



“ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE”

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

*ZACATE JOHNSON (*Sorghum halepense* (L.)*

Pers.) RESISTENTE A NICOSULFURON

T E S I S

COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN

PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA

ALEJANDRA MARÍN GARCÍA

CHAPINGO, MÉXICO. NOVIEMBRE DE 2012





**ZACATE JOHNSON (*Sorghum halepense* (L) Pers) RESISTENTE A
NICOSULFURON**

Tesis realizada por **Alejandra Marín García** bajo la dirección del **Dr. Andrés Bolaños Espinoza** y asesoría de los **MC. Antonio Tafoya Raso** y **MC. Luis Emilio Castillo Márquez**. La cual ha sido revisada y aprobada por el H. Jurado Examinador, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR

DR. Andrés Bolaños Espinoza



**ZACATE JOHNSON (*Sorghum halepense* (L) Pers) RESISTENTE A
NICOSULFURON**

El H. Jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Alejandra Marín García** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, estuvo constituido por:

DIRECTOR



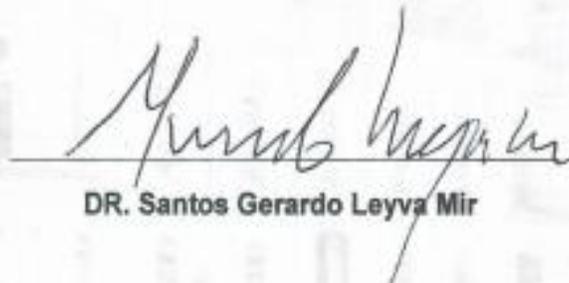
DR. Andrés Bolaños Espinoza

ASESOR



MC. Luis Emilio Castillo Márquez

ASESOR



DR. Santos Gerardo Leyva Mir

AGRADECIMIENTOS

Al creador todo poderoso que me dio el aliento de la vida, Señor no soy nada sin ti, pero **"Todo lo puedo en Cristo que me fortalece"**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por su apoyo económico para la realización de esta maestría, por formar a los investigadores que cambiarán a México y al mundo.

A los profesores del Área de Malezas del Depto. de Parasitología Agrícola, en especial al **DR. A. Bolaños Espinoza** y al **MC. J. Antonio Tafoya** por su apoyo, su tiempo, asesorías y consejos, gracias también a **Yolita, Sofí**, así como a los trabajadores de esta área por la ayuda brindada para la realización de esta tesis.

No puedo dejar atrás a dos grandes personas que no solo me guían en mi formación profesional, sino también, en mi formación como persona, **DR. Juan L. Medina Pitalua** y **DR. José Alfredo Domínguez Valenzuela**, mi caminar fue marcado por sus palabras, estas, serán la semilla para los grandes frutos del futuro.

El pilar más importante en la vida es la Familia, a mis padres **Enrique Marín Ortega** y **Ma. Leonor García Huerta**, por ser mi guía y mejor ejemplo, por enseñarme que en la vida no importa cuántos diplomas tengas, ni cuánto dinero ganes, eso no te hace *"buena persona"*

Tonantzin Itzayana mi pequeña alegría que con su inocencia y madurez me ayuda a superar día a día las desavenencias, Te amo Princesa.

A mis compañeros de viaje, por que los amigos no son los que te dicen lo que tú quieres oír, si no los que te hablan con la verdad, mi agradecimiento a **MC Catalina Espinoza, Ing. Iván Genaro Gaona, MC. Geremias Bautista, Ing. Eleazar Pacheco, Ing. Gudelia Hipólito, MC. Tanya Sánchez, Ing. Roy Rivera, MC Eli Fernández** en honor a las aventuras compartidas.

Para el grupo **JX: Vale, Josué, Lucero, Ángel, Alan, Hno. Richard, Hno. Omar, Abraham, Adri, Rosi, Jazmín, Hno. Roberto** y los demás seminaristas **MSP**, por todas sus oraciones y enseñanzas.

GRACIAS POR CONFIAR EN MÍ, LOS AMO

Alezitha



PARA MAMÁ

CON AMOR...



Un poco de ciencia aleja de Dios, pero mucha ciencia devuelve a Él. Louis Pasteur



AUTOBIORAFÍA

Nací en la Ciudad de México en el año de 1985, en el seno de una familia católica educada en los valores de la honradez, respeto y trabajo. Siendo la hija menor de la familia crecí bajo los conceptos de lealtad, constancia y esfuerzo, básicos para lograr todas las metas.

