ecotipos de *D. biflora* en las dos edades evaluadas respectivamente. El IR del ecotipo PZ frente a los ecotipos susceptibles SA y SM fue menor a 2. **Conclusión.** El ecotipo PZ mostró una menor susceptibilidad al glifosato en plantas jóvenes, con un IR inferior a 2, lo que indica que no ha evolucionado resistencia. Su sensibilidad varió según la edad, siendo más susceptible en la edad 2. Al comparar con los otros ecotipos, el ligero aumento en la DE₅₀ del ecotipo PZ sugiere una posible pérdida de eficiencia en el control del herbicida. Se recomienda manejo integrado de malezas y rotación de herbicidas para evitar la evolución de resistencia.

Palabras clave: Resistencia; susceptibilidad; ecotipo; control; fenología.

Abstract

Introduction: The evolution of weed resistance to herbicides has become an increasingly common problem in agriculture, mainly due to excessive use and inadequate practices. **Objective:** To determine the response of *Delilia biflora* ecotypes to the herbicide glyphosate as an indicator of possible resistance in corn and bean crops in the southern region of Costa Rica. **Materials and Methods:** The response of three *D. biflora* ecotypes (two susceptible and one presumably resistant) to increasing doses of glyphosate was evaluated. Nine herbicide doses and two untreated controls were applied to plants at two growth stages. Visual damage and fresh weight were assessed to estimate the DE₅₀ and calculate the resistance index (RI). **Results:** Glyphosate doses of 267 and 534 g e.a./ha caused the death of all three *D. biflora* ecotypes at the two evaluated growth stages, respectively. The RI of the PZ ecotype compared to the susceptible SA and SM ecotypes was below 2. **Conclusion:** The PZ ecotype exhibited lower susceptibility to glyphosate in young plants, with a resistance index (RI) below 2,

¹ Ingeniero Agrónomo. Tel: 85754799. minor.castillo.segura@est.una.ac.cr Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

indicating no evolved resistance. Its sensitivity varied with age, being more susceptible at age 2. Compared to other ecotypes, the slight increase in the effective dose required to reduce growth by 50% (DE₅₀) suggests a potential physiological adaptation affecting herbicide response. Integrated weed management and herbicide rotation are recommended to prevent resistance evolution.

Keywords: Resistance; susceptibility; ecotype; control; phenology.

Introducción

La evolución de resistencia de una planta maleza a un herbicida es un fenómeno cada vez más global y extendido en la agricultura, en el que, como resultado, las poblaciones de malezas no son controladas con los herbicidas que se utilizaban para ese propósito. Esto se convierte en un desafío significativo para la agricultura y la sostenibilidad agrícola. La evolución de resistencia a los herbicidas es un fenómeno en el que individuos, que no se controlan con las dosis comerciales del herbicida, van seleccionando y enriqueciendo las poblaciones, lo que reduce la efectividad de las aplicaciones (Alcántara, 2022).

Uno de los problemas de la evolución de resistencia es que puede aumentar los costos de producción y generar efectos negativos en el medio ambiente, en la salud de las personas aplicadores y de los consumidores finales. Cuando una maleza se vuelve resistente a un herbicida, se va a requerir mayor cantidad de químico o una mayor frecuencia de aplicación para poder eliminarla, lo que conlleva a una mayor cantidad de residuos de herbicida en el suelo, mantos acuíferos, en la biodiversidad y en medio ambiente en general (Broce *et al.*, 2021).

El uso irracional de herbicidas ha provocado una gran problemática a nivel mundial, generando el desarrollo de la evolución de resistencia en las principales familias de malezas, como Poaceae y Asteraceae. Estas familias cuentan con gran diversidad biológica, de ahí la gran cantidad de ecotipos que han logrado evolucionar resistencia a los herbicidas aplicados (Heap, 2025).

Cuando un herbicida de amplio espectro, como el glifosato, se aplica de manera frecuente, se seleccionan plantas malezas difíciles de controlar por posibles problemas de evolución de resistencia. El glifosato es un herbicida no selectivo, sistémico, de amplio espectro, que tuvo sus orígenes en los años 70 y se comercializó inicialmente bajo el nombre Roundup® fabricado por la empresa Monsanto. Es un herbicida que se utiliza ampliamente para el manejo de las malezas en diversos cultivos a nivel mundial (Herrera *et al.*, 2016).

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Al aplicarlo, este herbicida se transporta sistémicamente, desde las hojas a otras partes de la planta, a través del sistema vascular, llegando a los cloroplastos, donde genera daños al metabolismo de la planta. Inhibe la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), la cual es esencial para la síntesis de aminoácidos y otras sustancias, lo que interrumpe el desarrollo normal de la planta, provocando a mediano plazo, la muerte total de la misma (Duque, 2021).

Para determinar la evolución de resistencia de una planta a un herbicida se puede comparar su DE_{50} , que es la cantidad de herbicida que reduce el crecimiento de la planta a la mitad, con la de una planta sin tratar. Este se calcula utilizando una curva de dosis-respuesta. El índice de resistencia (IR) se obtiene al comparar la DE_{50} del ecotipo presuntamente resistente con la del ecotipo presuntamente sensible. Si el IR es superior a 2, el ecotipo se considera resistente (Nina, 2020).

En la actualidad existen alrededor de 534 casos (especie por sitio de acción) de malezas que son resistentes a herbicidas a nivel global, con 273 especies, 156 dicotiledóneas y 117 monocotiledóneas. Estas malezas han evolucionado resistencia a 21 de los 31 sitios de acción conocidos y a 168 herbicidas distintos. En 101 cultivos y en 75 países se han reportado malezas resistentes a herbicidas (Heap, 2025).

En Costa Rica existen algunos casos de evolución de resistencia documentados: *Echinochloa colona* (L.) a diversos herbicidas como propanil, cihalofop-butil, fenoxaprop-etil, azimsulfuron, imazapyr, imazapic y bispiribac-sodio. Todos en cultivos de arroz. Asimismo, poblaciones de *Eleusine indica* (L.) Gaertn. y *Paspalum paniculatum* L. han evolucionado resistencia al glifosato en plantaciones de banano, plátano, pejibaye y yuca. Por otro lado, *Ixophorus unisetus* (J. Presl) Schltdl. Presenta evolución de resistencia a imazapyr en áreas de bordes de caminos, mientras que *Oryza sativa* var. *sylvatica* muestra evolución de resistencia tanto a imazapyr como a imazapic en campos arroceros (Heap, 2025).

Ramírez-Muñoz (2017), determinó que ecotipos resistentes de zacate cabezón (*Paspalum paniculatum* L.) de la región del Caribe de Costa Rica necesitan 4,4 veces más glifosato que los ecotipos susceptibles, para causar el 50% de reducción del peso fresco con respecto al testigo sin tratar, con un índice de resistencia mayor a 8 para la edad I y mayor a

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

5 para la edad II, y concluyó que el uso frecuente del glifosato como único método de manejo de malezas en cultivos de pejibaye y banano, favoreció el aumento de poblaciones de malezas con un grado de evolución de resistencia.

Otro estudio en Costa Rica realizado por Rodríguez-Ruiz *et al.* (2015), en poblaciones de *P. annua*, encontró evolución de resistencia al herbicida cletodim, a dosis superiores a las recomendadas por el fabricante; concluyeron que se necesita una gestión adecuada de los ecotipos de *P. annua* a este herbicida para evitar la propagación de la evolución de resistencia y así mantener su efectividad en el manejo de esta maleza.

