



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

ESTUDIO DE DOSIS RESPUESTA DE *Phalaris minor* A
HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETIL
COENZIMA-A CARBOXILASA (ACCasa)

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

ANDREA JUAN ROSALES



APROBADA

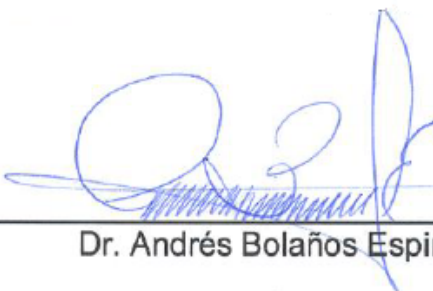


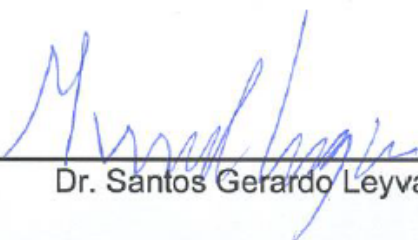
Chapingo, Estado de México, Junio de 2020.

**ESTUDIO DE DOSIS RESPUESTA DE *Phalaris minor* A HERBICIDAS
INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETIL COENZIMA-A CARBOXILASA
(ACCasa)**

Tesis realizada por **ANDREA JUAN ROSALES** bajo la supervisión, del Comité Asesor Indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR: 
Dr. Andrés Bolaños Espinoza

ASESOR: 
Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

ASESOR: 
Dr. Mateo Vargas Hernández

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL	iii
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	13
ESTUDIO DE DOSIS RESPUESTA DE <i>Phalaris minor</i> A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETIL COENZIMA-A CARBOXILASA (ACCasa)	13
ABSTRACT.....	14
DOSE RESPONSE STUDY OF <i>Phalaris minor</i> TO INHIBITING HERBICIDES OF THE ENZIME ACETIL COENZIME-A CARBOXILASE (ACCasa)	14
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	15
1.1 Objetivo general	16
1.2 Objetivos particulares.....	16
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1 Importancia del cultivo de trigo.....	17
2.1.1 Mercado internacional	17
2.1.2 Mercado nacional	17
2.1.3 Problemática en la producción del cultivo en México	17
2.2 Las malezas en la agricultura.....	18
2.2.1 Control químico de malezas	19

2.2.2 Resistencia a herbicidas.....	19
2.3 <i>Phalaris minor</i>	20
2.3.1 Identificación y descripción.....	21
2.3.2 Biología de la maleza	21
2.3.3 Reportes de resistencia a herbicidas en alpistillo	22
2.4 LITERATURA CITADA	23
3. ARTÍCULO CIENTÍFICO	25
BIOENSAYO PRELIMINAR PARA LA DETECCIÓN DE TOLERANCIA EN BIOTIPOS DE <i>Phalaris minor</i> A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa	25
RESUMEN	25
ABSTRAC	26
3.1 INTRODUCCIÓN	27
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.2.1 Colecta de material biológico	28
3.2.2 Conducción del trabajo de investigación	29
3.2.3 Tratamientos y diseño experimental.....	29
3.2.4 Aplicación de tratamientos	30
3.2.5 Variables respuesta.....	30
3.2.6 Análisis estadístico	30
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.3.1 Aplicaciones de Pinoxaden sobre biotipos de <i>Phalaris minor</i>	31
3.3.1.1 Producción de biomasa seca	31
3.3.2 Aplicaciones de Clodinafop propargil sobre biotipos de <i>Phalaris minor</i>	35
3.3.2.1 Producción de biomasa seca	35
3.4 CONCLUSIONES	39

3.5 LITERATURA CITADA	39
4. ARTICULO CIENTÍFICO	41
ENSAYO DE DOSIS RESPUESTA DE BIOTIPOS DE <i>Phalaris minor</i> A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa	41
RESUMEN.....	41
ABSTRACT.....	42
4.1 INTRODUCCIÓN	43
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
4.2.1 Bioensayo de dosis respuesta.....	44
4.2.2 Análisis estadístico	46
4.3 RESULTADOS.....	46
4.3.1 Aplicaciones de Pinoxaden y Clodinafop sobre biotipos de <i>Phalaris minor</i>	46
4.3.1.1 Peso fresco	46
4.3.1.2. Biomasa seca.....	49
4.3.2 Determinación de la RC ₅₀ y el Índice de Resistencia	52
4.4 CONCLUSIONES	55
4.5 LITERATURA CITADA	55

DEDICATORIA

A mis padres:

José Luis Juan Martínez y Josefina Rosales Mendoza, porque me motivan a desarrollarme constantemente, tanto de forma personal como profesional, y no han permitido que me deje derrotar ante las dificultades, aquí la muestra de ello.

A mis hermanas:

Abigail y Astrid, compañeras de vida y de aventuras, cuando estoy con ustedes los problemas no existen.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por otorgarme una beca para la realización de los estudios de Maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, al **Departamento de Parasitología Agrícola** y al programa de posgrado de la **Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**, por matricularme para cursar los estudios de posgrado.

Al **M.C. Antonio Segura Miranda**, Coordinador del Posgrado en Protección Vegetal y a **Maribel Espejel Cervantes** secretaria del mismo, por supervisar y dar seguimiento al trabajo de investigación, y por las atenciones recibidas durante mi estancia en el posgrado.

Al **Dr. Andrés Bolaños Espinoza**, por su apoyo incondicional para el desarrollo del trabajo de Tesis.

Al **Dr. Mateo Vargas Hernández**, por su disposición y entusiasmo en colaborar con el desarrollo del trabajo de investigación.

Al **Dr. Santos Gerardo Leyva Mir**, por su participación y colaboración en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Al **Dr. Lauro Soto Rojas**, por su interés y colaboración para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Andrea Juan Rosales
Fecha de nacimiento: 04 de julio de 1989
Lugar de nacimiento: Distrito Federal, México.
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia



Nació en el Distrito Federal, hoy conocido como Ciudad de México, no obstante desde el momento en que nació hasta cumplir los 18 años vivió en la ciudad de Dolores Hidalgo, Guanajuato, donde realizó sus estudios de preparatoria en el área Químico-Biológica, además de graduarse como Técnico en Administración. Proviene de una familia que se ha dedicado al comercio, sin embargo en vista de las condiciones por las que atravesaba el campo agrícola en Guanajuato, decidió cursar la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, ingresando a la Universidad Autónoma Chapingo en el 2007 en Bermejillo, Durango y culminando sus estudios en el 2012. Comenzó su carrera laboral como supervisor de invernadero en el estado de Guanajuato. Más tarde se desempeñó como Asesor de proyectos de inversión Agrícola, donde se dedicó a elaborar análisis financieros para la instalación de unidades de producción agropecuaria en los estados de Morelos y Veracruz. Después ingresa como encargada del comercio, producción y beneficio de semilla en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Durante el 2017 al 2018 participó como Asesor técnico agrícola en el estado de Hidalgo en la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). En el 2018 fue aceptada para ingresar al Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal perteneciente a la UACH. En marzo del 2020, se integró al SENASICA con el cargo de sub jefe de departamento, donde se encarga de proteger los recursos agrícolas, acuícolas y pecuarios de plagas que no existen en México, así como evitar la diseminación de problemas sanitarios en las diferentes regiones del país. En junio del 2020 se titula con el grado de Maestra en Ciencias

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Coordenadas geográficas de biotipos de <i>Phalaris minor</i> colectados en el Bajío guanajuatense.....	28
Cuadro 2.	Tratamientos evaluados y dosis aplicadas a biotipos de <i>Phalaris minor</i>	30
Cuadro 3.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de pinoxaden (60 g i.a. ha ⁻¹).....	31
Cuadro 4.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de pinoxaden (90 g i.a. ha ⁻¹).....	32
Cuadro 5.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de pinoxaden (120 g i.a. ha ⁻¹).....	33
Cuadro 6.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de la biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> . a 21 días de la aplicación de pinoxaden y su interacción con las dosis aplicadas.....	34
Cuadro 7.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (60 g i.a. ha ⁻¹).....	35
Cuadro 8.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (90 g i.a. ha ⁻¹).....	36
Cuadro 9.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de <i>Phalaris minor</i> a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (120 g i.a. ha ⁻¹).....	37
Cuadro 10.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de la biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> . a 21 días de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las dosis aplicadas.....	38

Cuadro 11.	Tratamiento, dosis y herbicidas evaluados sobre biotipos de <i>Phalaris minor</i> en el bioensayo de dosis-respuesta.....	45
Cuadro 12.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollado 21 días después de la aplicación de Pinoxaden y su interacción con las ocho dosis evaluadas.....	47
Cuadro 13.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollado 21 días después de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las ocho dosis evaluadas.....	48
Cuadro 14.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollada 21 días después de la aplicación herbicida y su interacción con ambos herbicidas más su interacción con las ocho dosis evaluadas....	48
Cuadro 15.	Comparación de medias ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de <i>Phalaris minor</i> considerando la interacción entre los 10 biotipos evaluados y las ocho dosis aplicadas con respecto al herbicida evaluado.....	49
Cuadro 16.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollada 21 días después de la aplicación de Pinoxaden y su interacción con las ocho dosis evaluadas.....	50
Cuadro 17.	Comparación de medias por el método Tukey de biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollada 21 días después de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las ocho dosis evaluadas.....	50
Cuadro 18.	Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> desarrollada 21 días después de la aplicación herbicida y su interacción con ambos herbicidas más su interacción con las ocho dosis evaluadas....	51
Cuadro 19.	Comparación de medias ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos	

	de <i>Phalaris minor</i> considerando la interacción entre los 10 biotipos evaluados, más las ocho dosis aplicadas con respecto al herbicida evaluado.....	52
Cuadro 20.	Dosis de Pinoxaden (g de i. a. ha ⁻¹) requeridas para reducir 50 % la biomasa de los biotipos analizados (RC ₅₀) de <i>Phalaris</i> <i>minor</i>	51
Cuadro 21.	Dosis de Clodinafop propargil (g de i. a. ha ⁻¹) requeridas para reducir 50 % la biomasa de los biotipos analizados (RC ₅₀) de <i>Phalaris minor</i>	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> con aplicaciones de Pinoxaden a dosis de 60, 90 y 120 g de i.a. ha ⁻¹	34
Figura 2.	Biomasa seca de biotipos de <i>Phalaris minor</i> con aplicaciones de Clodinafop propargil a dosis de 60, 90 y 120 g de i.a. ha ⁻¹	38
Figura 3.	Curva de dosis-respuesta de biotipos de <i>Phalaris minor</i> colectados en el Bajío guanajuatense.....	53
Figura 4.	Curva de dosis-respuesta de biotipos de <i>Phalaris minor</i> colectados en el Bajío guanajuatense.....	54