Viví y realicé mi educación básica y media superior en el municipio de Texcoco, Estado de México, para el año 2002 ingresé a la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar mis estudios de educación superior en el Departamento de Fitotecnia para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia en el año 2007.

Mi madre siempre me dijo: “El trabajo es sagrado” bajo este axioma me incorpore al campo laboral para poner en práctica mi formación humana y académica, pasando desde la Comisión Nacional Forestal, hasta, los seguros agrícolas, en Agosto de 2010 inicié los estudios de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal en la Universidad Autónoma Chapingo, concluyendo estos en Mayo del 2012.

Teniendo a Dios a mi lado vivo la vida feliz y plena en compañía de todas las personas que me aprecian, y que han hecho de mi vida algo mejor.

Como dijo Marie Curie “Soy de los que piensan que la ciencia tiene una gran belleza. Un científico en su laboratorio no es sólo un técnico: es también un niño colocado ante fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas.”



ALEJANDRA

"No le digas a Dios que tienes un gran problema, dile a tu problema que tienes un gran Dios"

MSP

Al final de nuestras vidas, no seremos juzgados por cuantos diplomas hemos recibido, cuánto dinero hemos conseguido o cuantas cosas grandes hemos hecho. Seremos juzgados por "Yo tuve hambre y me diste de comer. Estuve desnudo y me vestiste. No tenia casa y me diste posada"

Porque solo **Cristo** es el camino que merece seguir, la luz que merece ser encendida, la vida que merece la pena vivir y el **AMOR** que merece la pena amar.

Sta. Teresa de Calcuta

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	2
HIPOTESIS.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Conceptos básicos</i>	3
Maleza	3
Tolerancia	3
Resistencia	3
Biotipo.....	3
Población	3
2.2. <i>Malezas resistentes a herbicidas</i>	4
Historia y distribución	4
Sulfonilureas	7
Historia y descripción de las Sulfonilureas.....	7
Modo y sitio de acción	9
Síntomas de daño.....	9
Resistencia de las Sulfonilureas	9
2.3. <i>Características del herbicida</i>	11
Propiedades físicas y químicas	11
Modo de acción.....	11
Mecanismo de acción.....	12
Sitio de acción.....	12
Usos.....	13
Absorción y translocación	13
Sintomatología	13
2.4. <i>Características de Sorghum halepense (L.)Pers.</i>	13
Taxonomía	14
Origen y distribución geográfica	14
Distribución en México	14
Identificación y descripción.....	15
Hábitat.....	15
Biología y ecología	16
Plagas, enfermedades y enemigos naturales.....	17
Impacto e importancia	17
Manejo y Control	17
Prevención	17
Control cultural	18
Control mecánico.....	18
Control químico	18
Situación legal en otros países.....	19
Estatus de resistencia	19

2.5. Bioensayos de dosis respuesta.....	21
Prospección	21
Observación en campo	22
Recolección de las semillas	22
Establecimiento del bioensayo	23
Aplicación de herbicidas y evaluación	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. Localización del sitio de colecta de los biotipos	24
Orografía.....	24
Clima.....	24
3.2. Conducción de los bioensayos.....	24
Recolección de semilla.....	24
Lugar de establecimiento	25
Germinación de semillas, transplante y establecimiento.	25
3.3. Diseño experimental	27
Tratamientos evaluados	27
Aplicación de tratamientos	27
3.4. Variables respuesta	28
Peso fresco	28
Porcentaje de rebrote.....	28
ED ₅₀	28
Factor de resistencia (FR)	28
Análisis estadístico.....	28
4. RESULTADOS	30
4.1. Experimento 1.....	30
4.2. Experimento 2.....	33
4.3. Experimento 3.....	37
5. DISCUSIÓN.....	40
6. CONCLUSIONES.....	42
7. LITERATURA CITADA	43
8. APÉNDICE	49