Herrera (2018), realizó otra investigación con una población de *Rottboellia cochinchinensis*, donde encontró evolución de resistencia a los herbicidas inhibidores de la enzima acetil coenzima-Acarboxilasa (ACCase), concretamente al ingrediente activo cyhalofop butil; sumando otro caso más de evolución de resistencia en Costa Rica, pero no reportado aun a la International Weed Science Society (IWSS), al igual que el caso de *P. annua*.

Para la planta *D. biflora* no se encuentran reportes oficiales de evolución de resistencia a ningún herbicida en ningún país (Heap, 2025).

De acuerdo con Belz *et al.* (2022), cualquier población de malezas puede tener plantas resistentes en baja frecuencia, producto de mutaciones que ocurren de manera natural, independientemente de la zona geográfica en que se encuentre. Los ecotipos susceptibles al herbicida utilizado mueren, mientras que los resistentes sobreviven y se reproducen, generando propágulos resistentes. Estos propágulos pueden ser asexuales, para así dar lugar a un organismo idéntico al que lo formó, o sexuales o semillas que pueden poseer características de evolución de resistencia de la planta madre.

Producto del uso indiscriminado y frecuente de herbicidas se generan grandes dificultades en el control de varias plantas. Una de estas es la maleza *Delilia biflora* (L.) Kuntze, (Asteracea). Esta es una planta anual, tiene la capacidad de alcanzar una altura de 90 cm, su hoja es ancha y posee un margen liso y una vena central muy pronunciada y visible. Sus flores son diminutas, se disponen en pares y presentan una tonalidad que va del blanco al amarillo claro. En el caso de sus semillas, estas son pequeñas y livianas, lo que le otorga

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

una valiosa ventaja para que estas se diseminen a través del viento (Alemán Zeledón *et al.*, 2012).

Productores de granos básicos de la zona de Pérez Zeledón, expresan que en sus fincas, el control de la maleza *D. biflora* presenta grandes dificultades, y las achacan a una eficacia reducida del glifosato, usado para su control presiembra. Por lo tanto, el estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta ecotipos de *D. biflora* a dosis crecientes del herbicida glifosato para determinar una posible evolución de resistencia.

Materiales y métodos

Ubicación de los ecotipos de *D. biflora* (L.) Kuntze

La investigación involucró la evaluación de tres ecotipos: uno presuntamente resistente (PZ) y dos presuntamente sensibles (SA y SM). Las semillas del ecotipo PZ fueron recolectadas en una finca productora de granos básicos en Pejibaye, Pérez Zeledón, San José, donde la población de malezas había estado expuesta al herbicida glifosato durante más de diez años.

Por otro lado, las semillas del ecotipo SA, fueron obtenidas en el distrito de San Andrés, Cantón de León Cortés, San José. Y las del ecotipo SM, en el distrito de San Marcos, Cantón de Tarrazú, San José. Ambas de lotes en barbecho donde no se había utilizado ningún tipo de herbicida en más de 15 años.

Método de recolección de semillas, escarificación y germinación.

Las semillas se cosecharon manualmente una sola vez, de plantas con inflorescencias maduras. Se colocaron en bolsas de papel, se etiquetaron y se llevaron a uno de los invernaderos de la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), en Barva de Heredia, perteneciente a la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) (10°01'19"N 84°06'43"W). Allí, se dispusieron sobre tarimas para su secado. El invernadero mantenía una temperatura promedio de 35 a 40 °C durante el día. Las semillas permanecieron allí durante ocho días.

Transcurrido ese período, se colocaron nuevamente en bolsas de papel, se etiquetaron y se llevaron al Laboratorio de Recursos Fitogenéticos de la UNA en Heredia, para su limpieza y escarificación.

El proceso de escarificación se llevó a cabo utilizando una licuadora. Las semillas se colocaron en el instrumento, con cuchillas cubiertas con cinta para evitar que cortaran las semillas, después las semillas fueron limpiadas. Se pasaron por varios tamices de diferentes tamaños y luego se colocaron en una máquina especial de limpieza de semillas, que utilizaba aire y densidad de peso para separar las impurezas.

Para estimular la germinación, las semillas se colocaron en un horno a una temperatura constante de 38°C durante 18 horas. Posteriormente, se colocaron en bandejas con una mezcla comercial de sustrato de crecimiento (marca Pindstrup, Dinamarca) y suelo (Andisol) obtenido de la FESL, en una proporción 50/50. Estas bandejas se colocaron en un invernadero protegido con malla antiáfidos, techo de plástico transparente y riego aplicado dos veces al día.

Las bandejas se trasladaron a los invernaderos de la empresa Investigación y Desarrollo en Agricultura Tropical (IDEA Tropical), ubicada en Tambor de Alajuela (10°02'29.0"N 84°14'11.5"W), a una altitud de 968 msnm, con temperaturas entre 15°C y 30°C y una precipitación anual media de aproximadamente 2699mm (Estación meteorológica de Fabio Baudrit, UCR. 2025).

Una vez que las plántulas alcanzaron su primer par de hojas verdaderas, se trasplantaron 2 por maceta de 100 dm³, llenas con la misma mezcla utilizada en las bandejas. El suelo utilizado para las macetas fue suplementado con fertilizante químico granulado 10-30-10 a razón de 2 g por maceta. Las plántulas crecieron en un invernadero protegido por malla antiáfidos y techo plástico transparente, con riego aplicado dos veces al día, luz natural durante cerca de 12 horas y una temperatura diaria promedio de 31°C.

Descripción y aplicación de los tratamientos

Se llevaron a cabo dos experimentos preliminares con el objetivo de determinar el ámbito de respuesta de *D. biflora* a dosis crecientes del herbicida glifosato de todos los ecotipos. Una vez conocida la respuesta, se procedió a realizar los experimentos finales.

Cada experimento incluyó nueve tratamientos, con cuatro repeticiones, utilizando dosis X/32, X/16, X/12, X/8, X/4, X/2, X, 2X, 4X, donde X es la dosis comercial por hectárea (534 g e.a. ha). Se usó un diseño experimental de bloques completos, donde las plantas de cada

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

bloque tuvieron un desarrollo similar. Cada bloque contó con dos testigos sin tratar (definidos como T0), repitiéndose este procedimiento al menos una vez.

Se evaluó la respuesta de los 3 ecotipos a dos edades, la edad 1 comprendió plantas de 6 a 9 hojas verdaderas y la edad 2 de 12 a 14 hojas verdaderas y con inflorescencias.

Las plantas fueron asperjadas una única vez con la dosis correspondiente. Se utilizó una dilución de una formulación comercial del herbicida (Roundup 35,6 SL que contiene 356 g de glifosato por litro) en una cámara de aspersión calibrada para descargar 200 L/ha con una presión de 44 PSI a través de una boquilla 8002 a una altura de 50 cm. Una vez que el follaje tratado se secó, las macetas se colocaron nuevamente en el invernadero.

La siguiente tabla detalla los tratamientos, dosis de glifosato en g e.a.ha⁻¹ y L p.c.ha⁻¹ para determinar la respuesta de los ecotipos de *D. biflora*, presuntamente sensibles (SA y SM) y presuntamente resistente (PZ) (tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos para determinar la respuesta a dosis crecientes de glifosato en ecotipos de *D. biflora*.