RESUMEN

¹ESTUDIO DE DOSIS RESPUESTA DE *Phalaris minor* A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETIL COENZIMA- A CARBOXILASA (ACCasa)

La producción agrícola se ve afectada por la presencia de malezas. A nivel mundial, actualmente existen 512 casos de malezas resistentes a herbicidas con 262 especies. Los herbicidas inhibidores de la Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCasa) ocupan el tercer lugar con casos de resistencia reportados. En México *Phalaris minor* es considerada como una maleza agresiva en los campos de trigo. En el Bajío guanajuatense el rendimiento de este cultivo se ve disminuido por la presencia de esta maleza pudiendo ser reducido hasta en un 90%. Por lo anterior, se han colectado biotipos de alpiñillo, en campos de trigo donde su control ha sido deficiente con el objetivo de determinar si los biotipos colectados presentan resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa y de ser así calcular su RC_{50} y su Índice de Resistencia (IR). Fueron colectados 10 biotipos en el Bajío guanajuatense para su estudio. En la Universidad Autónoma Chapingo. Se instaló un bioensayo preliminar donde se evaluaron 3 dosis para evaluar la respuesta a la aplicación de Pinoxaden y Clodinafop (60, 90 y 120 g i. a. ha^{-1}), en donde se determinó que existen biotipos con tolerancia a ambos herbicidas. Con base en lo anterior, se instaló un bioensayo de dosis respuesta con los 10 biotipos colectados, en un diseño experimental en parcelas divididas con 3 repeticiones. Las dosis evaluadas para ambos herbicidas fueron de 0, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240 y 480 g i.a. ha^{-1} ; los cuales se asperjaron de forma independiente a los 10 biotipos cuando las plantas exhibieron 3 hojas desarrolladas. La aplicación se realizó con una mochila de aspersión manual con punta de doble abanico TJ-60 8003. 21 días después de la aplicación herbicida se determinó el peso fresco y biomasa seca de cada tratamiento. Se realizó el ANAVA y prueba de comparación de medias, usando el programa estadístico SAS (Statycal Analysis Sistem). Se determinó el valor de RC_{50} a cada uno de los biotipos, y se les calculó el Índice de Resistencia. Como resultados se determinó que existen dos biotipos con resistencia cruzada a los herbicidas pinoxaden y clodinafop propargil y un biotipo con resistencia a pinoxaden.

Key words: *Phalaris minor*, ACCasa, Resistencia, RC_{50} , IR

¹Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Andrea Juan Rosales

Director de tesis: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

ABSTRACT

²DOSE RESPONSE STUDY OF *Phalaris minor* TO INHIBITING HERBICIDES OF THE ENZYME ACETYL COENZIME-A CARBOXILASE (ACCase)

Agricultural production is affected by the presence of weeds. Worldwide, there are currently 512 cases of herbicide resistant weeds with 262 species. Herbicides that inhibit Acetyl Coenzyme A carboxylase (ACCase) rank third with reported cases of resistance. In Mexico *Phalaris minor* is considered an aggressive weed in wheat fields. In the Bajío guanajuatense the yield of this crop is diminished by the presence of this weed and can be reduced by up to 90%. Therefore, al pistillo biotypes have been collected in wheat fields where their control has been poor in order to determine if the collected biotypes present resistance to herbicide inhibitors of ACCase, if so, calculate their RC_{50} and its Resistance Index (IR). 10 biotypes were collected in the Bajío guanajuatense for study. At the Chapingo Autonomous University, a preliminary bioassay was installed where 3 doses were evaluated to evaluate the response to the application of Pinoxaden and Clodinafop (60, 90 and 120 g i. a. ha^{-1}), where it was determined that there are biotypes with tolerance to both herbicides. Based on the above, a dose response bioassay was installed with the 10 biotypes collected, in an experimental design in divided plots with 3 replications. The evaluated doses for both herbicides were 0, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240 and 480 g i.a. ha^{-1} ; which were sprayed independently to the 10 biotypes when the plants exhibited 3 developed leaves. The application was carried out with a manual spray backpack with a double fan tip TJ-60 8003. 21 days after the herbicide application, the fresh weight and dry biomass of each treatment were determined. ANAVA and means comparison test were performed using the statistical software SAS (Statycal Analysis Sistem). The value of RC_{50} was determined for each of the biotypes, and the Resistance Index was calculated. As results, it was determined that there are two biotypes with cross resistance to the herbicides pinoxaden and clodinafop propargil and one biotype with resistance to pinoxaden.

Key words: *Phalaris minor*, ACCase, Resistance, RC_{50} , IR

² Master of Science Thesis, Postgraduate in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Ing. Andrea Juan Rosales

Thesis Director: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para el hombre debido a su aporte energético y de nutrientes. Entre los cereales de mayor producción mundial se encuentran el maíz, el arroz y el trigo, que abastecen el 80% de la producción total de alimentos. El trigo es el cereal más adquirido a nivel mundial considerándose un consumo de 67 kilogramos per cápita habiendo mantenido una producción constante a través de los años, este es el cereal más consumido por el hombre occidental y es cultivado en 115 países siendo los principales productores China, Estados Unidos e India; una gran extensión de cultivo se encuentra en Rusia, Europa, Canadá, Australia y Argentina (Serna-Saldívar, 2009). En México, los estados productores de trigo con mayor rendimiento de cultivo por unidad de superficie son: Sonora (6.49 t), Baja California Sur (6.30 t), Baja California (5.94 t), Guanajuato (5.71 t) y Michoacán (5.66 t) (SIAP, 2020). *Phalaris minor* es considerada como una maleza muy agresiva en los campos de trigo del norte del país y en la región del Bajío, ya que interfiere con el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ghersa y Martínez-Ghersa., 2000), lo que justifica el uso de herbicidas para su control (Holst et al., 2007). El uso de herbicidas reduce o elimina los requisitos de mano de obra y maquinaria y modifican las técnicas de producción de los cultivos; cuando se usan apropiadamente, son herramientas de producción que aumentan la eficiencia de la parcela y reducen los requerimientos de energía. La Acetil-Coenzima A Carboxilasa (ACCase), es una enzima clave en la biosíntesis de los ácidos grasos en eucariontes y procariontes (Harwood, 1988); debido a ello *Phalaris minor* comúnmente es controlada con herbicidas que inhiben la acción de la enzima ACCase, sin embargo el uso continuo de ellos ha ocasionado resistencia, factor que disminuye considerablemente la eficiencia del tratamiento con herbicidas (Heap, 2004), dando origen a biotipos resistentes a los herbicidas usados comúnmente.

Por lo anterior se ha desarrollado la presente cuyos objetivos son los siguientes:

1.1 Objetivo general

Confirmar que los biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense, presentan resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCase).

1.2 Objetivos particulares

- Determinar la RC_{50} de los biotipos colectados en el Bajío guanajuatense con sospecha de resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCase)
- Calcular el Índice de Resistencia de los biotipos colectados en el Bajío guanajuatense con sospecha de resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCase)

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del cultivo de trigo

2.1.1 Mercado internacional

Los cereales constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para el hombre debido a su aporte energético y de nutrientes. Entre los cereales de mayor producción mundial se encuentran el maíz, el arroz y el trigo, que abastecen el 80% de la producción total de alimentos. El trigo es el cereal más adquirido a nivel mundial considerándose un consumo de 67 kilogramos per cápita habiendo mantenido una producción constante a través de los años, este es el cereal más consumido por el hombre occidental y es cultivado en 115 países siendo los principales productores China, Estados Unidos e India; una gran extensión de cultivo se encuentra en Rusia, Europa, Canadá, Australia y Argentina (Serna-Saldívar, 2009).

2.1.2 Mercado nacional

Durante el 2018, a nivel nacional se cultivaron 541,344 ha de trigo bajo riego y 89,536 ha de temporal, con un rendimiento anual de 5.4 t⁻¹ ha y 1.79 t⁻¹ ha, respectivamente. Los estados más representativos por su área de producción fueron Sonora (223,437 ha), Guanajuato (64,865 ha), Baja California (48,369 ha), Sinaloa (41,676 ha) y Michoacan (40,442 ha). Los principales estados productores con mayor rendimiento de cultivo por unidad de superficie en el país fueron: Sonora (6.49 t), Baja California Sur (6.30 t), Baja California (5.94 t), Guanajuato (5.71 t) y Michoacan (5.66 t) (SIAP, 2020).

2.1.3 Problemática en la producción del cultivo en México

En México, *Phalaris minor* también es conocido por su nombre común como alpeste silvestre, pasto romano, alfarín o alpestillo. Esta especie es considerada como una maleza muy agresiva en los campos de trigo del norte del país y en la región del Bajío. La región del Bajío es una zona productora de trigo que ha sido afectada desde hace 15 años por la presencia de biotipos de *Phalaris*

menor resistentes a inhibidores de la ACCasa. Por otro lado, alrededor de 500 agricultores han reportado la presencia de resistencia dentro de sus parcelas (Tafoya y Morgado, 2000).

2.2 Las malezas en la agricultura

La incidencia de plantas no deseadas, también conocidas como malezas, es una de las principales limitaciones en la producción agrícola mundial (FAO, 2010). Las malezas son tan antiguas como la agricultura, y desde el inicio, los agricultores reconocieron que la presencia de éstas especies interfería con el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ghersa y Martínez-Ghersa., 2000). En el contexto de la agricultura, una maleza es aquella especie vegetal que interfiere con los intereses del hombre, ya que disminuye el rendimiento y calidad de los cultivos a causa de su capacidad competitiva (FAO, 2010). No todas las malezas poseen el mismo comportamiento para considerarse como plantas indeseables, sin embargo tienen al menos alguna de las siguientes características: (Zimdahl, 2007) son altamente competitivas y se pueden adaptar en condiciones adversas, son muy superiores a las plantas de cultivo, particularmente en condiciones desfavorables; por lo tanto, las malas hierbas invaden constantemente los campos y tratan de superar a los cultivos. Además, las malezas producen una mayor cantidad de semillas pequeñas en comparación con los cultivos que contribuyen enormemente a las reservas de semillas (banco de semillas). Las semillas de malezas germinan antes, crecen y florecen más rápido, y maduran antes del cultivo que infestan. Además, las semillas poseen la característica de latencia, que es una propiedad fisiológica intrínseca de la semilla para resistir la germinación incluso en condiciones favorables. Dependiendo de la etapa fisiológica, las malezas compiten con los cultivos en cada período de crecimiento por nutrientes, humedad, luz y espacio, reduciendo así la calidad y cantidad del producto final (Moolani y Sachan, 1966).