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. BIOTIPOS DE MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS DE ACUERDO CON EL GRUPO QUÍMICO AL QUE PERTENECE.....	6
CUADRO 2. BIOTIPOS DE MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS POR PAÍS.....	7
CUADRO 3. BIOTIPOS DE ZACATE JOHNSON RESISTENTES A HERBICIDAS	20
CUADRO 4. UBICACIÓN Y ESTADÍSTICAS DE BIOTIPOS RESISTENTES A HERBICIDAS DE S. HALEPENSES L. EN MÉXICO (HEAP, 2012).....	20
CUADRO 5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS BIOTIPOS SOSPECHOSOS DE RESISTENCIA A HERBICIDAS UTILIZADOS PARA ESTE ESTUDIO.	25
CUADRO 6. TRATAMIENTOS PARA DETERMINAR RESISTENCIA DE NICOSULFURON METILO EN S. HALEPENSE L.....	27
CUADRO 7. CALENDARIO DE FECHAS DE LABORES DE LAS TRES SIEMBRAS.....	26
CUADRO 8. PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN* DE LA CURVA SIGMOIDAL DE LOS ENSAYOS DE DOSIS-RESPUESTA Y LAS RELACIONES OBTENIDA (FR) DE LOS BIOTIPOS RESISTENTES EN EL EXPERIMENTO 1.	32
CUADRO 9. PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN* DE LA CURVA SIGMOIDAL DE LOS ENSAYOS DE DOSIS-RESPUESTA Y LAS RELACIONES OBTENIDA (FR) DE LOS BIOTIPOS RESISTENTES EN EL EXPERIMENTO 2.	34
CUADRO 10. PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN* DE LA CURVA SIGMOIDAL DE LOS ENSAYOS DE DOSIS-RESPUESTA Y LAS RELACIONES OBTENIDA (FR) DE LOS BIOTIPOS RESISTENTES EN EL EXPERIMENTO 3.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. INCREMENTO CRONOLÓGICO EN EL NÚMERO DE BIOTIPOS DE MALEZAS RESISTENTES EN EL MUNDO (TOMADO DE HEAP, 2012).....	4
FIGURA 2 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LAS SULFONILUREAS (TOMADO DE HAY, 1990)	8
FIGURA 3. INCREMENTO CRONOLÓGICO EN EL NÚMERO DE MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS PERTENECIENTES A DISTINTOS GRUPOS (TOMADO DE HEAP 2012).....	10
FIGURA 4. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL NICOSULFURON	11
FIGURA 5. BIOSÍNTESIS DE AMINOÁCIDOS DE CADENA RAMIFICADA, INDICANDO EL PUNTO EN EL CUAL ACTÚA EL HERBICIDA (TOMADO DE READE Y COBB, 2002).....	12
FIGURA 6. METODOLOGÍA PARA EL TRASPLANTE. A) LIMPIEZA DE SEMILLA CON LA TRILLADORA MANUAL, B) MATERIAL PARA LA SIEMBRA, C) CHAROLAS SEMBRADAS, D) GERMINACIÓN DE <i>S. HALEPENSE</i> (L), E) TRASPLANTE A MACETA DE 6", F) TRASPLANTE A MACETA DE 250 ML.	26
FIGURA 7. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PESO FRESCO DEL BIOTIPO SUSCEPTIBLE Y LOS BIOTIPOS SOSPECHOSOS DE RESISTENCIA.....	30
FIGURA 8. REDUCCIÓN DE PESO FRESCO DE <i>SORGHUM HALEPENSE</i> (L) PERS, TRATADO CON NICOSULFURON 21 DÍAS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN.....	31
FIGURA 9. EFECTO DE NICOSULFURON (G DE I.A. HA ⁻¹) APLICADO EN POSTEMERGENCIA SOBRE EL BIOTIPO RESISTENTE DE <i>SORGHUM HALEPENSE</i> (L) PERS, EVALUADO A LOS 21 DÍAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.	32
FIGURA 10. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE % DE REBROTE DE LOS BIOTIPOS DE ZACATE JOHNSON.....	33
FIGURA 11. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PESO FRESCO DEL BIOTIPO SUSCEPTIBLE Y LOS BIOTIPOS SOSPECHOSOS DE RESISTENCIA DEL EXPERIMENTO DOS.	33
FIGURA 12. REDUCCIÓN DE PESO FRESCO DE <i>SORGHUM HALEPENSE</i> (L) PERS, TRATADO CON NICOSULFURON 21 DÍAS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN.....	35
FIGURA 13. EFECTO DEL HERBICIDA NICOSULFURON APLICADO EN POSTEMERGENCIA SOBRE BIOTIPOS RESISTENTES (G I.A. HA ⁻¹), EVALUADOS 21 DÍAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.	36
FIGURA 14. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE % DE REBROTE DE LOS BIOTIPOS SOSPECHOSOS DE RESISTENCIA	36
FIGURA 15. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE PESO FRESCO DEL BIOTIPO SUSCEPTIBLE Y LOS BIOTIPOS SOSPECHOSOS DE RESISTENCIA DEL EXPERIMENTO TRES.....	37
FIGURA 16. EFECTO DE NICOSULFURON (G DE I.A. HA ⁻¹) APLICADO EN POSTEMERGENCIA SOBRE DOS BIOTIPOS RESISTENTES DE <i>SORGHUM HALEPENSE</i> (L) PERS, EVALUADOS A LOS 21 DÍAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.....	38
FIGURA 17. REDUCCIÓN DE PESO FRESCO DE <i>SORGHUM HALEPENSE</i> (L.) PERS, TRATADO CON NICOSULFURON 21 DÍAS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN.....	39