	Ecotipos (SA - SM) - (PZ).	
	Dosis	
	g e.a.ha ⁻¹	L p.c.ha ⁻¹
Testigo	0	0
1	16.7	0.047
2	33.5	0.094
3	44.5	0.125
4	66.8	0.187
5	133.5	0.375
6	267.0	0.75
7	534.0	1.5
8	1068.0	3
9	2136.0	6

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de los tratamientos y procesamiento de datos

En cada experimento se evaluó visualmente el porcentaje de daño tanto en las plantas aplicadas como en las no tratadas (testigos), utilizando una escala de valores entre 0 a 100, donde 0 corresponde a la ausencia de daño y 100 a la ausencia de tejido vivo. Las evaluaciones

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

se llevaron a cabo 14 días después de la aplicación (dda). Posteriormente las plantas se cosecharon a una altura de 0.5 cm sobre la superficie del suelo, se obtuvo su peso fresco y se mantuvieron con riego durante dos semanas para determinar rebrotes.

Para cuantificar el efecto de los tratamientos en cada ecotipo, se calculó la DE_{50} , que es la dosis de herbicida capaz de reducir el crecimiento de la planta en peso fresco a la mitad en comparación con su testigo sin tratar. Se utilizó el paquete estadístico R y la ecuación propuesta por Seefeldt et al. (1995) para calcular los valores a partir de la curva de respuesta a dosis crecientes.

Tabla 2. Fórmula para determinar el valor de DE_{50} de los ecotipos de *D. biflora*.

$$U_{ij} = C_i + \frac{D - C_i}{1 + \exp \exp [b_i (\log \log (z_j) - \log \log (DE_{50}(i)))]}$$

Fuente: Seefeldt et al. (1995).

Simbología:

U_{ij} = la respuesta a la dosis j del herbicida i

D = límite superior del crecimiento de las plantas a la concentración cero de herbicida (testigo)

C_i = límite inferior a la dosis más elevada del herbicida

i y b_i = Pendiente de la curva de respuesta cerca de la $DE_{50}(i)$.

El índice de resistencia (IR) se calculó dividiendo el valor de DE_{50} del ecotipo PZ entre el valor de la DE_{50} de los ecotipos SA y SM. Si el valor obtenido era mayor a 2, el ecotipo se consideraba resistente al herbicida. Además, se estimaron los intervalos de confianza para establecer la significancia estadística del resultado.

Resultados.

Los resultados muestran que las plantas de los tres ecotipos de *D. biflora* (PZ, SA y SM) presentaron daño letal a partir de 267 y 534 g e.a./ha en la primera y segunda edad respectivamente. Los valores del índice de resistencia (IR) fueron menores a 2.0 en todas las comparaciones (edad 1: PZ/SA = 1.66, PZ/SM = 1.14; edad 2: PZ/SA = 0.72, PZ/SM = 1.09), por lo que no se considera que exista evolución de resistencia a glifosato. No se observaron rebrotes en ningún tratamiento de todos los ecotipos, aún 14 días después de su cosecha.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

En la tabla 3 se muestran los valores de DE₅₀ de los ecotipos evaluados en ambas edades. Para el ecotipo PZ, el valor de DE₅₀ promedio en la edad 1, es de 106.77 g e.a./ha, para el ecotipo SA es de 93.82 g e.a./ha, mientras que para el ecotipo SM es de 64.13 g e.a./ha, por lo que PZ requiere de 0,12 y 0,61 veces más herbicida que SA y SM (respectivamente) para presentar un efecto de daño similar.

En el caso de las plantas evaluadas en la edad dos, la DE₅₀ del ecotipo SA es 183.25 g e.a./ha, mientras que para el ecotipo PZ es 131.77 g e.a./ha. Por lo tanto, PZ requiere 0.39 veces mas herbicida que SA para presentar un efecto de daño similar.

La DE₅₀ del ecotipo SM es de 121.07 g e.a./ha. En comparación, PZ requiere 131.77 g e.a./ha., lo que representa que SM requiere de 0,08 veces más herbicida que PZ, para presentar un efecto de daño similar.

Tabla 3. Valor de DE₅₀ y error estándar de ecotipos de *D. biflora* al herbicida glifosato de distintas regiones de Costa Rica.

Ecotipo R o S	Roundup 35,6 SL L p.c./ha.		Equivalente ácido de glifosato g e.a./ha	
	Edad I	Edad II	Edad I	Edad II
PZ	0.299 ± 0.03	0.370 ± 0.06	106.77 ± 11.11	131.77 ± 20.34
SA	0.263 ± 0.03	0.514 ± 0.07	93.82 ± 11.10	183.25 ± 25.22
SM	0.180 ± 0.02	0.340 ± 0.05	64.13 ± 9.20	121.07 ± 19.68

Fuente: elaboración propia.

Las imágenes a continuación ilustran visualmente el comportamiento de cada ecotipo en función de la dosis aplicada a los 14 dda, en la edad 1, expresada en g e.a./ha.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

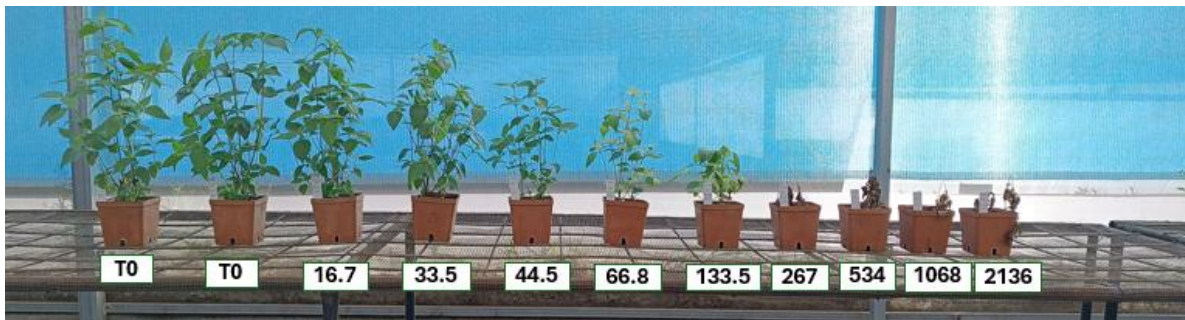


Figura 1. Respuesta del ecotipo PZ de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

Para todos los ecotipos, las plantas no sobrevivieron a la aplicación de dosis iguales o superiores a 267 g e.a./ha (0.75 kg p.c./ha), evidenciando un efecto letal a partir de ese umbral (figura 2).