2.2.1 Control químico de malezas

Las malezas restringen la productividad de los cultivos en la agricultura, esto justifica el uso de tácticas de control destinadas a mantenerlas en un nivel de población que permita reducir el impacto de ellas sobre el cultivo (Holst et al., 2007), una de ellas es el uso de herbicidas. Después de la comercialización del primer herbicida en 1940, el control de malezas se ha vuelto más efectivo (Oerke, 2006). La definición aceptada por la Weed Science Society of America es que un herbicida es una sustancia química u organismo cultivado, utilizado para matar o reducir el crecimiento de las plantas (ZIMDAHL, 2007). Los herbicidas pueden controlar en promedio el 90 % de las malezas, por lo que éste método de control es más eficiente que todas las otras herramientas desarrolladas para este fin (Delye, 2013). El uso de herbicidas reduce o elimina los requisitos de mano de obra y maquinaria y modifican las técnicas de producción de los cultivos. Cuando se usan apropiadamente, son herramientas de producción que aumentan la eficiencia de la parcela y reducen los requerimientos de energía. Los herbicidas disminuyen la necesidad del uso de labranza favoreciendo el control en hileras, donde esta es poco efectiva. Además, minimizan la destrucción de la estructura del suelo al reducir el uso de la labranza. Estos plaguicidas también permiten aminorar los requisitos de fertilizantes y riego, así como disminuir los costos de producción y cosecha de cultivos y el beneficio de granos.

Sin embargo, el uso actual de herbicidas ha causado cambios importantes en la flora de malezas en las áreas de cultivo, incluidos los de las especies predominantes, así como los biotipos de otras especies volviéndolos resistentes a los herbicidas usados comúnmente.

2.2.2 Resistencia a herbicidas

La resistencia de las malezas a los herbicidas se define como la capacidad que han desarrollado las poblaciones de malezas previamente susceptibles a un determinado herbicida para sobrevivir al mismo y completar su ciclo biológico

cuando el herbicida es aplicado en sus dosis normales (Zimdahl, 2007). La resistencia difiere de la tolerancia o la variabilidad natural y normal de la respuesta a los herbicidas que existe dentro de una especie, además de que puede evolucionar fácil y rápidamente. La tolerancia es la capacidad de continuar con el crecimiento normal o la función cuando se expone a un agente potencialmente dañino (Vencill, 2002).

Es en 1957 cuando se identifica el primer caso de resistencia a los herbicidas en Hawai y Ontario, Canadá (Zimdahl, 2007). Sin embargo, el primer caso de malezas con resistencia a herbicidas que comenzó a ser reconocido fue el de la especie *Senecio vulgaris* que demostró ser resistente a la atrazina y la simazina después de que los herbicidas se aplicaron una o dos veces al año durante 10 años en el estado de Washington (Zimdahl, 2007). Para 1986, más de 50 malezas mostraban resistencia a las triazinas, y más de 107 biotipos resistentes habían evolucionado en todo el mundo. En 1990, 55 malezas se reportaban como resistentes a las triazinas en 31 estados de EE. UU., 4 provincias canadienses y otros 18 países (LeBaron y McFarland, 1990). A comienzos de la década de 1990, se habían identificado más de 100 casos de resistencia a los herbicidas en una o más de las 15 familias químicas de herbicidas (Holt y LeBaron, 1990; LeBaron y McFarland, 1990). En el 2020, existen 512 casos (especie por sitio de acción) de malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial, con 262 especies reportadas (152 dicotiledóneas y 110 monocotiledóneas), las cuales han desarrollado resistencia a 23 de los 26 sitios de acción de herbicidas conocidos y a 167 herbicidas diferentes, mismos que fueron reportados en 92 cultivos en 70 países (Heap, 2020).

2.3 *Phalaris minor*

Es una maleza anual, de hoja angosta, perteneciente a la familia Poaceae, originaria del Mediterráneo y Asia occidental. Su presencia a nivel mundial ha sido reportada en más de 60 países en el mundo, cubriendo ampliamente todos los continentes excepto las regiones polares (Anderson, 1961; Baldini, 1995).

2.3.1 Identificación y descripción

Es una planta anual, glabra (sin ornamentación) que mide hasta 1 m de alto. Su tallo es erguido, con nudos estrechos y oscuros; Posee lígulas membranáceas, hasta de 6 mm de largo, con láminas foliares hasta de 25 cm de largo y 12 mm de ancho. Su inflorescencia es una panícula ovalado-cilíndrica, de 10 a 12 cm de largo, de 1.2 a 2 cm de ancho. Sus espiguillas son de 4 a 6 mm de largo; con glumas iguales, oblongas, de 4-6 mm de largo, estrechamente aladas, con dientes; la lema estéril en forma de escama, de ± 1.5 mm de largo; la lema fértil de ± 3 mm de largo, con pelos, aguda en el ápice. Tiene una cariopsis dispersada dentro del flósculo endurecido e indehiscente, contorno oblongo lanceolado de 2.7 a 3.3 mm de largo y 1.2 a 1.5 mm de ancho, de superficie lustrosa y lisa de color café o café oscuro (Espinosa y Sarukhán, 1997).

Las plántulas tienen un coleóptilo lanceolado de 5 a 8 mm de largo, la primera hoja con vaina de 6 a 12 mm de largo, lígula de 1 mm de alto, la lámina linear lanceolada de 40 a 58 mm de largo y 1 a 1.5 mm de ancho, ápice agudo acuminado, la segunda hoja similar a la primera, pero de 35 a 65 mm de largo y 1.5 a 2 mm de ancho (Espinosa y Sarukhán, 1997).

2.3.2 Biología de la maleza

La temperatura óptima para la germinación de la maleza es de 10 a 15 °C, en siembras posteriores a diciembre, produce mayor cantidad de tallos por metro lineal que cuando el trigo es sembrado en noviembre (McMahon et al, 1989). El porcentaje de germinación disminuye cuando las temperaturas son mayores a los 30 °C, así como también a temperaturas menores a 5 °C (Tafoya, 1997). La semilla germina a las nueve semanas cuando dispone de humedad en el suelo. Una germinación temprana de semillas ocurre entre los 3-4 cm de profundidad en el suelo, el 60 % de semillas germina en los 2 cm superiores. El amacollamiento ocurre a los 42 días, el encañe a los 49 días, el embuche a los 70 días, la floración inicia a los 84 días y alcanza la madurez a los 105 días. En

el cultivo, el alpastillo exhibe su mayor población a los 21 días de que ha emergido el trigo, alcanzando la infestación total a los 42 días (Salinas, 1981).

La relación raíz-parte aérea del alpastillo es de 1:9, en comparación con el trigo que es de 1:11. Las malezas con mayor relación de raíz-parte aérea tienen mayor capacidad para aprovechar los recursos del suelo que las plantas cultivadas, proporcionándole habilidad de competencia a las malezas. *P. minor* posee 105 estomas mm^{-2} , en cambio el trigo cuenta con 65 estomas mm^{-2} , logrando que la maleza absorba grandes cantidades de agua del suelo. Una planta de *P. minor*, produce de 300 a 450 semillas, dependiendo de las condiciones agroclimáticas, sin embargo puede llegar a producir más de 3,000 semillas (McMahon, 1989).

2.3.3 Reportes de resistencia a herbicidas en alpastillo

En México, *Phalaris minor* es considerada la maleza con mayor importancia en la producción del cultivo de trigo en la región del Bajío guanajuatense, debido a que reduce significativamente el rendimiento (García-Franco et al., 2014). El control deficiente de esta maleza ha ido en aumento debido al uso constante de herbicidas con el mismo modo de acción, causando la selección de biotipos resistentes. En el Bajío, se han identificado dos especies pertenecientes al género *Phalaris* (*Phalaris minor* y *P. paradoxa*), con biotipos resistentes a herbicidas inhibidores de la actividad de la enzima Acetil Coenzima A Carboxilasa (ACCase) (García-Vallejo, 2006;). Año con año, se han detectado biotipos de alpastillo con resistencia en sitios donde inicialmente no existían, aumentando los problemas en el proceso de producción, poniendo en riesgo al cultivo de trigo (García-Franco et al., 2014).

La Acetil-Coenzima A Carboxilasa (ACCase), es una enzima clave en la biosíntesis de los ácidos grasos en eucariontes y procariontes (Harwood, 1988). *Phalaris minor*, comúnmente es controlada con herbicidas que inhiben la acción de la enzima ACCase, por lo que el uso continuo de ellos ha ocasionado

resistencia, factor que disminuye considerablemente la eficiencia del tratamiento con herbicidas (Heap, 2004).

2.4 LITERATURA CITADA

- Anderson, D. H. (1961). Taxonomy and distribution of the genus *Phalaris*. Iowa State Journal of Science 36: 1-96.
- Baldini, R. M. (1995). Revision of the genus *Phalaris* L. (*Graminae*) Webbia 49: 265-329.
- Delye C. (2013). Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. Trends Genet. 29: 649-658.
- FAO. (2010). Food and Agriculture Organization. Recommendations for improved weed management. Production and Protection Division. 56 p.
- García-Franco, J. L.; Uscanga M., E.; Kohashi S., J.; García E., A.; Yáñez J., J. Y Ortega E., H. M. (2014). Caracterización morfológica de biotipos de *Phalaris minor* resistentes a y susceptibles a herbicidas inhibidores de la ACCasa.
- García-Vallejo, F. (2006). Resistencia de cuatro biotipos de *Phalaris minor* Retz. Alos herbicidas clodinafop propargyl y tralkoxidim. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. 74 p.
- Ghersa C., M. Y Martínez-Ghersa M. A. (2000). Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: implications for weed management. Field Crops Research 67:141-148.
- Harwood, J. L. (1988). Fatty acid metabolism. Annual Rev. Plant Physiol. 39:101-138.
- Heap, I.M. (2004). International survey of herbicide resistance weeds. Online internet. Home. Pag. <http://www.Weedscience.com> (Consultada el 7 de enero 2018).
- Heap, I.M. (2020). International survey of herbicide resistance weeds. Online internet. Home. Pag. <http://www.Weedscience.com> (Consultada el 7 de abril 2018).