RESUMEN

El zacate Johnson es una de las malezas más perjudiciales en el mundo. En México se encuentra ampliamente distribuido en casi todo el territorio nacional infestando los cultivos de maíz, caña de azúcar, varias hortalizas, frutales y plantas ornamentales. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos del nicosulfuron, herbicida perteneciente a la familia de las Sulfonilureas, que inhiben a la enzima Acetolactato sintetasa (ALS), sobre cinco biotipos con sospecha de resistencia en tres etapas de desarrollo, en plantas con 7 a 8, 9 a 10 y de 3 a 4 hojas verdaderas respectivamente. Los biotipos son provenientes del ejido Arenal Oro Verde, Isla, Veracruz. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 4, 4 y 10 repeticiones respectivamente. El experimento se condujo bajo condiciones de invernadero. Se asperjaron las dosis de nicosulfuron a razón de 0, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 g i.a. ha⁻¹. Los datos obtenidos de peso fresco fueron analizados usando un modelo de regresión no lineal, para determinar las curvas de dosis- respuesta y el factor de resistencia (FR). Los cinco biotipos fueron resistentes en las tres etapas de desarrollo, los biotipos B1, B2, B3 y B4 mostraron los valores más altos del factor de resistencia, (24, 25, 21 y 37) en plantas de 7 a 8 hojas, el B5 obtuvo un factor de resistencia de 4.25. En el segundo experimento los FR del B1 y B3 fueron de 32 y 12, en los demás biotipos la ED₅₀ fué tan alta que no se pudo calcular los FR, sin embargo, la resistencia se confirmó al obtener los factores de resistencia de las plantas cuando estas fueron asperjadas en estado de 3 a 4 hojas, los biotipos B3, B5 y B4 presentaron FR de 12, 10 y 8 respectivamente y los B1 y B2 con FR de 4. Los resultados exhibidos manifiestan que en etapas tempranas de desarrollo, los FR disminuyeron, aspecto importante a considerar por parte de los productores. De acuerdo con estos resultados se concluye que los biotipos de zacate Johnson son resistentes a nicosulfuron.

Palabras clave: Biotipos, dosis respuesta, factor de resistencia, ALS

ABSTRACT

Johnson grass is one of the most noxious weed in the world. It is widely spread in almost all Mexican territory infesting corn, sugar cane, several vegetables, fruits and ornamental plants. The main objective of this research was the evaluation of the effect with eight increasing doses of nicosulfuron. This nicosulfuron is a herbicide that belongs to the sulfonylureas family and which Mode of Action is the inhibition the ALS (Acetolactate Synthase Enzyme). The evaluation was made on five suspected resistant biotypes in two developmental stages. In plants with 7 to 8 and 3 to 4 truly leaves respectively. These Biotypes were brought from "El Ejido Arenal Oro Verde", Ciudad Isla, Veracruz. The experimental design used was a completely randomized design with 4 and 10 repetitions. The experiment was conducted under greenhouse conditions. The sprayed doses of nicosulfuron were: 0, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 g a. i. ha⁻¹. The fresh weight data was analyzed using nonlinear regression model to determine the curves of dose-response and the resistance factor (RF). The five biotypes were resistant at both developmental stages. The B1, B2, B3 and B4 biotypes showed the highest values of the resistance factor (24, 25, 21 and 37) on those plants with 7 to 8 truly leaves. The B5 biotype obtained a resistance factor of 4.25. The resistance was confirmed while obtaining resistance factors on plants that were sprayed on the 3-4 truly leaves stage. The B3, B4 and B5 biotypes showed a RF of 12, 10 and 8 respectively and B1 and B2 biotypes showed a FR 4. The obtained results demonstrate that the FR decrease on early stages of development. This consideration must be considered by growers and producers so they can handle this weed. Based on these results, it is observed that all five Johnson grass biotypes are resistant to nicosulfuron.