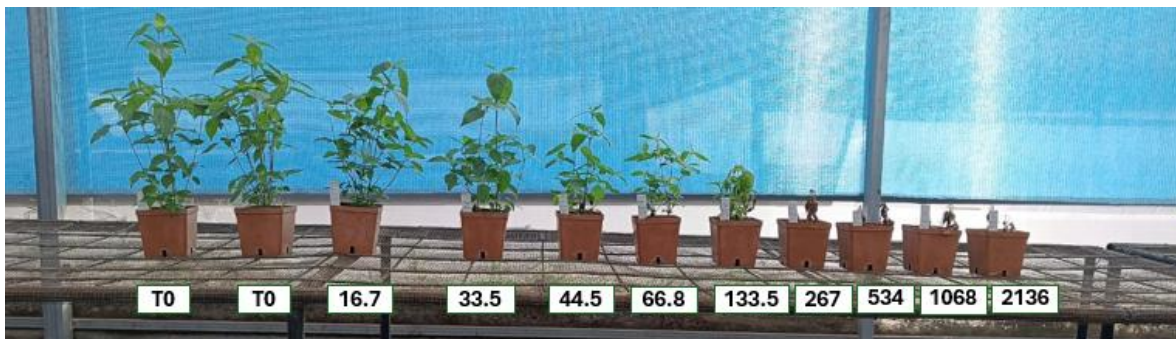


Figura 2. Respuesta del ecotipo SA de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

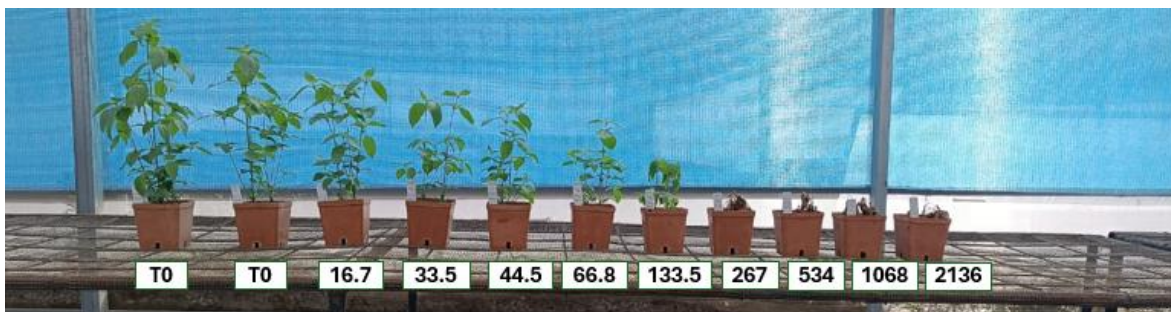


Figura 3. Respuesta del ecotipo SM de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 1, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Las curvas de respuesta (DE_{50}) de la primera edad, a los 14 dda con los valores promedios de peso fresco por ecotipo de varios experimentos se muestran a continuación.

En la Figura 4, al considerar los valores de DE_{50} , se observa que el peso fresco disminuye progresivamente en los tres ecotipos (PZ, SA y SM) a medida que aumenta la dosis de herbicida. A partir de la quinta aplicación (133,5 g e.a./ha), ya se evidencia una reducción notable del peso fresco. En la sexta aplicación (267 g e.a./ha), la reducción se profundiza significativamente, alcanzando niveles de daño letales en todos los ecotipos.

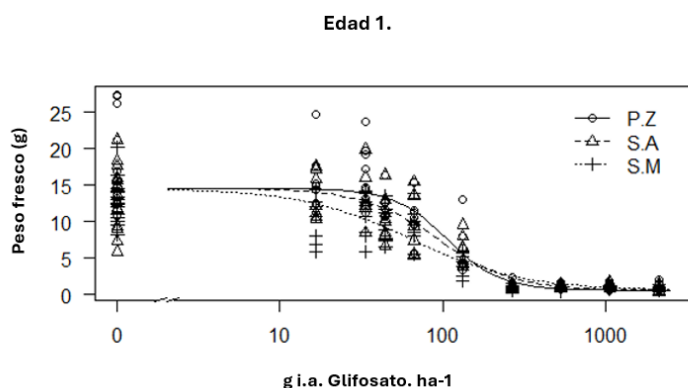


Figura 4. Curva de respuesta a dosis creciente de glifosato 14 dda, edad 1, (PZ, SA, SM). Fuente. Elaboración propia.

La figura 5, muestra que las plantas de los ecotipos evaluados requieren entre 66.8 y 133.5 g e.a./ha de glifosato para alcanzar un 60% de daño visual.

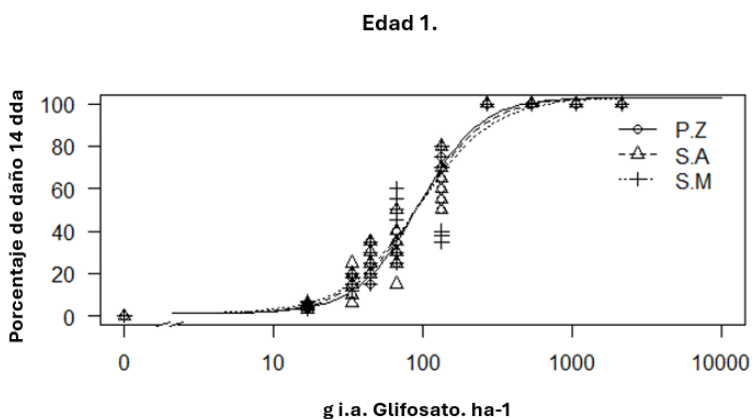


Figura 5. Porcentaje de daño visual 14 dda, edad 1, con dosis crecientes de glifosato de los ecotipos (PZ, SA, y SM). Fuente. Elaboración propia.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

A continuación, se presentan las imágenes que muestran la respuesta de cada ecotipo, a diferentes dosis de glifosato: Ecotipo PZ, Ecotipo SA y Ecotipo SM. En la edad 2.

Para todos los ecotipos, la aplicación de dosis iguales o superiores a 534 g e.a./ha ocasionó un daño letal en las plantas, a los 14 dda (Figura 6).

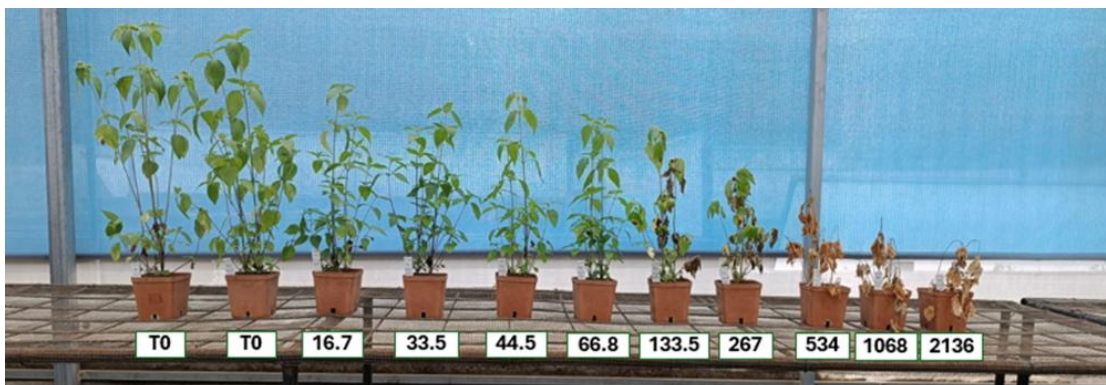


Figura 6. Respuesta del ecotipo PZ de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

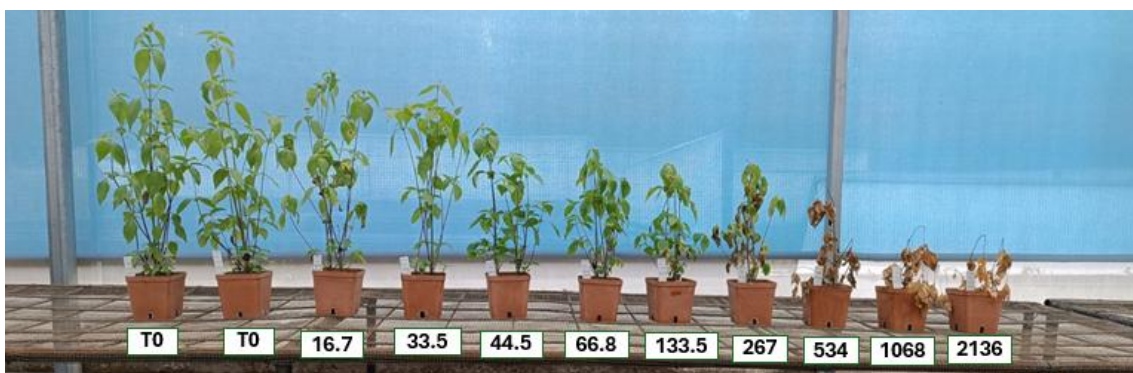


Figura 7. Respuesta del ecotipo SA de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