- Holst, N.; Rasmussen, I. A.; Bastiaans, L. (2007). Field weed population dynamics: a review of model approaches and populations. *Weed Research*. 47, 1-14.
- Holt, J. S. Y Lebaron, H. M. (1990). Significance and distribution of herbicide resistance. *Weed Technol*. 4: 141-149.
- Lenaron, H. M. y Mcdarland.(1990). Herbicide resistance in weeds and crops: An overview and prognosis. pp. 336-352.
- Mcmahon, M. A.; Wall P. C.; Westerman, R. L.; Raun R. L. Y Hobs, P. (1989). Integrated cultural and chemical control of *Avena fatua* (L) and *Phalaris minor* (L.) Retz. In spring wheat. *CIMMYT*. 23 p.
- Moolani, M. K. Y Sachan, P. L. (1966). Studies on crop weed competition- A Review. *Journal of Agronomy*. 11:372-377.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The journal of Agriculture Science* 44: 31-43.
- Salinas, G. F. (1981). Estudio biológico del alpiñillo (*Phalaris minor* Retz) En Primer Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. SOMECIMA. Torreón Coahuila, México.
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivo. Consultado el 12 de marzo de 2020.
http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do
- Tafoya, G. C. (1997). Estudio de la habilidad competitiva de trigo (*Triticum aestivum* L). contra avena loca (*Avena fatua* L.) y alpiñillo (*Phalaris minor* Retz) en Pénjamo Guanajuato. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 76 p.
- Tafoya J. A. And Morgado, J. (2000). Resistencia de la maleza a la aplicación de herbicidas. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza*. Número especial. Universidad Autónoma Chapingo. 46 p.
- Vencil, W. K. 2002. *Herbicide handbook*, 8th ed. Weed Sci. Soc. Am. 493 p.
- Zimdahl, R. L. 2007. *Fundamentals of Weed Science*. Ed. Elsevier. 689 p.

3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

³BIOENSAYO PRELIMINAR PARA LA DETECCIÓN DE TOLERANCIA EN BIOTIPOS DE *Phalaris minor* A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa

ARTÍCULO PRESENTADO EN XV CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DE LA
MALEZA EN MÉXICO.

RESUMEN

En el Bajío guanajuatense, el cultivo de trigo es afectado por la presencia de *Phalaris minor*, una de las principales malezas que disminuye el rendimiento de grano por unidad de superficie. Esta maleza es controlada con herbicidas inhibidores de la acetil coenzima A carboxilasa (ACCasa), sin embargo se ha observado un control deficiente en los últimos años. El objetivo de la presente investigación fue determinar mediante un bioensayo preliminar el efecto de los herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa (Clodinafop propargil y pinoxaden), sobre biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense, para determinar las poblaciones a evaluar en períodos posteriores en un estudio de dosis respuesta. En los municipios de Abasolo, Irapuato, Pénjamo y Salamanca del estado de Guanajuato, fueron recolectados 8 biotipos de *Phalaris minor* en zonas de producción de trigo con sospecha de resistencia y 2 biotipos que se encontraban a orillas de caminos sin antecedente de aplicaciones herbicidas. El experimento se realizó en parcelas divididas, los tratamientos herbicidas usados fueron Clodinafop propargil en dosis de 60, 90 y 120 g i.a. ha⁻¹; así como pinoxaden a dosis de 60, 90 y 120 g i.a. ha⁻¹, aplicados sobre los 10 biotipos con 3 repeticiones cada una. La aplicación fue con una mochila de aspersión manual con punta de abanico plano de la serie TJ11003. A los 21 días de la aplicación herbicida se determinó la producción de biomasa seca de cada tratamiento. A dosis comercial (60 g i.a. ha⁻¹ de clodinafop propargil y 60 g i.a. ha⁻¹ de pinoxaden) no hubo control de *Phalaris minor*. Se determinó que 5 de 10 biotipos recolectados presentan un nivel de tolerancia al clodinafop propargil, los cuales son procedentes de los municipios de Abasolo, Irapuato y Salamanca. Otro biotipo recolectado en Abasolo mostró tolerancia a pinoxaden.

Palabras clave: Maleza, Herbicida, Acetil–Coenzima A Carboxilasa, Bioensayo

³ Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Andrea Juan Rosales

Director de tesis: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

⁴PRELIMINARY BIOASSAY FOR THE DETECTION OF TOLERANCE IN BIOTIPES OF *Phalaris minor* TO ACCASE INHIBITING HERBICIDES

ABSTRAC

In the Guanajuato Bajío, wheat cultivation is affected by the presence of *Phalaris minor*, one of the main weeds that affects grain yield per unit area. This weed is controlled with herbicide inhibitors of Acetyl Coenzyme A carboxylase (ACCase), however poor control has been observed in recent years. The objective of the present investigation was to determine by means of a preliminary bioassay the effect of the herbicides inhibitors of the enzyme ACCase (Clodinafop propargil and pinoxaden), on biotypes of *Phalaris minor* collected in the Guanajuato Bajío, to determine the populations to evaluate in a subsequent periods in a dose response study. In the municipalities of Abasolo, Irapuato, Pénjamo and Salamanca in the state of Guanajuato, 8 biotypes of *Phalaris minor* were collected in wheat production areas with suspected resistance and 2 biotypes found on roadsides with no history of herbicide applications. The experiment was carried out in divided plots, the herbicide treatments used were Clodinafop propargil in doses of 60, 90 and 120 g i.a. ha⁻¹; as well as pinoxaden at doses of 60, 90 and 120 g i.a. ha⁻¹, applied on the 10 biotypes with 3 repetitions each. The application was with the TJ11003 series flat fan tip manual spray backpack. 21 days after the herbicide application, the dry biomass production of each treatment was determined. A commercial dose (60 g a. i. ha⁻¹ of clodinafop propargil and 60 g a. i. ha⁻¹ of pinoxaden) there was no control of *Phalaris minor*. It was determined that 5 out of 10 collected biotypes show a tolerance level to clodinafop propargil, which are from the municipalities of Abasolo, Irapuato and Salamanca. Another biotype collected in Abasolo selected tolerance to pinoxaden.

Keywords: Weed, Herbicide, Acetyl-Coenzyme A Carboxylase, Bioassay

⁴ Master of Science Thesis, Postgraduate in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Ing. Andrea Juan Rosales
Thesis Director: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

3.1 INTRODUCCIÓN

En el Bajío guanajuatense, el cultivo de trigo es afectado por la presencia de *Phalaris minor*. Entre los desafíos de la sostenibilidad de la producción de trigo, el manejo de malezas es el más relevante (Abbast, 2016). Dependiendo del tiempo de emergencia, el período de competencia con el cultivo, las prácticas agronómicas y las condiciones climáticas, el rendimiento de trigo puede reducirse de un 25 a un 50 % (Chhokar, 2008), y puede resultar en una pérdida total de la cosecha a causa de una alta infestación. (2,000 a 3,000 plantas m⁻²) (Chhokar, 2006). *Phalaris minor* posee similitudes morfológicas con el cultivo de trigo, por ello el control de esta maleza depende completamente del uso de herbicidas (Chhokar et al., 2008), sin embargo, la resistencia de *P. minor* a los plaguicidas de uso común ha ido en incremento (Heap, 2015). En la región del Bajío de Guanajuato, los productores de trigo implementan el control de malezas mediante aplicaciones continuas de herbicidas que inhiben la actividad de la Acetil Coenzima A Carboxilasa (ACCase) (García-Vallejo, 2006), cuyo ingrediente activo es Clodinafop propargil o pinoxaden. Debido a esto, año con año se han identificado biotipos resistentes de alpijillo en sitios donde inicialmente no existían. Una de las técnicas mayormente usadas para evaluar la eficacia de un herbicida es la implementación del principio de bioensayos, el cual consiste en realizar un experimento para estimar la potencia del herbicida en especies vegetales (Streibig, 1988). Éste permite detectar la presencia y concentración de xenobióticos en el ambiente, así como evaluar la respuesta biológica y fisiológica de las plantas a los herbicidas, lo que permite adaptar métodos y técnicas, con base a los objetivos que se persigan (Valverde 2009). El objetivo de la presente investigación fue determinar mediante un bioensayo preliminar el efecto de herbicidas inhibidores de la enzima ACCase (Clodinafop propargil y pinoxaden), sobre biotipos de *Phalaris minor* Retz colectados en el Bajío guanajuatense, para determinar las poblaciones a evaluar en períodos posteriores en un estudio de dosis respuesta.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Colecta de material biológico

Previo a la cosecha de trigo y cebada, en los municipios de Abasolo, Irapuato, Pénjamo y Salamanca, pertenecientes al estado de Guanajuato se realizó la colecta de biotipos de *Phalaris minor* con sospecha de resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa. Se tomaron 8 biotipos de las zonas de producción de los cultivos mencionados (Cuadro 1), donde en los últimos años no se ha controlado de forma eficiente a la maleza. El historial de los últimos 5 años de las áreas de cultivo muestreadas indica que se han realizado aplicaciones continuas de Pinoxaden y Clodinafop propargil para el control de maleza de hoja angosta. Así también se colectaron 2 biotipos en donde no hay historial de aplicaciones de herbicidas.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas de biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense.

Biotipo	Latitud N	Longitud O	Localidad
1	20°36'24.4"	101°25'13.0"	La Soledad, Irapuato
2	20°36'25.4"	101°28'45.3"	Guadalupe de Rivera, Irapuato
3	20°30'26.5"	101°29'10.2"	La Paz, Abasolo
4	20°33'28.6"	101°35'54.4"	La Carroza, Abasolo
5	20°33'34.1"	101°36'08.2"	La Carroza, Abasolo
6	20°32'52.3"	101°36'05.0"	La Carroza, Abasolo
7	20°18'34.7"	101°48'58.8"	El Presidio de Morales, Pénjamo
8	20°32'36.2"	101°05'22.8"	Godoy, Salamanca
9	20°32'45.0"	101°05'23.5"	Godoy, Salamanca
10	20°33'57.2"	101°05'28.4"	Cerro, Gordo, Salamanca

3.2.2 Conducción del trabajo de investigación

Durante el mes de marzo del 2019 se realizó el experimento en las instalaciones del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en el estado de México, entre las coordenadas 19°29' Latitud Norte y 98°53' Longitud Oeste, a 2,250 m.s.n.m. (García, 1988).

Las semillas de *Phalaris minor* fueron escarificadas manualmente usando papel lija (Grit/360). La germinación de semillas se realizó en cajas Petri (60 x 15 mm) con papel filtro (Whatman Cat No. 1001 090) colocando 50 semillas de cada biotipo, las cuales previamente fueron sumergidas en una solución fungicida con Captan 50 WP (3 g L⁻¹). Los biotipos contenidos en las cajas Petri se mantuvieron en una cámara de germinación (ATP.line® KBWF E5.2, Binder, tuttlingen, Alemania) a una temperatura constante de 15 °C y 70 % de humedad relativa durante 5 días, a partir de ese período se realizó el transplante.