Key words: biotypes, dose- response, factor resistance, ALS

1. INTRODUCCIÓN

Las malezas presentan atributos de carácter invasivo debido a una serie de características fisiológicas que les confieren mayor capacidad de adaptación, sobrevivencia y crecimiento con respecto a los cultivos. Entre ellas podemos destacar: similitud morfológica y fisiológica a los cultivos, regeneración a través de propágulos vegetativos, producción abundante de semillas que presentan distintos mecanismos de dormancia asegurando su longevidad, germinación escalonada en el tiempo, gran capacidad de competitividad por agua, luz y nutrientes, alta capacidad de crecer en condiciones adversa y en muchos casos tolerancia o resistencia a herbicidas (Anderson, 1996; Ross y Lembi, 2009).

El manejo y control de malezas ha tenido grandes avances. Los herbicidas han sido una herramienta indispensable en el manejo y control de especies nocivas. La fiabilidad de estas sustancias en el control de malezas es debida a la eficacia y la facilidad en el manejo entre otras. Sin embargo, las malezas también se adaptan a la acción de los herbicidas.

En las últimas décadas, la resistencia a herbicidas es quizá una de las mayores preocupaciones científicas, esta resistencia se refiere a la capacidad que han desarrollado las poblaciones de malezas a un cierto herbicida para resistir a ese compuesto y completar su ciclo biológico cuando el herbicida es aplicado en sus dosis normales; aspecto que se ha incrementado seriamente en los últimos años (Heap y LeBaron, 2001).

Cuando aparece un biotipo de una maleza resistente a uno o varios herbicidas, se puede perder esa herramienta de control en particular, afecta grandes áreas de siembra de cultivos, incrementar los costos de producción, causar un mayor impacto ambiental y la pérdida de competitividad agrícola (Domínguez y Medina, 2010).

El zacate Johnson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) es considerada como una de las diez malezas más perjudiciales a nivel mundial en cultivos de maíz (*Zea mays* L.), algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y caña de azúcar (*Saccharum*

officinatum L), en climas cálidos y templados, provocando serios problemas en más de 30 cultivos de 53 países (Holm *et al.*, 1977).

Dado su carácter invasor, en Argentina se prohibió el cultivo de zacate Johnson. También fue prohibida la venta de semillas de *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf y de *S. saccharatum* (L.) Moench. que contengan semillas de "sorgo de alepo". Está restringido y declarado maleza nociva en muchos estados de E.U.A. y en otras partes del mundo (USDA, 2012).

En México para el año 2009 se documentaron los primeros casos de resistencia de esta maleza para el grupo de herbicidas B / 2¹ (Sulfonilureas, imidazolinonas, Triazolpirimidinas, Pirimidinil-tiobenzoantos y Sulfonil-amino-carbonil-triazolinonas) en el cultivo de maíz. A este grupo se le conoce como herbicidas inhibidores de la enzima Acetolactato sintetasa (ALS).

OBJETIVOS

Objetivo general

Confirmar el carácter resistente a nicosulfuron metilo, en diferentes biotipos de *Sorghum halepense* (L) Pers recolectados en la región de Cd. Isla Veracruz, México.

Objetivos particulares

1. Confirmar mediante ensayos de dosis respuesta si algunos biotipos de *Sorghum halepense* (L) Pers poseen resistencia a nicosulfuron
2. Determinar el factor de resistencia de cada una de las poblaciones de *Sorghum halepense* (L) Pers Pers, resistentes a nicosulfuron con relación a las poblaciones más susceptibles.

HIPOTESIS

Ho: El uso continuo de nicosulfuron para controlar *Sorghum halepense* (L) Pers, genera biotipos resistentes a este herbicida.

Ha: El uso continuo de nicosulfuron para controlar *Sorghum halepense* (L) Pers, no genera biotipos resistentes a este herbicida.

¹: Clasificación de los Herbicidas según el Herbicide Resistance Action Committe

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Conceptos básicos

Maleza

Muchas son las definiciones encontradas en la bibliografía, se definen a las malezas, basados en conceptos antropogénicos; es decir, aquellos que incluyen la interferencia que tienen con los objetivos o intereses del hombre, o bien en términos ecológicos basados en las características comunes observadas en especies que repetidamente muestran un comportamiento invasivo de las zonas cultivadas. Una de las definiciones más aceptadas es la propuesta por la Weed Science Society of America quien señala que son “Plantas que crecen en un lugar no deseado y que interfiere con los intereses del hombre” (Ross y Lembi, 2009; Burridge, 2005).