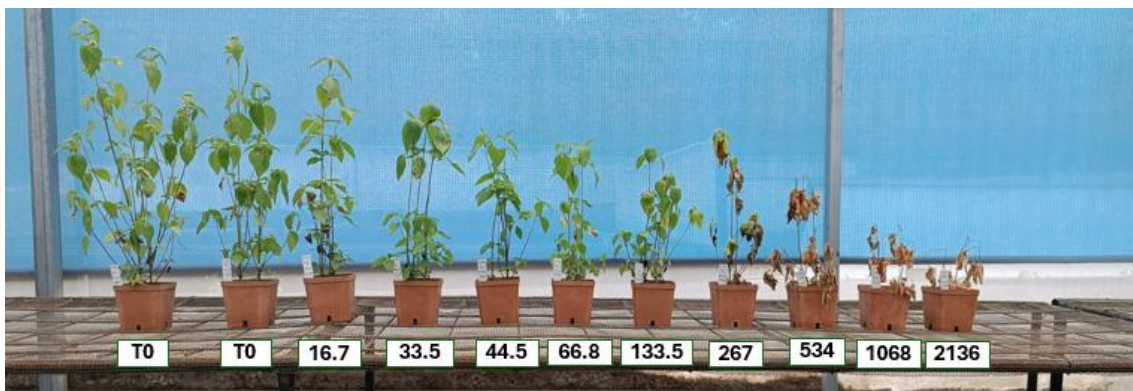


Figura 8. Respuesta del ecotipo SM de *D. biflora* a dosis crecientes de glifosato a los 14 dda, en la edad 2, valores en gramos de ingrediente activo por hectárea. Fuente. Elaboración propia.

A continuación se presentan las curvas de respuesta (DE_{50}) de la segunda edad, con los valores promedio de peso fresco por ecotipo obtenidos de varios experimentos a los 14 dda.

A una dosis de 267 g e.a./ha, los tres ecotipos mostraron una reducción en el peso fresco, con valores promedio que oscilaron entre 3 y 15 g por planta. Estos valores corresponden a una reducción del 40 al 88% en comparación con el peso promedio del testigo (25 g/planta). Con la dosis de 534 g e.a./ha, el peso fresco se redujo aún más, con valores entre 0 y 5 g por planta, lo que representa una reducción del 80 al 100% respecto al testigo. Todos los valores se expresan como reducción porcentual del peso fresco en relación con el promedio del testigo. (Figura 9).

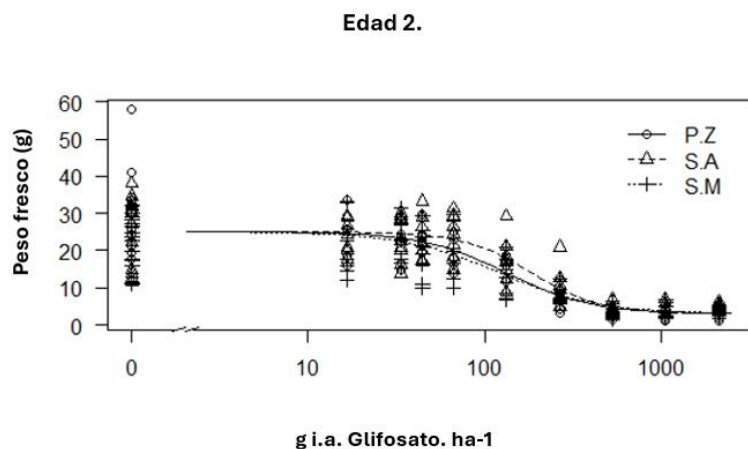


Figura 9. Curva de respuesta a dosis creciente de glifosato de los ecotipos PZ, SA y SM, 14 dda para la edad 2. Fuente. Elaboración propia.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Las plantas de los ecotipos evaluados (PZ, SA, y SM) en la segunda edad a los 14 dda, requieren una dosis de 267 g e.a./ha de glifosato para alcanzar un 60% de daño visual en comparación con el testigo (Figura 10).

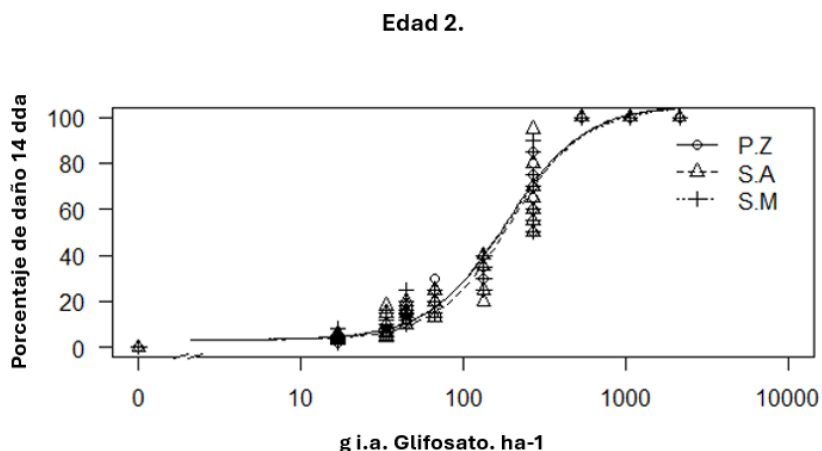


Figura 10. Porcentaje de daño visual 14 dda para la edad 2, con dosis crecientes de glifosato de los ecotipos PZ, SA, SM. Fuente. Elaboración propia.

Al calcular el índice de resistencia entre el ecotipo presuntamente resistente (PZ) con SA y SM en la primera edad da como resultado un valor de 1.14 y 1.66, y para la segunda edad 0.72 y 1.09, respectivamente. Dado que el valor mínimo del índice para declarar evolución de resistencia es de 2.00, no se considera ningún ecotipo de *D. biflora* como resistente al herbicida glifosato (Tabla 4)

Tabla 4. Índice de resistencia (IR) de ecotipos de *D. biflora* en estudio. IR: (DE₅₀ R/DE₅₀ S)

IR	PZ	EDAD
SA	1.14	I
SM	1.66	I
SA	0.72	II
SM	1.09	II

Fuente: elaboración propia.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Es importante destacar que las plantas de todos los ecotipos, tanto en la edad 1 como en la edad 2, no lograron producir rebrotes aún 14 días después de su cosecha.

Discusión

Según conversaciones con algunos productores del lugar de donde se obtuvo el ecotipo PZ, el control presiembra de malezas se ha realizado principalmente mediante aplicaciones frecuentes del herbicida glifosato, con una frecuencia de 3 a 5 aplicaciones al año. Este herbicida ha sido utilizado de forma continua durante aproximadamente 8 a 10 años. Aunque también se emplean otros herbicidas con diferentes modos de acción, como fomesafen o paraquat, el glifosato sigue siendo el herbicida predominante para preparar el suelo antes de la siembra. Edgar (2021), señala que las malezas, por su naturaleza, tienen una alta tasa de reproducción y además tienen la capacidad de adaptarse rápidamente a cambios en su entorno, como lo podría ser la presencia de herbicidas, generando así problemas de evolución de resistencia en sus poblaciones.