El transplante se realizó en macetas con capacidad de 0.5 L, las cuales contenían como sustrato una mezcla de Peat Moos (25 %) y suelo de campo (75 %). Se sembraron 3 plántulas en cada maceta con 3 repeticiones por cada biotipo. Durante la conducción del experimento el riego se realizó de tal forma que las macetas se mantuvieran a capacidad de campo.

3.2.3 Tratamientos y diseño experimental

El Cuadro 2 muestra los tratamientos aplicados a los 10 biotipos en evaluación. El diseño experimental fue en parcelas divididas usando dos herbicidas (Pinoxaden y clodinafop propargil) considerados como tratamientos en parcelas grandes y tres dosis (1X, 1 ½X, 2X, siendo X la dosis comercial recomendada) para cada herbicida, consideradas como tratamientos en parcela chica. La unidad experimental consistió en una maceta con 3 plantas de *Phalaris minor*.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados y dosis aplicadas a biotipos de *Phalaris minor*.

Tratamiento	Dosis	g (i.a. ha ⁻¹)
1 Pinoxaden	1X	60 g
2 Pinoxaden	1 ½X	90 g
3 Pinoxaden	2X	120 g
4 Clodinafop propargil	1X	60 g
5 Clodinafop propargil	1 ½X	90 g
6 Clodinafop propargil	2X	120 g

3.2.4 Aplicación de tratamientos

Una vez que las plantas de *Phalaris minor* exhibieron 3 a 4 hojas verdaderas (21 días después del transplante) se realizó la aplicación de los tratamientos. Para ello se utilizó una mochila de aspersión manual con punta de abanico plano de la serie TJ11003. La aspersión de los tratamientos herbicidas se realizó en dosis crecientes, procurando realizar el lavado del equipo de aspersión entre cada aplicación.

3.2.5 Variables respuesta

Se realizó el corte de las plantas por cada unidad experimental, realizándolo al ras del suelo. Las plantas de cada unidad experimental se colocaron en una bolsa de papel y se sometieron a la estufa de secado durante 48 horas a 70 °C y posterior a ello se determinó la biomasa seca mediante una balanza digital con capacidad de 0.1 a 100 g.

3.2.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) mediante un análisis de varianza y una comparación de medias, a través de la prueba de la diferencia significativa honesta Tukey (P=0.05).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Aplicaciones de Pinoxaden sobre biotipos de *Phalaris minor*

3.3.1.1 Producción de biomasa seca

En el Cuadro 3 se muestran los valores de biomasa seca de los biotipos de *Phalaris minor*, a 21 días de la aplicación herbicida con una dosis de 60 g i.a. ha⁻¹. Los resultados de la prueba de comparación de medias mostraron evidencia significativa de que el biotipo 6 desarrolló mayor cantidad de biomasa seca, con respecto al resto de biotipos evaluados.

Cuadro 3. Comparación de medias por el método Tukey (P=0.05) de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de pinoxaden (60 g i.a. ha⁻¹).

Biotipo	Biomasa seca (g)
6	0.35333 a
7	0.20333 ab
1	0.16000 ab
5	0.15667 ab
2	0.12667 ab
8	0.11333 ab
3	0.06667 b
4	0.06667 b
9	0.06333 b
10	0.02000 b

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; p<0.05).

Tras la aplicación de pinoxaden a una dosis de 90 g i.a. ha⁻¹, los pesos de biomasa seca de los biotipos colectados en el Bajío guanajuatense se presentan en el Cuadro 4. Los resultados de la prueba de comparación de medias mostraron evidencia significativa de que el biotipo 6 desarrolló mayor cantidad de biomasa seca, con respecto al resto de biotipos evaluados.

Cuadro 4. Comparación de medias por el método Tukey (P=0.05) de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de pinoxaden (90 g i.a. ha⁻¹).

Biotipo	Biomasa seca (g)
6	0.35667 a
2	0.20333 b
1	0.13333 bc
3	0.10000 bc
4	0.09333 bc
10	0.07667 c
9	0.04333 c
8	0.04333 c
7	0.03000 c
5	0.2338

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; p<0.05).

Los resultados para la variable biomasa seca después de una aplicación de pinoxaden (120 g i.a. ha⁻¹) sobre biotipos de *Phalaris minor* se presentan en el Cuadro 5, donde se observa que el biotipo 8 mostró evidencia significativa de haber desarrollado mayor biomasa seca con respecto al resto de los biotipos.

Cuadro 5. Comparación de medias por el método Tukey de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de pinoxaden (120 g i.a. ha-1).

Biotipo	Biomasa seca (g)
8	0.65333 a
2	0.34000 ab
3	0.26000 b
10	0.22333 b
6	0.21000 b
5	0.14333 b
1	0.13000 b
7	0.13000 b
4	0.12667 b
9	0.12000 b

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p < 0.05$).

Al analizar la interacción entre las tres dosis aplicadas sobre los biotipos evaluados con respecto a la biomasa seca producida por cada biotipo, se observa que el biotipo 6 desarrolló mayor cantidad de biomasa, lo que indica que ésta población muestra tolerancia a las aplicaciones de pinoxaden (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de la biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor*. a 21 días de la aplicación de pinoxaden y su interacción con las dosis aplicadas.

Biotipo	Biomasa seca (g)
6	0.35889 a
2	0.23111 b
1	0.15556 bc
5	0.09667 c
3	0.09111 c
7	0.09000 c
8	0.85556 c
4	0.08222 c
9	0.04667 c
10	0.04667 c

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Con base en el análisis de comparación de medias por el método Tukey, la Figura 1 muestra que el biotipo 6 mostró mayor tolerancia al herbicida con 3 diferentes dosis aplicadas, debido a que supera en peso al resto de los biotipos evaluados.

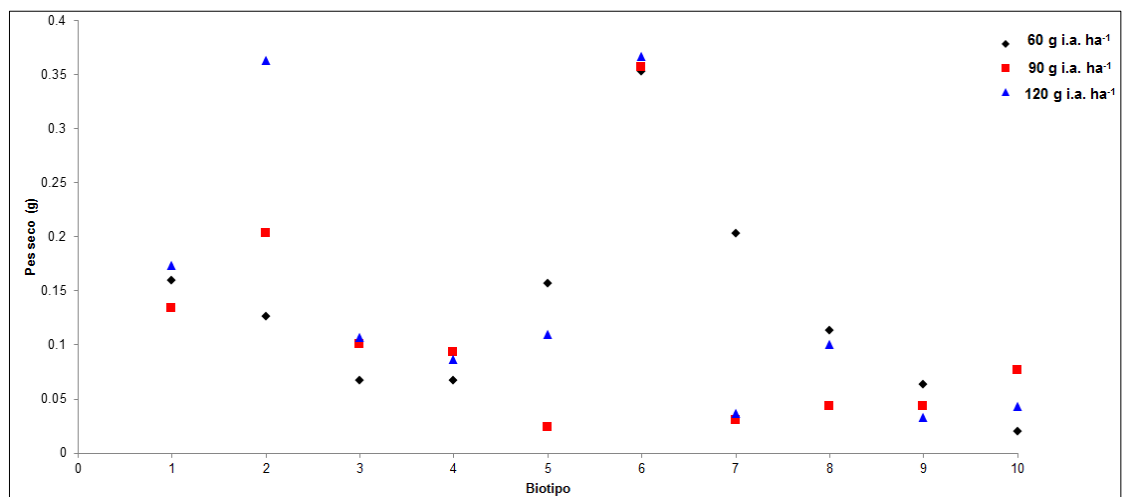


Figura 1. Biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* con aplicaciones de Pinoxaden a dosis de 60, 90 y 120 g de i.a. ha⁻¹.

3.3.2 Aplicaciones de Clodinafop propargil sobre biotipos de *Phalaris minor*

3.3.2.1 Producción de biomasa seca

Los valores obtenidos para biomasa seca en los biotipos de *Phalaris minor* se muestran en el Cuadro 7, a 21 días de la aplicación herbicida con una dosis de 60 g i.a. ha⁻¹. Los resultados mostraron evidencia significativa de que el biotipo 8 desarrolló mayor cantidad de biomasa seca.

Cuadro 7. Comparación de medias por el método Tukey (P=0.05) de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (60 g i.a. ha⁻¹).

Biotipo	Biomasa seca (g)
8	0.65333 a
2	0.34000 ab
3	0.26000 b
10	0.22333 b
6	0.21000 b
5	0.14333 b
1	0.13000 b
7	0.13000 b
4	0.12667 b
9	0.12000 b

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; p<0.05).

Se realizó la prueba de comparación de medias para las unidades experimentales asperjadas con 90 g i. a. ha⁻¹, dando como resultado que el biotipo 5 desarrolló mayor cantidad de biomasa seca (Cuadro 8), por el contrario el biotipo 7, desarrolló la menor cantidad de biomasa seca, indicando ser un biotipo poco tolerante a la aplicación del herbicida.

Cuadro 8. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (90 g i.a. ha⁻¹).

Biotipo	Biomasa seca (g)
5	0.7633 a
2	0.7133 ab
4	0.6900 abc
1	0.5733 abcd
8	0.5733 abcd
3	0.4400 abcd
6	0.3500 bcde
9	0.3267 cde
10	0.2950 de
7	0.0833 e

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Los resultados de prueba de comparación de medias muestran evidencia significativa que el biotipo 3 desarrolló la mayor cantidad de biomasa seca con respecto al resto de los biotipos al aplicar 120 g i. a. ha⁻¹ (Cuadro 9), por el contrario el biotipo 9, desarrolló la menor cantidad de biomasa seca.

En la figura 2, se muestra el comportamiento de los 10 biotipos con respecto a peso seco bajo aplicaciones de las tres diferentes dosis de Clodinafop propargil, donde nuevamente se distingue el biotipo 3 con mayor cantidad de biomasa seca.

Cuadro 9. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de muestras de *Phalaris minor* a 21 días de la aplicación de Clodinagop propargil (120 g i.a. ha⁻¹).

Biotipo	Biomasa seca (g)
3	0.7900 a
10	0.6750 ab
6	0.4533 abc
1	0.4100 abc
5	0.3133 abc
4	0.2800 abc
8	0.1600 bc
2	0.1567 bc
7	0.1333 bc
9	0.0667 c

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Con aplicaciones de Clodinafop propargil, el análisis de comparación de medias de biomasa seca por el método Tukey y su interacción con las dosis evaluadas, se observó que el biotipo 3 desarrolló mayor cantidad de biomasa, lo que indica que ésta población muestra mayor tolerancia a las aplicaciones de Clodinafop propargil (Cuadro 10), en comparación con el resto de los biotipos.