Tolerancia

La tolerancia está definida como la capacidad heredable de una especie para sobrevivir y reproducirse después de una aplicación de herbicidas. Esto implica que no hubo manipulación genética para que la planta sea tolerante (Valverde *et al.*, 2000; Cruz, 2010; WSSA, 2012).

Resistencia

La resistencia a herbicidas es definida como la capacidad hereditaria de una planta a sobrevivir y reproducirse después de ser expuesta a una dosis de herbicida que normalmente es letal para el tipo silvestre. En una planta la resistencia puede ser de forma natural o inducida por técnicas como la ingeniería genética o la selección de variantes producida por cultivo de tejidos o mutagénesis (Gressel y Segel 1982; Vidal, 1997; WSSA, 2012).

Biotipo

Es denominado al grupo de plantas de una especie que presentan identidad para un determinado carácter; como ser resistente a un determinado herbicida (Greesel, 2002; Moss, 2002).

Población

Es un conjunto de individuos de una especie de maleza que invaden un área.

2.2. Malezas resistentes a herbicidas

Historia y distribución

El primer caso de resistencia a los herbicidas (al 2,4-D) fue constatado por Hilton en 1957, sin embargo, la resistencia de las malezas a los herbicidas comenzó a ser reconocida hasta 1970, solamente después que se informó sobre el primer caso de resistencia a las triazinas en *Senecio vulgaris*. Durante varios años la resistencia a las triazinas fue el caso más notorio (Valverde, 2004).

Desde la identificación de este primer biotipo resistente el incremento anual es considerable en cuanto al número de malas hierbas resistentes a herbicidas en el mundo, experimentado un crecimiento exponencial a partir de los años ochenta (Figura 1). Este aumento en especies y biotipos, amenaza a muchas regiones agrícolas del mundo (Cruz, 2010).

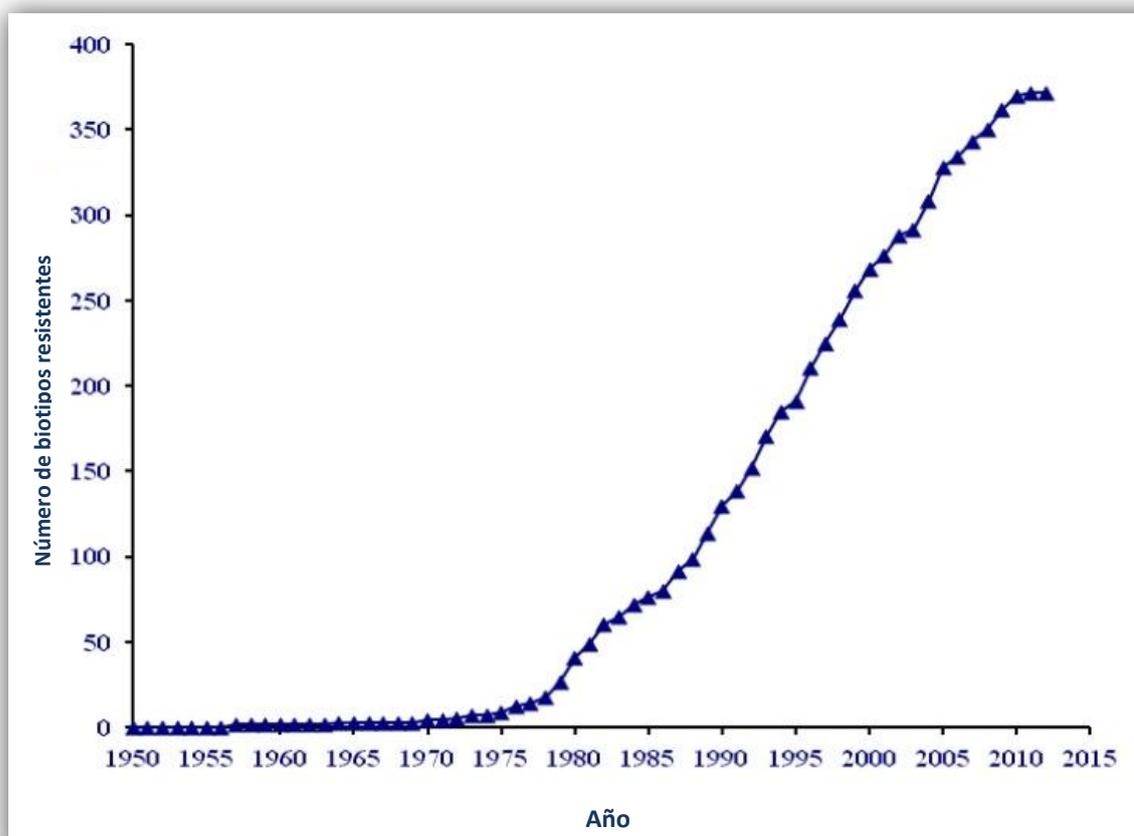


Figura 1. Incremento cronológico en el número de biotipos de malezas resistentes a herbicidas en el mundo (Modificado de Heap, 2012).