Además Quesada Cabezas (2024), menciona que a medida que se utiliza un mismo herbicida de forma recurrente y a dosis elevadas en campo, se seleccionan individuos dentro de una población, genéticamente capaces de sobreponerse al daño letal ocasionado por el herbicida. Con el pasar del tiempo, estos se reproducen al punto de predominar en campo.

En la investigación realizada con ecotipos de *D. biflora*, el índice de resistencia (IR) para las edades 1 y 2, no fue superior a 2, lo que indica que no hay evolución de resistencia a glifosato. Una explicación sobre por qué *D. biflora* aún no se considera como una maleza con evolución de poblaciones resistentes al glifosato, podría estar relacionada con las prácticas de manejo empleadas en los sistemas productivos. En estos, no se utiliza exclusivamente glifosato, también se aplican otros herbicidas con diferentes modos de acción, lo que reduce la presión de selección de evolución de resistencia. Vázquez-García (2021) y Gómez Valero (2024) coinciden en que una estrategia eficaz para prevenir o retrasar la evolución de resistencia a herbicidas, consiste en alternar productos con diferentes mecanismos de acción. Esta rotación de ingredientes activos reduce la presión de selección ejercida por el uso repetido de un solo modo de acción, lo cual interfiere con los procesos de selección que favorecen la aparición de ecotipos resistentes. Aunque el glifosato se utiliza

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

con frecuencia, la implementación de otras prácticas de manejo puede estar limitando aún más la presión de selección.

En las evaluaciones, el ecotipo presuntamente resistente (PZ) mostró un índice de resistencia mayor en la primera edad (1.66 y 1.14 frente a SA y SM, respectivamente) que en la segunda edad (0.72 y 1.09), lo que indica una menor susceptibilidad en etapas tempranas. Esta diferencia puede relacionarse con lo planteado por Taiz *et al.* (2021), que mencionan que las plantas más jóvenes tienden a ser más eficientes en sus mecanismos de defensa, debido a su alta actividad enzimática, y tienen una mayor capacidad para metabolizar los herbicidas. En contraste las plantas más adultas, al concentrar sus recursos en la reproducción, muestran una menor capacidad de metabolización, siendo más vulnerables a la acción del herbicida utilizado.

Taiz *et al.* (2021), explican también que, el concepto fuente-sumidero en el movimiento de los fotoasimilados de las plantas, describe la manera en que se distribuyen los recursos energéticos entre los diferentes órganos, dependiendo de las necesidades fisiológicas y del estado de desarrollo de la planta. Por ejemplo, durante la fase de floración, las estructuras reproductivas actúan como sumideros prioritarios, pero la planta desarrollada busca movilizar y reservar desde las hojas a la base del tallo o raíces, facilitando así el transporte del glifosato hacia los órganos de reserva. En cambio, las plantas jóvenes en crecimiento dirigen los nutrientes principalmente hacia los brotes, lo que puede limitar la eficacia del movimiento del herbicida. Esto puede explicar por qué las plantas de *D. biflora* del ecotipo PZ, a la edad 2, no aumentaron su IR en comparación con los otros ecotipos; similar comportamiento lo describe Ramírez-Muñoz (2017), en *P. paniculatum* aplicadas de igual forma con glifosato, cuyo IR a la edad I fue de 8 y a la edad II bajó a 5.

Uno de los principios fundamentales de la evolución genética indica que cuando un organismo se adapta a un nuevo entorno, esa adaptación puede afectar negativamente su desempeño en el ambiente original. A este fenómeno se le conoce como costo de adaptación o penalización por “fitness” (Purinton, 2000; Strauss *et al.*, 2002). En el caso de algunas plantas, se ha observado que cuando evolucionan resistencia al glifosato mediante la reducción en su transporte interno, pueden presentar consecuencias negativas asociadas a esa adaptación. Estos efectos adversos pueden estar relacionados con una menor capacidad de

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

los ecotipos resistentes (R) para absorber o movilizar compuestos esenciales, como los fosfatos (Shaner, 2009).

Algunas consecuencias derivadas de la evolución de resistencia pueden afectar negativamente el desempeño general de las plantas, influyendo en su vigor, capacidad de crecimiento, producción y viabilidad de semillas, porcentaje de germinación, competitividad frente a otras especies, menor eficiencia en la absorción de nutrientes y agua. También se han reportado otros posibles efectos, como menor eficiencia fotosintética, menor acumulación de biomasa, reducción en el desarrollo del sistema radicular, y una respuesta fisiológica más limitada ante condiciones de estrés abiótico o biótico (Monquero *et al.*, 2004).

En la evaluación de los tres ecotipos (PZ, SA y SM) a dos edades, se observó que todos incrementaron su DE_{50} con la edad, pero en diferente magnitud. El ecotipo PZ pasó de 106.77 a 131.77 g e.a./ha, con un aumento del 23.4%, mientras que SA pasó de 93.82 a 183.25 g e.a./ha, un aumento del 95.3% y SM de 64.13 a 121.07 g e.a./ha, un aumento de 88.8%. Aunque PZ fue menos susceptible en la Edad 1 que SA y SM. En la Edad 2 resultó 0.39 (39%) más susceptible que SA y apenas 0.08 (8%) veces más resistente que SM. Esta menor variación en PZ podría deberse a varios factores, una posible especulación, sugiere una penalización por adaptación o costo de “fitness”, como indica la literatura. Es decir, el ecotipo PZ al haber desarrollado menor susceptibilidad en la edad 1, podría estar pagando un costo fisiológico que limita su capacidad para seguir aumentando una menor susceptibilidad al herbicida conforme avanza en edad. Esta limitación podría deberse a alteraciones en funciones clave como el transporte de nutrientes en etapas posteriores o el crecimiento, lo que explicaría por qué su DE_{50} aumentó tan poco en la edad 2, en comparación con los otros ecotipos.

La evolución de la resistencia a herbicidas está condicionada tanto por las características intrínsecas de las malezas como por factores relacionados con el herbicida. La variabilidad genética de las malezas es uno de los atributos más importantes que influyen en la evolución de resistencia (Baucom & Mauricio 2004). La sensibilidad de una población a un herbicida debe analizarse desde una perspectiva genética, ya que la exposición continua actúa como una presión de selección que favorece a individuos portadores de variantes genéticas, llamados genes de resistencia presentes de forma natural en baja frecuencia, los cuales pueden acumularse, recombinarse y transmitirse mediante reproducción sexual.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

provocando una disminución en la sensibilidad, aunque sin lograr una evolución de resistencia. Además, la resistencia que opera fuera del sitio de acción puede ser heredable y estar asociada a mutaciones en genes no directamente relacionados con el sitio activo del herbicida (Beckie & Tardif 2012). La expresión de genes relacionados con resistencia puede variar según la edad fisiológica de la planta, lo que podría explicar respuestas diferenciadas en etapas avanzadas de desarrollo.