Cuadro 10. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de la biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor*, a 21 días de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las dosis aplicadas.

Biotipo	Biomasa seca (g)
3	0.49667 a
8	0.46222 a
5	0.40667 a
2	0.40333 a
1	0.40000 a
10	0.37286 ab
4	0.36556 ab
6	0.35375 ab
9	0.17111 bc
7	0.11556 c

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

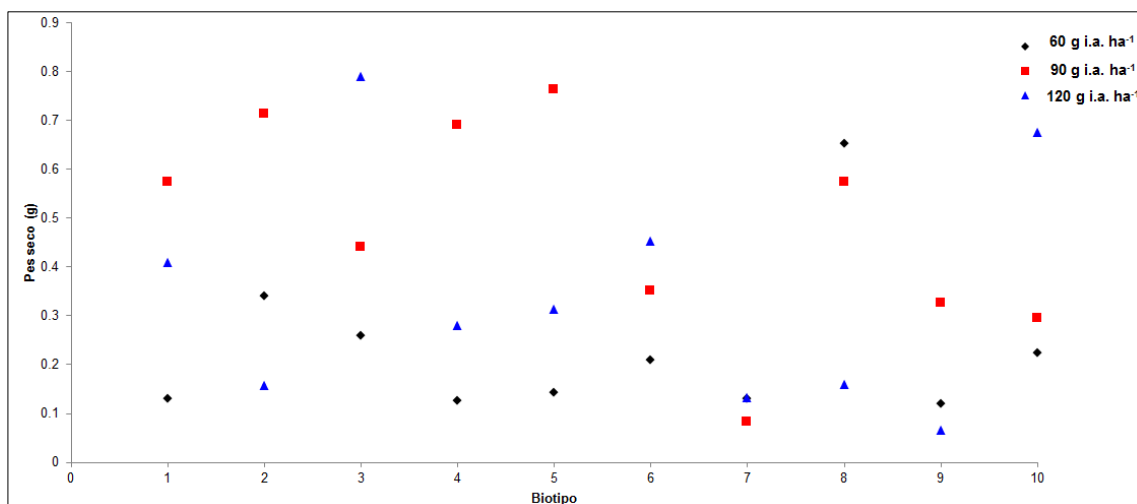


Figura 2. Biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* con aplicaciones de Clodinafop propargil a dosis de 60, 90 y 120 g de i.a. ha⁻¹.

3.4 CONCLUSIONES

De forma general los biotipos presentan mayor tolerancia a las aplicaciones de Clodinafop propargil.

Las aplicaciones con dosis comerciales (60 g i.a. ha⁻¹) no controlaron a la maleza.

Los biotipos 3, 8, 5, 2 y 1 presentan un nivel de tolerancia estadísticamente igual a Clodinafop propargil, los cuales son procedentes de los municipios de Abasolo, Irapuato y Salamanca. El biotipo 6, recolectado en Abasolo mostró tolerancia a pinoxaden

Se recomienda realizar el ensayo de dosis respuesta para determinar los biotipos que son resistentes a Pinoxaden y/o a Clodinafop propargil.

3.5 LITERATURA CITADA

- Abbast, T. (2016). Low doses of fenoxaprop-p-ethyl cause hormesis in littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz) and wild oat (*avena fatua* L.). *Planta Daninha*. 34: 527-533.
- Chhokar R., S: (2006). Evaluation of herbicides against *Phalaris minor* in wheat in north western Indian lains. *Weed Res*. 46: 40-49.
- Chhokar R., S: (2008). Herbicides for control of isoproturon-resistant Littleseed Canarygrass (*Phalaris minor*) in wheat. *Crop Protec*. 27: 719-726.
- García-Vallejo, F. (2006). Resistencia de cuatro biotipos de *Phalaris minor* Retz. Alos herbicidas clodinafop propargyl y tralkoxidim. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. 74 pp.
- Heap, I. (2015). The international survey of herbicide resistant weeds. Consultada el 14 de enero del 2020 en www.weedscience.org
- Streibig, J. C. (1988). Herbicide bioassay. *Weed research*, 28 (6):479-484.
- Valverde, B. E. (2009). Bioanálisis en la ciencia de las malezas: conceptos importantes y experiencia práctica. In A. Anzalone, & A. Ortíz (Eds.),

Curso de actualización en metodologías de investigación y el desarrollo tecnológico en el manejo de malezas p. 52-76.

4. ARTICULO CIENTÍFICO

⁵ENSAYO DE DOSIS RESPUESTA DE BIOTIPOS DE *Phalaris minor* A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACCasa

RESUMEN

La producción agrícola se ve afectada por la presencia de malezas. A nivel mundial, actualmente existen 512 casos de malezas resistentes a herbicidas con 262 especies. Los herbicidas inhibidores de la Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCasa) ocupan el tercer lugar con casos de resistencia. En el Bajío guanajuatense el rendimiento del cultivo de trigo se ve disminuido por la presencia de *Phalaris minor*. Esta maleza pertenece a la familia Poaceae, misma que se controla con herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa, sin embargo en los últimos años se ha observado un control deficiente. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue instalar un ensayo de dosis respuesta y determinar el Índice de Resistencia (IR) de biotipos de *Phalaris minor* recolectados en la región del Bajío Guanajuatense. Se recolectaron 10 biotipos, de los cuales ocho eran sospechosos de resistencia. El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo bajo un diseño en parcelas divididas. Los tratamientos herbicidas aplicados para clodinafop propargil y para pinoxaden fueron en dosis de 0, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240 y 480 g i.a. ha⁻¹; los cuales se asperjaron de forma independiente a los 10 biotipos cuando las plantas exhibieron 3 hojas completamente desarrolladas. La aplicación se realizó con una mochila de aspersión manual con punta de doble abanico TJ-60 8003. A los 21 días después de la aplicación de los herbicidas se determinó el peso fresco de cada tratamiento. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey con un nivel de significancia del 5 %, usando el programa estadístico SAS (Statycal Analysis Sistem). Se determinó el valor de RC₅₀ (dosis de herbicida requerido para reducir el 50 % de peso fresco) a cada uno de los biotipos colectados con base en la inhibición del crecimiento provocada por el herbicida. Se calculó el IR con la razón entre el valor de RC₅₀ de la población con sospecha de resistencia (R) sobre el valor de la RC₅₀ de la población susceptible (S). De forma general, los biotipos presentan mayor resistencia a clodinafop propargil, se comprobó la resistencia a pinoxaden en 4 biotipos y 4 más a clodinafop propargil, con IR superior a 2.0.

Palabras clave: Resistencia, Dosis- Respuesta, Índice de Resistencia, Susceptible

⁵Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ing. Andrea Juan Rosales

Director de tesis: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

⁶DOSE RESPONSE TEST OF BIOTIPES OF *Phalaris minor* TO ACCase INHIBITING HERBICIDES

ABSTRACT

Agricultural production is affected by the presence of weeds. Worldwide, there are currently 512 cases of herbicide resistant weeds with 262 species. Herbicides that inhibit Acetyl Coenzyme A carboxylase (ACCase) rank third with cases of resistance. In the Guanajuato Bajío the yield of the wheat crop is diminished by the presence of *Phalaris minor*. This weed belongs to the Poaceae family, which is controlled with herbicides that inhibit the ACCase enzyme, however, in recent years, poor control has been observed. Therefore, the objective of the investigation was to install a dose-response test and determine the Resistance Index (IR) of biotypes of *Phalaris minor* collected in the Bajío Guanajuatense region. 10 biotypes were collected, of which eight were suspected of resistance. The experiment was carried out in the facilities of the Universidad Autónoma Chapingo under a design in divided plots. The herbicide treatments applied for clodinafop propargil and for pinoxaden were in doses of 0, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240 and 480 g i.a. ha⁻¹; which were sprayed independently to the 10 biotypes when the plants exhibited 3 fully developed leaves. The application was made with a manual spray backpack with a double fan tip TJ-60 8003. At 21 days after the application of the herbicides, the fresh weight of each treatment was determined. The results were analyzed by means of an analysis of variance and a Tukey mean comparison test with a significance level of 5%, using the statistical program SAS (Statycal Analysis Sistem). The value of RC₅₀ (dose of herbicide required to reduce 50% of fresh weight) was determined for each of the biotypes collected based on the growth inhibition caused by the herbicide. The IR was calculated with the ratio between the RC₅₀ value of the population with suspected resistance (R) over the RC₅₀ value of the susceptible population (S). In general, the biotypes show greater resistance to clodinafop propargil, resistance to pinoxaden was verified in 4 biotypes and 4 more to clodinafop propargil, with an IR greater than 2.0.

Key words: Resistance, Dose-Response, Resistance Index, Susceptible

⁶ Master of Science Thesis, Postgraduate in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Ing. Andrea Juan Rosales
Thesis Director: Dr. Andrés Bolaños Espinoza

4.1 INTRODUCCIÓN

En México, el trigo es usado para la elaboración de una amplia variedad de panes, bebidas, galletas, tortillas y pastas. A nivel nacional, Guanajuato es el segundo estado con mayor producción de trigo (SIAP, 2020). El uso de herbicidas en la agricultura moderna ha permitido que se incremente el volumen de producción de alimentos (Powles y Yu, 2010). A pesar de los avances logrados con el uso de estos plaguicidas, no se ha logrado mantener un control de malezas eficiente. El trigo es afectado por la presencia de esta plaga, la cual reduce los rendimientos por unidad de superficie (Ross y Lembi, 2009), pudiendo reducirlo hasta un 90 % (Cruz et al., 2004). Las características del sistema de producción de trigo no permiten implementar un método alternativo al uso de herbicidas para el control de malezas (Tafoya et al., 2009), ya que este método resulta práctico, eficiente y de bajo costo, no obstante el uso continuo selecciona poblaciones de malezas resistentes (Powles y Yu, 2010). En el Bajío guanajuatense, *Phalaris minor* Retz es catalogada como la principal maleza que se presenta en el cultivo de trigo (García et al., 2015) y la aparición de biotipos resistentes a herbicidas conduce a grandes pérdidas y compromete la sostenibilidad del sistema de producción (Ortíz et al., 2017). La resistencia es una habilidad hereditaria que adquieren algunos biotipos pertenecientes a una población, logrando sobrevivir y reproducirse a determinada dosis, misma a la que la población original era susceptible. La resistencia dependerá de varios factores, tales como la especificidad del herbicida, la diversidad de los genes de resistencia involucrados, dosis y frecuencia de aplicación del plaguicida, los cuales afectarán la presión de selección ejercida (Cerdeira y Duke, 2006). Los herbicidas inhibidores de la enzima Acetil Coenzima-A carboxilasa (ACCase) son capaces de seleccionar biotipos resistentes dentro de 1 a 5 ciclos de selección (Mallory-Smith et al., 1990), debido a la alta especificidad del sitio activo, a la alta frecuencia de mutación del gen nuclear que codifica la enzima y a la probabilidad de que distintas mutaciones semidominantes modifiquen el sitio de acoplamiento del herbicida en la enzima confiriéndole resistencia a la maleza (Délye, 2009.; Tranel y Wright, 2002). Por lo anterior, el objetivo de la

presente investigación fue determinar la presencia de resistencia de biotipos de *Phalaris minor* Retz a los herbicidas pinoxaden y clodinafop propargil, mediante ensayos de dosis respuesta, con tasas de reducción del 50 % (RC_{50}) e índices de resistencia (IR).