En la actualidad existen 393 biotipos de malezas resistentes a herbicidas pertenecientes a 211 especies (124 dicotiledóneas y 87 monocotiledóneas) en 61 países (Heap, 2012).

Las características de las malezas y del herbicida influyen en la tasa de evolución de la resistencia. En el caso de las malezas, las características más importantes son la frecuencia de genes, el tamaño y la viabilidad del banco de semillas del suelo y la adaptabilidad al medio. En el herbicida se deben considerar factores como eficacia, dosis, frecuencia de aplicación y persistencia en el suelo. La importancia relativa de estos factores se ha tratado de determinar mediante el uso de modelos (Gressel y Segel, 1990; Morrison y Friesen, 1996).

Los grupos más importantes de herbicidas que se ven afectados por el problema de la resistencia, por número de casos son, los inhibidores de la enzima Acetolactato Sintasa (ALS), inhibidores del Fotosistema II, Inhibidores de la enzima Acetil Co-enzima A carboxilasa (ACCase), Auxinas Sintéticas, Bipiridilos, Úreas Sustituidas, Cloroacetamidas y Glicinas (Cuadro 1).

La mayoría de los casos de resistencia a los herbicidas han ocurrido en los países desarrollados como Alemania, Australia, Brasil, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Italia e Israel (Cuadro 2), que contribuyen con el 60% de los casos de resistencia registrados (Valverde y Heap, 2010).

Los biotipos resistentes se registran la primera vez que una maleza evoluciona resistencia a uno o más herbicidas pertenecientes a un grupo específico, es decir si una maleza es resistente a los bipiridilos en tres países se registra como un único biotipo resistente; la misma especie resistente a glifosato en seis países se registra como otro biotipo resistente (Valverde y Heap, 2010).

En América Latina los herbicidas inhibidores de ALS son unos de los principales grupos a los que las malezas han evolucionado resistencia, con 16 especies confirmadas. La alta presión de selección impuesta por estos herbicidas tan eficaces y la propensión de su sitio de acción a mutar, hicieron que rápidamente aparecieran malezas resistentes (Valverde y Heap, 2010).

Cuadro 1. Biotipos de malezas resistentes a herbicidas de acuerdo con el grupo químico al que pertenece.

Grupo de herbicida	Sitio de acción	Grupo HRAC ^z	Ejemplo de herbicida	No de biotipos
Inhibidores ALS	Inhibición de la acetolactato sintasa ALS	B	Clorsulfuron	127
Inhibidores del Fotosistema II	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II	C1	Atrazina	69
Inhibidores ACCasa	Inhibición de acetil Co enzima A carboxilasa (ACCasa)	A	Diclofop-metil	42
Auxinas sintéticas	Actúa como el ácido indolacético	O	2,4-D	30
Bipiridilos	Fotosistema I	D	Paraquat	28
Glicinas	Inhibición de EPSP sintetasa	G	Glifosato	24
Ureas y Amidas	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II	C2	Clorotoluron	22
Dinitroanilinas y otros	Inhibición de microtúbulos	K1	Trifluralina	11
Tiocarbamatos y otros	Inhibición de la síntesis de lípidos	N	Trialate	8
Inhibición de POP	Inhibición de Protoporfirinógeno oxidasa	E	Oxiflourfen	6
Triazoles, ureas, isoxasolidinonas	Inhibición de la síntesis de carotenoides, (punto exacto desconocido)	F3	Amitrole	5
Cloroacetamidas y otros	Inhibición de la división celular (inhibición de ácidos grasos de cadena larga)	K3	Butaclor	4
Nitrilos y otros	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II	C3	Bromoxynil	4
Inhibidores de biosíntesis de carotenoides	Inhibición de síntesis de carotenoides	F1	Flurtamone	3
Inhibidores de la síntesis de glutamina	Inhibición de la síntesis de glutamina	H	Glufosinato de amonio	2
Ácidos ariaminopropionicos	Desconocido	Z	Flamprometil	2
Desconocido	Desconocido	Z	Cloroflurenol	2
Inhibidores de de la enzima 4-HPPD	Inhibición de la enzima 4-hidroxifenil piruvato dioxigenasa	F2	Isoxaflutole	1
Inhibidores de mitosis	Inhibidor de la mitosis, Inhibidor de la polimerización de microtúbulos.	K2	Propam	1
Inhibidores de la síntesis de celulosa	Inhibición de la síntesis de pared celular.	L	Diclobenil	1
Organoarsenicales	Desconocido	Z	MSMA	1
Número total de biotipos resistentes a herbicidas				393