Otro detalle importante sobre cómo explicar esta diferencia de respuesta entre edades, son las características de los ecotipos, las cuales no fueron evaluadas en esta investigación. La especie puede diferir entre ecotipos y edades; por ejemplo, Franz *et al.* (1997), mencionan que diferencias en la textura de las hojas, como el área foliar, la pubescencia o cantidad de cera, pueden afectar la absorción o penetración del herbicida. También, al no conocer el o los mecanismos de evolución de resistencia de esta maleza, no se sabe si hay diferencias entre ecotipos en cuanto a efectividad de transporte, metabolización aumentada o desecho vacuolar, lo que podría explicar estas diferencias.

Aunque este estudio no evaluó la calidad de las aplicaciones en campo, varios productores de las fincas donde se colectó el ecotipo PZ, reportan fallas en el control de *D. biflora* con glifosato. Esta falta de eficacia podría no deberse exclusivamente a un problema de evolución de resistencia. Powles y Yu (2010), mencionan que las fallas en el control de una maleza, mediante la aplicación de un herbicida, pueden deberse a diversos factores, entre ellos, una gestión inadecuada durante el proceso de aplicación, como el uso de agua dura o contaminada sin el acondicionamiento previo adecuado, la selección incorrecta de boquillas, el uso de dosis inapropiadas o la implementación de técnicas de aplicación poco eficientes. También pueden influir factores como una cobertura deficiente del follaje, condiciones climáticas desfavorables al momento de la aplicación, como alta temperatura, baja humedad relativa o lluvias inmediatas.

Todos estos aspectos pueden limitar la acción del herbicida y generar una percepción errónea de evolución de resistencia en campo. Sin embargo, el objetivo del estudio fue evaluar la respuesta de ecotipos al glifosato, sin analizar diferencias morfológicas ni mecanismos de evolución de resistencia. Además, se trabajó con ecotipos de distintas zonas y altitudes, lo que también podría influir en los resultados. Por tanto, no se puede afirmar que

la menor sensibilidad relativa del ecotipo PZ en la edad 2, se deba a un mecanismo de evolución de resistencia, sino que podrían intervenir otros factores. Sharma y Singh (2001), mencionan que las variaciones en altura pueden influir en las condiciones climáticas, en aspectos como la temperatura y la humedad relativa. Estas condiciones, al momento de la aplicación del herbicida, pueden afectar significativamente la eficacia del producto, ya que influyen en procesos fisiológicos de la planta y en la dinámica de absorción y translocación del herbicida.

El manejo de las malezas en los sistemas productivos es una labor complicada, y el problema de la evolución de resistencia en éstas, genera un desafío mayor. Para impedir o mitigar que esto ocurra, es de suma importancia implementar prácticas, donde se aborde un manejo integrado, por medio de la rotación de cultivos y de prácticas de control, el uso de coberturas vegetales, la correcta aplicación y dosificación de herbicidas, entre otras. Estos métodos de manejo disminuyen la dependencia de herbicidas, garantizando así una mejor sostenibilidad en el sistema agrícola.

Conclusiones

A pesar de que el ecotipo supuestamente resistente (PZ) en la edad 1, requiere de mayor cantidad de herbicida para reducir el peso fresco en comparación con SA y SM, la diferencia de valor genera un IR menor a 2, lo que teóricamente sugiere que el problema de control de esta especie con glifosato no es por evolución de resistencia. Por tanto, la falta de control podría deberse a otros factores, debido a que el momento de aplicación depende del estado fenológico de la planta, la cobertura foliar, morfología de las superficies de la planta, las condiciones ambientales o la calidad de la aplicación, que afectan la absorción, traslocación y efectividad del glifosato.

La sensibilidad al glifosato fue influenciada por el ecotipo y la edad de las plantas. El ecotipo PZ mostró mayor evolución de resistencia en etapas tempranas del desarrollo, pero esta diferencia se redujo conforme las plantas alcanzaron una mayor edad, llegando incluso a ser más susceptible en la segunda edad respecto a SA. Esto evidencia que la respuesta al herbicida no es constante en el tiempo y puede variar según el estado de desarrollo de las plantas.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al herbicida glifosato

Se concluye que el comportamiento diferencial de los ecotipos evaluados sugiere que el ecotipo PZ presenta una menor susceptibilidad de evolución de resistencia al glifosato en etapas tempranas del desarrollo, en comparación con los otros ecotipos. No obstante, el bajo incremento en su DE_{50} entre la primera y la segunda edad, en contraste con los aumentos observados en SA y SM, sugiera que estas diferencias observadas en la respuesta al herbicida a diferentes edades entre poblaciones, podrían estar relacionado con la variación natural entre ecotipos y su entorno de procedencia. Esta variación es común entre poblaciones de la misma especie y puede originarse por procesos como la selección natural, el flujo genético o la variabilidad ambiental.

Aplicaciones tardías de glifosato sobre *D. biflora* pueden requerir dosis mayores, lo que refuerza la importancia de intervenir en etapas tempranas del desarrollo. Además, es clave optimizar su uso con buenas prácticas de aplicación y evitar su uso repetido para prevenir la evolución de resistencia.

Ninguno de los ecotipos de *D. biflora* en ambas edades, mostraron capacidad de rebrote después del corte, aun bajo condiciones de riego constante. Esta ausencia de rebrote se atribuye a su patrón de crecimiento epigeo, caracterizado por la presencia de yemas únicamente en la parte aérea, lo que limita su regeneración una vez eliminado el follaje.

Aunque los reportes de campo indican fallas en el control de *D. biflora* con glifosato, estas no necesariamente se deben a la evolución de resistencia. Factores operativos durante la aplicación podrían estar influyendo en la eficacia del herbicida. Por ello, estudios como este son fundamentales para diferenciar entre evolución de resistencia y errores en el manejo.

A pesar de que en la investigación no se confirmó la presencia de ecotipos resistentes, los valores obtenidos en el IR indican una posible tendencia hacia la evolución de resistencia en las poblaciones evaluadas. Esto resalta la importancia de aplicar estrategias de manejo integrado de malezas, como la rotación de herbicidas con diferentes modos de acción, con el fin de evitar que las poblaciones desarrollen mecanismos de adaptación que comprometan la eficacia de los productos utilizados a futuro.

Agradecimientos

Primero, quiero agradecer a Dios por darme la fortaleza necesaria en cada momento durante la realización de este Trabajo.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi profesor y director de tesis, Dr. Fernando Ramírez-Muñoz, por su tiempo, dedicación, valiosas enseñanzas y consejos a lo largo de este proceso. Su guía, compromiso y conocimiento fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo y para mi formación profesional.

Al Dr. Bernal Valverde, por permitirme realizar la parte experimental de mi trabajo, en su empresa, IDEA Tropical, y por compartir su vasto conocimiento en el ámbito de las malezas, lo cual fue crucial para la correcta ejecución de la metodología empleada.

Expreso también mi profundo agradecimiento al M.Sc. Walter Peraza, mi profesor y asesor, quien me guio a lo largo de mi formación académica y contribuyó significativamente con su gran conocimiento.

Durante este proceso, conté con el valioso apoyo de un gran colega, compañero y amigo, Lic. Osvaldo Quesada. Su conocimiento, ayuda y consejos fueron fundamentales para llevar adelante este proyecto de la mejor manera posible.

En fin, muchas personas me han ayudado de diversas maneras en esta etapa de mi vida: profesores, compañeros, amigos, familia, etc. A todas ellas, mi más sincero agradecimiento por su apoyo.

Recomendaciones.