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Bioensayo de dosis respuesta

Una vez concluido el bioensayo preliminar para la detección de tolerancia en biotipos de *Phalaris minor* a los herbicidas Pinoxaden y Clodinafop propargil, se determinó que todos los biotipos presentan un nivel de tolerancia a ambos herbicidas; con base en lo anterior se seleccionaron los mismos 10 biotipos para realizar el ensayo general de dosis respuesta. Los biotipos fueron recolectados en el Bajío guanajuatense (Cuadro 1) en áreas de producción de trigo poco antes de realizar la cosecha del grano, en donde el historial de aplicaciones de herbicidas ha sido con Pinoxaden y Clodinafop propargil, y se ha observado un control deficiente de la maleza.

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo bajo condiciones de invernadero. Las semillas de *Phalaris minor* se escarificaron de forma manual con papel lija usando papel lija (Grit/360). La germinación de semillas se realizó en cajas Petri (60 x 15 mm) con papel filtro (Whatman Cat No. 1001 090) colocando 50 semillas de cada biotipo, las cuales previamente fueron sumergidas en una solución fungicida con Captan 50 WP (3 g L⁻¹). La germinación de las semillas se llevó a cabo en una cámara de germinación (ATP.line® KBWF E5.2, Binder, tuttlingen, Alemania) a una temperatura constante de 15 °C y 70 % de humedad relativa durante 5 días, después de ese período se realizó el transplante. Éste se realizó en macetas con capacidad de 0.5 L, usando como sustrato una mezcla de Peat Moos (25 %) y suelo de campo (75 %). Se sembraron 2 plántulas en cada maceta con 3 repeticiones por cada biotipo. Cuando las plántulas desarrollaron de 3 a 4 hojas verdaderas se realizó la aplicación de los tratamientos herbicidas con una

mochila de aspersión manual con punta de doble abanico TJ-60 8003, la cual fue calibrada previamente. La aspersión de los herbicidas fue durante la mañana con una temperatura de 17 °C, humedad relativa del 70 %, vientos de 8 km/h y un pH de agua de 7.2. Los tratamientos aplicados se especifican en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Tratamiento, dosis y herbicidas evaluados sobre biotipos de *Phalaris minor* en el bioensayo de dosis-respuesta.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis (g i. a ha ⁻¹)
T1	Pinoxaden	0
T2	Pinoxaden	7.5
T3	Pinoxaden	15
T4	Pinoxaden	30
T5	Pinoxaden	60
T6	Pinoxaden	120
T7	Pinoxaden	240
T8	Pinoxaden	480
T9	Clodinafop propargil	0
T10	Clodinafop propargil	7.5
T11	Clodinafop propargil	15
T12	Clodinafop propargil	30
T13	Clodinafop propargil	60
T14	Clodinafop propargil	120
T15	Clodinafop propargil	240
T16	Clodinafop propargil	480

La aspersión de los tratamientos herbicidas se realizó en dosis crecientes, procurando realizar el lavado del equipo de aspersión entre cada aplicación. Transcurridos 21 días después de la aplicación de los tratamientos, se realizó el corte de las plantas por cada unidad experimental y su vez se determinó el peso fresco de cada unidad experimenta, después fueron sometidas a una secado a

una temperatura constante de 70 °C durante 72 horas y se procedió a registrar el peso de la biomasa seca de las muestras haciendo uso de una balanza digital con capacidad de 0.1 a 100 g.

4.2.2 Análisis estadístico

Los datos obtenidos sobre peso fresco y biomasa seca fueron analizados en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4 mediante un análisis de varianza y una comparación de medias a través de la prueba de la diferencia significativa honesta Tukey ($P=0.05$). Con el ajuste de los datos de peso seco a un modelo de regresión no lineal tipo log-logístico, se determinó la dosis de herbicida que causa el 50 % de inhibición del crecimiento (ED_{50}), respecto al testigo (ED_{50}), para cada biotipo (Seefeldt et al., 1995) mediante el programa “RStudio”. Se calculó el Índice de Resistencia (IR) con la razón entre el valor de RC_{50} de la población con sospecha de resistencia (R) sobre el valor de la RC_{50} de la población susceptible (S).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Aplicaciones de Pinoxaden y Clodinafop sobre biotipos de *Phalaris minor*

4.3.1.1 Peso fresco

El peso fresco de cada uno de los tratamientos fue analizado con la prueba de comparación de medias por el método Tukey y su interacción con las dosis evaluadas con Pinoxaden (Cuadro 12). Con ello se determinó que el biotipo 2 acumuló la mayor cantidad de materia fresca en comparación con el resto de los biotipos evaluados, por el contrario el biotipo 7 desarrolló la menor cantidad de materia fresca.

Cuadro 12. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de *Phalaris minor* desarrollado 21 días después de la aplicación de Pinoxaden y su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Peso fresco (g)
2	3.48458 a
3	2.78 b
5	2.71375 b
1	2.03958 c
4	1.89167 c
6	1.51083 d
10	0.77542 e
9	0.47792 f
8	0.45833 fg
7	0.24958 g

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

De igual manera, se realizó la prueba de comparación de medias de los pesos frescos de las unidades experimentales asperjadas con Clodinafop propargil. En el Cuadro 13 se aprecia que los biotipos 5 y 10 desarrollaron la mayor cantidad de peso fresco, mientras que el biotipo 9 tuvo el valor más bajo.

Se le realizó la prueba de comparación de medias a la interacción de dosis, herbicida y biotipos, en donde se observa que el biotipo 5 desarrolló mayor cantidad de materia fresca con respecto al resto de los biotipos (Cuadro 14).

Cuadro 13. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de *Phalaris minor* desarrollado 21 días después de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Peso fresco (g)
5	6.5562 a
10	6.2025 a
4	5.6888 b
3	4.8138 c
1	4.6538 c
6	4.5833 cd
2	4.19 d
8	3.5708 e
9	2.8521 f
7	0.5271 g

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Cuadro 14. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de *Phalaris minor* desarrollada 21 días después de la aplicación herbicida y su interacción con ambos herbicidas más su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Peso fresco (g)
5	4.635 a
2	3.83729 b
3	3.79688 b
4	3.79021 b
10	3.48896 c
1	3.34667 c
6	3.04708 d
8	2.01458 e
9	1.665 f
7	0.38833 g

Al evaluar la interacción de los 10 biotipos, las ocho dosis evaluadas y los herbicidas, se determinó que los 10 biotipos de forma general exhiben mayor tolerancia al herbicida donde el ingrediente activo es Clodinafop propargil, debido a que desarrollaron mayor cantidad de peso fresco, en comparación con los datos obtenidos al aplicar Pinoxaden (Cuadro 15).

Cuadro 15. Comparación de medias ($P=0.05$) de peso fresco de biotipos de *Phalaris minor* considerando la interacción entre los 10 biotipos evaluados y las ocho dosis aplicadas con respecto al herbicida evaluado.

Herbicida (i. a.)	Biomasa seca (g)
Clodinafop propargil	4.36383 a
Pinoxaden	1.63817 b

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

4.3.1.2. Biomasa seca

Después de realizar la aplicación de los tratamientos, en el Cuadro 16 se muestra la prueba de comparación de medias de los pesos secos de cada biotipo y su interacción con las 8 dosis evaluadas, para el herbicida Pinoxaden. Con lo anterior se observa que el biotipo 2 resultó mostrar mayor cantidad de biomasa seca con respecto al resto de los biotipos.

Al evaluar la interacción de las ocho dosis evaluadas con Clodinafop propargil, se aprecia en el Cuadro 17 que el biotipo 8 fue estadísticamente diferente con respecto al resto de los biotipos, desarrollando el mayor valor para biomasa seca.

Cuadro 16. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* desarrollada 21 días después de la aplicación de Pinoxaden y su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Biomasa seca (g)
2	0.62292 a
5	0.50625 b
3	0.49667 b
4	0.4625 b
6	0.40375 c
1	0.31292 d
9	0.21708 e
10	0.19542 e
8	0.19083 e
7	0.10458 f

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Cuadro 17. Comparación de medias por el método Tukey de biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* desarrollada 21 días después de la aplicación de Clodinafop propargil y su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Biomasa seca (g)
8	1.3325 a
10	1.13292 b
5	1.10917 b
4	0.91375 c
1	0.85542 cd
6	0.82458 cd
3	0.76833 d
9	0.63292 e
2	0.59167 e
7	0.12 e

Al realizar la comparación de medias por el método Tukey de los pesos obtenidos para biomasa seca, y su interacción con los dos herbicidas aplicados, más la interacción con las ocho dosis evaluadas, los biotipos 5 y 8 exhibieron el mayor peso (Cuadro 18), indicando así que presentan un mayor nivel de tolerancia a ambos herbicidas en contraste con el resto de los biotipos evaluados. Por el contrario los biotipos 7 y 9 desarrollaron la menor cantidad de biomasa seca, lo que demuestra que su nivel de tolerancia a ambos herbicidas es baja.

Cuadro 18. Comparación de medias por el método Tukey ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* desarrollada 21 días después de la aplicación herbicida y su interacción con ambos herbicidas más su interacción con las ocho dosis evaluadas.

Biotipo	Biomasa seca (g)
5	0.80771 a
8	0.76167 a
4	0.68813 b
10	0.66417 bc
3	0.6325 bcd
6	0.61417 cd
2	0.60729 cd
1	0.58417 d
9	0.425 e
7	0.11229 f

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

Se realizó una prueba de comparación de medias, analizando la interacción de los 10 biotipos más las ocho dosis evaluadas y se determinó que los 10 biotipos de forma general exhiben mayor tolerancia al herbicida donde el ingrediente activo es Clodinafop propargil, debido a que desarrollaron mayor cantidad de biomasa seca, en comparación con los datos obtenidos al aplicar Pinoxaden (Cuadro 19).

Cuadro 19. Comparación de medias ($P=0.05$) de biomasa seca de biotipos de *Phalaris minor* considerando la interacción entre los 10 biotipos evaluados, más las ocho dosis aplicadas con respecto al herbicida evaluado.

Herbicida (i. a.)	Biomasa seca (g)
Clodinafop propargil	4.36383 a
Pinoxaden	1.63817 b

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; $p<0.05$).

4.3.2 Determinación de la RC_{50} y el Índice de Resistencia

Para los datos obtenidos de biomasa seca, la dosis de herbicida requerida para inhibir el 50 % del crecimiento (RC_{50}) de *Phalaris minor* tanto para Pinoxaden como para Clodinafop propargil se muestra en los Cuadros 20 y 21 respectivamente. De forma comercial, la dosis recomendada para controlar a esta maleza es de 60 g de i. a. ha^{-1} para ambos herbicidas. Cuando el valor de IR es mayor a 2 se considera a la población como resistente (Valverde et ál., 2000). Los resultados mostraron los biotipos 2, 3, y 4 tienen el IR más alto con valores de 2.94, 3.07 y 3.24

Cuadro 20. Dosis de Pinoxaden (g de i. a. ha^{-1}) requeridas para reducir 50 % la biomasa de los biotipos analizados (RC_{50}) de *Phalaris minor*.

Biotipo	RC_{50}	IR
1	75	0.69
2	321	2.94
3	335	3.07
4	353	3.24
5	30	0.28
6	61	0.56
7	355	3.26
8	23	0.21
9	109	1.00
10	46	0.42

La Figura 3 muestra el comportamiento de la curva de dosis-respuesta de cada uno de los biotipos evaluados con aplicaciones de Pinoxaden, así como la cantidad de herbicida para inhibir su peso en un 50 %, en donde destacan los biotipos 2, 3 y 4, con los valores más altos

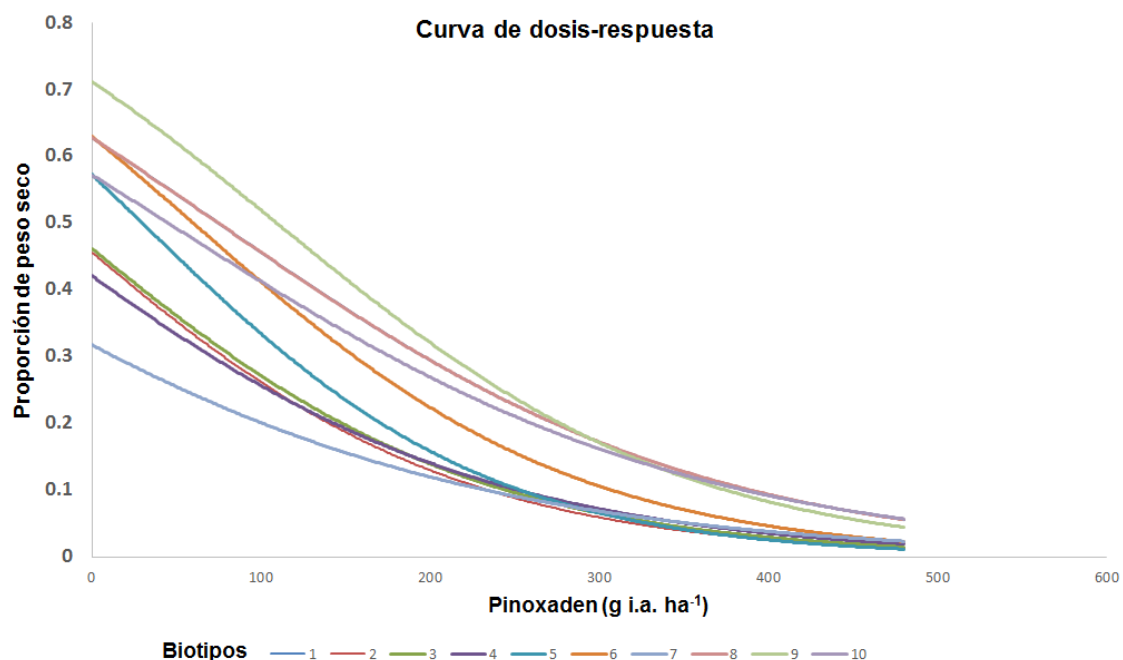


Figura 3. Curva de dosis-respuesta de biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense.

El Cuadro 21 muestra que los biotipos 2 y 3 son resistentes al herbicida clodinafop propargil, pues su Índices de Resistencia superan el valor de 2.0.

En la Figura 4 se observa el comportamiento de la curva de dosis-respuesta de cada uno de los biotipos evaluados con aplicaciones de Pinoxaden, así como la cantidad de herbicida para inhibir su peso en un 50 %, en donde los biotipos 2 y 3 exhiben la mayor cantidad de herbicida para inhibir su crecimiento en un 50 %.

Cuadro 21. Dosis de Clodinafop propargil (g de i. a. ha⁻¹) requeridas para reducir 50 % la biomasa de los biotipos analizados (RC₅₀) de *Phalaris minor*.

Biotipo	RC ₅₀	IR
1	214	1.91
2	478	4.27
3	232	2.07
4	89	0.79
5	75	0.67
6	63	0.56
7	324	2.89
8	95	0.85
9	112	1.00
10	103	0.92

* Medias con misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey; p<0.05).

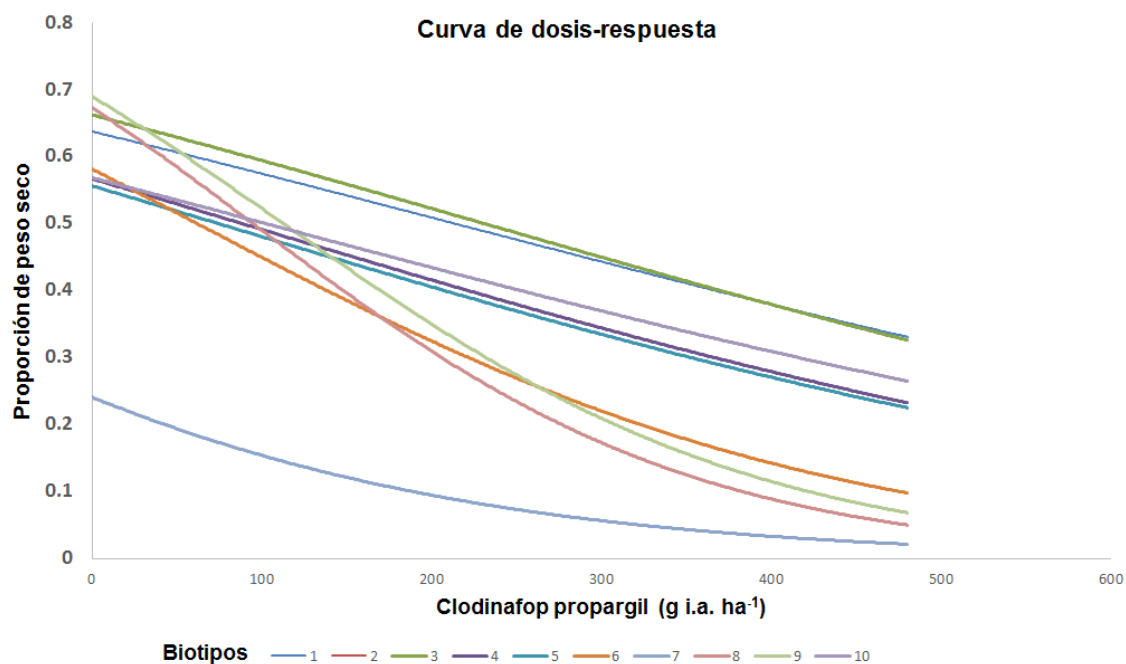


Figura 4. Curva de dosis-respuesta de biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense.

4.4 CONCLUSIONES

Los resultados del experimento indican que de forma general los biotipos de *Phalaris minor* colectados en el Bajío guanajuatense tienen un comportamiento de resistencia mayor hacia clodinafop propargil .

Se determinó que dos biotipos, 2 y 3, tienen resistencia cruzada a pinoxaden y Clodinafop propargil. Estos biotipos fueron recolectados en Guadalupe de Rivera, Irapuato y La Paz Abasolo, respectivamente.

El biotipo 4 colectado en La Carroza, Abasolo, solo exhibió resistencia a Pinoxaden.

Se recomienda implementar un manejo integral de malezas para disminuir las poblaciones con resistencia a herbicidas, debido a que existen biotipos con un IR cercano a superar los valores admisibles para ser considerado como no resistente. De lo contrario las poblaciones resistentes irán en aumento en las áreas de producción de trigo.

4.5 LITERATURA CITADA

- Cerdeira, A. L. y Duke, O. (2006). The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: A review. J. Environ. Qual. 35: 1633-1658.
- Cruz V., M.; Martínez D., G.; Cinco C., R y Avendaño R., L. (2004). Período crítico de competencia de malezas en trigo (*Triticum aestivum* L.). Agric. Téc. Méx. 30: 223-234.
- Délye, C. (2009). Variation in the gene encoding acetolactate-synthase in *Iolium* species and proactive detection of mutant, herbicide-resistant alleles. Weed Res. 49 (3):326-336.
- Mallory-Smith, C. A.; Thill D., C. y Dial M, J. (1990). Identification of sulfonylurea herbicide-resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). Weed Technol. 4: 163-168.
- Powles, S. B. And Yu, Q. (2010). Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. Annual Review of Plant Biology 61:317-347.

- Ross, M. A. y C. A. Lembi. (2009). *Applied Weed Science: Including the Ecology and Management of Invasive Plants*. 3rd. ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 561 p.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivo. Consultado el 12 de enero de 2020.
- Tafoya R., J. A. y Carrillo M., R. M. (2009). Control de la maleza en el cultivo de trigo en el altiplano. In: *Resúmenes del XXX Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza*. 21-23 de octubre. Culiacán, Sin., México. p. 33
- Tranel, P. J. y Wright T. R. (2002). Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: What have we learned? *Weed Sci.* 50: 700-712.
- Valverde, B., C. Riches y J. Caseley. (2000). *Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz. Experiencias en América Central con Echinochloa colona*. Cámara de Insumos Agropecuarios. San José, CR. 135 p.