Se recomienda realizar un diagnóstico detallado de las prácticas actuales de manejo de malezas en las fincas, el cual debe incluir la caracterización del uso de herbicidas en aspectos como la calidad del agua (presencia de residuos calcáreos, dureza, pH), el acondicionamiento previo para la aplicación del herbicida y el tipo de boquillas utilizadas. Esto permitirá determinar o recomendar la presencia e inducción de coadyuvantes u otros insumos que contribuyan a mejorar el control de la maleza.

Además, es crucial brindar formación técnica a los productores sobre prácticas adecuadas de aplicación, incluyendo la correcta selección de dosis, condiciones climáticas apropiadas para la aspersion y mezclas de productos, si lo requiere. Este acompañamiento

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

puede prevenir errores comunes que afectan la eficacia del control y optimizar el uso de los insumos disponibles.

Es necesario caracterizar morfológicamente los biotipos a través de mediciones simples en laboratorio o campo, evaluando características como tamaño foliar, grosor de cutícula, cantidad de cera o presencia de tricomas, que podrían estar afectando la absorción del herbicida y comprometiendo la efectividad en el control de la maleza.

Se debe promover entre productores el uso de rotación de cultivos, coberturas vegetales, control mecánico y alternancia de herbicidas con diferentes modos de acción para reducir la presión de selección y prevenir la evolución de resistencia.

Referencias

- Alcántara-de la Cruz, R. (2022). Prevención, detección y manejo de la resistencia a herbicidas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(2), 17-18. <https://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/527/431>
- Alemán Zeledón, F., Quezada Bonilla, B., y Garmendia Zapata, M. A. (2012). Flora arvense y ruderal del Pacífico y Centro de Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/3186/1/nf70a367f.pdf>
- Baucom, R. S., & Mauricio, R. (2004). Fitness costs and benefits of novel herbicide tolerance in a noxious weed. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(36), 13386-13390. <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0404306101>
- Beckie, H. J. & Tardif, F. J. (2012). Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection*, 35, 15-28. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.12.018>
- Belz, R. G., Carbonari, C. A., & Duke, S. O. (2022). La influencia potencial de la hormesis en la evolución de la resistencia a los herbicidas. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100360. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584422000356?casa_token=ItK5AHjDCoEAAAAA:9O9cT1yEg7McIUemPNpgY_ojDc8UJDu0XPB-3d5uA0J464AkuCiIfgkBc5Zle30WJIHhiAPSQFrM
- Broce, E. N., & López, R. A. (2021). Resistencia de Malezas a Herbicidas en Latinoamérica y Métodos de Manejo. *Revisión de Literatura*.

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bdd900e0-12db-4e30-96b2-4fb9447e2edc/content>

- Duque, SO (2021). Glifosato: usos distintos a los cultivos resistentes al glifosato, modo de acción, degradación en las plantas y efectos en plantas y microbios agrícolas no objetivo. Revisiones de Contaminación Ambiental y Toxicología Volumen 255: Glifosato, 1-65. https://sci-hub.se/10.1007/398_2020_53
- Franz, J. E., Mao, M. K. & Sikorski, J. A. (1997). Glyphosate: a unique global herbicide. ACS Monograph 189 (1a ed.). Washington, DC: American Chemical Society <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19972301931>
- Moreno Campuzano, E. S. (2021). Manejo de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021). <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9205/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000292.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez-Gómez, R. (2024). ¿Malezas o arvenses? Una propuesta conceptual para su manejo agroecológico. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212024000100040
- Gómez Valero, M. G. (2024). Herbicidas coformulados sobre el control de malezas en el cultivo de maíz (*Zea Mays*) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024). <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16008/E-UTB-FACIAG-AGRON-000111.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Heap, I. (2025). The International Herbicide-Resistant Weed Database. Online. Monday, March 10, 2025. Available www.weedscience.org
- Herrera J, Beltran K, Garzón J, González L, Herrera L, Torres A. (2016). Toxicidad aguda de una formulación comercial de glifosato sobre *Poecilla reticulata* (pisces: poecilidae) en condiciones de laboratorio. (6):91–98. <https://journal.poligran.edu.co/index.php/elementos/article/viewFile/837/647>.
- Herrera Murillo, F. (2018). Resistencia del invasor (*Rottboellia cochinchinensis*) Clayton a herbicidas gramínicas inhibidores de la acetil coenzima-Acarboxilasa (ACCasa) en Costa Rica (No. AV/1923). Universidad de Costa Rica, Alajuela (Costa Rica).

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

- Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. (2025).
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0655.pdf>
- Monquero, P. A., Christoffoleti, P. J., Osuna, M. D. & De Prado, R. A. (2004). Absorção,
translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este
herbicida. *Planta Daninha*, 22, 445–451.
<https://www.scielo.br/j/pd/a/d6T7Hhwc7MvNcDV3GfdQnFn/>
- Nina, R. R. (2020). Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al
glifosato en Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/220e22e0-f067-4a6c-8943-f13f069eb7c7/content>
- Powles, S. B. & Yu, Q. (2010). Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annu.
Rev. Plant Biol.*, 61, 317-347.
<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
- Purrington, C. B. (2000). Costs of resistance. *Current opinion in plant biology*, 3(4), 305-
308. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369526600000856>
- Quesada Cabezas, O. (2024). Respuesta de biotipos de *Panicum máximum* Jacq. cv.
Mombaza a los herbicidas ametrina, diuron, cletodim y hexazinona (solos y en
mezclas), usados en plantaciones de piña de la región Huetar Norte de Costa Rica.
<https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/d56d36a2-1682-4af8-87c6-f70246785139/content>
- Ramírez-Muñoz, F. (2016). Resistencia al glifosato en biotipos de zacate cabezón (*Paspalum
paniculatum* L.) de la Región del Caribe de Costa Rica. *Uniciencia*, 30(2), 75-85.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5613740>
- Rodríguez-Ruiz, A. M., Chaves-Barrantes, N., Hernández-Díaz, A., y Herrera-Murillo, F.
(2015). Determinación de la resistencia al cletodim en *Poa annua* en Costa Rica.
Agronomía Mesoamericana, 26(2), 257-266.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212015000200257

Castillo-Segura, Mainor. 2025. Respuesta de ecotipos de *Delilia biflora* (L.) Kuntze al
herbicida glifosato

- Shaner, D. L. (2009). Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. *Weed Sci.*, 57(1), 118-123. <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/abs/role-of-translocation-as-a-mechanism-of-resistance-to-glyphosate/25577FA4B005324778C064ABA9FE34B9>
- Sharma, S. D. & Singh, M. (2001). Environmental factors affecting absorption and bioefficacy of glyphosate in Florida beggarweed (*Desmodium tortuosum*). *Crop Protection*, 20, 511-516. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219401000655>
- Strauss, S. Y., Rudgers, J. A., Lau, J. A. & Irwin, R. E. (2002). Direct and ecological costs of resistance to herbivory. *Trends in Ecology and Evolution*, 17, 278-285. [https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347\(02\)02483-7](https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(02)02483-7)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2021). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 6. Artmed Editora. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yOUbEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=fisiologia+vegetal+taiz&ots=5f5Vtwik8M&sig=3xTmy3Nwu0sOHHV8C44o4epHbFE#v=onepage&q=fisiologia%20vegetal%20taiz&f=false>
- Vázquez-García, J. G. (2021). Mecanismos de resistencia en el sitio de acción y fuera del sitio de acción (TSR y NTSR) en gramíneas resistentes a glifosato. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/22232/2021000002373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>