^z Clasificación de los herbicidas según el *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC).
www.weedscience.com

La resistencia a inhibidores de ALS ha ocurrido en cereales, rotaciones de maíz/soya (*Glycine máxima* L.), arroz (*Oriza sativa* L.), bordes de carretera y plantaciones forestales (Valverde y Heap, 2010).

Existen cinco grupos de herbicidas que inhiben la ALS que son: Sulfonilureas, Imidazolinonas, Triazolpirimidinas, Pirimidinil-tiobenzoantos y Sulfonil-amino-carbonil-triazolinonas (Domínguez, 2010).

Cuadro 2. Biotipos de malezas resistentes a herbicidas por país.

País	No	País	No	País	No	País	No
USA	140	Chile	14	Noruega	5	Fiji	1
Austria	61	Polonia	14	Tailandia	5	Guatemala	1
Canadá	55	Sudáfrica	14	Bulgaria	4	Honduras	1
Francia	33	Suiza	14	Dinamarca	3	Uruguay	1
España	33	Corea del sur	12	India	3	Indonesia	1
Brasil	27	Irán	11	Filipinas	3	Irlanda	1
Israel	27	Nueva Zelanda	10	Portugal	3	Kenia	1
Alemania	26	Argentina	9	Australia	2	Nicaragua	1
Italia	26	Venezuela	9	Paraguay	2	Panamá	1
China	24	Bolivia	7	Sri Lanka	2	Arabia saudita	1
Reino Unido	24	Grecia	7	Suecia	2	Eslovenia	1
Bélgica	18	Países bajos	7	Chipre	1	Taiwán	1
Japón	18	Colombia	6	Ecuador	1	Túnez	1
Malasia	17	Yugoslavia	6	Egipto	1		
República Checa	16	Costa rica	5	El salvador	1		
Turquía	15	México	5	Etiopía	1		

^z www.weedsience.com

Sulfonilureas

Historia y descripción de las Sulfonilureas

El descubrimiento de los herbicidas Sulfonilureas comenzó una nueva era en el control de malezas. En 1975 el investigador George Levitt, descubrió las Sulfonilureas, una familia de herbicidas con gran eficacia a dosis extremadamente bajas, gran selectividad a diversos cultivos y baja toxicidad para mamíferos, las convirtió en uno de los grupos más importantes de herbicidas en el mercado (Valverde y Heap, 2010).

Esta familia de herbicidas actúa inhibiendo la enzima Acetolactato sintetasa (ALS), que es esencial para el crecimiento de las plantas. Controlan un amplio rango de malezas gramíneas y de hoja ancha, siendo selectivas para los cultivos como arroz, trigo, cebada, soya y maíz, los cuales tienen la capacidad

de metabolizarlas y detoxificarse. Además, este tipo de herbicidas es considerado seguro para los animales y humanos ya que ambos carecen de la enzima blanca de las Sulfonilureas (Carriquiry y Ríos, 2007).

Cuando las primeras Sulfonilureas fueron probadas en experimentos de campo, las dosis iniciales eran en el entorno de 300 g, no se tenían antecedentes de tan alto potencial de control a tan bajas dosis. Así fue que, se llegó a instalar un experimento donde la dosis se multiplicó por 100, ya que no existían antecedentes de herbicidas que se aplicaran en g/ha. A dos años de las aplicaciones, no crecían malezas en las parcelas del ensayo, a pesar de que la vida media de los herbicidas es de 6 a 8 semanas (Bhardawaj, 2007).

La molécula básica de las sulfonilureas consiste en tres partes: un grupo aryl, el puente sulfonilurea y un anillo heterocíclico que contiene nitrógeno (Hay, 1990). Cada una de estas partes tiene un rol importante en determinar el efecto final del herbicida (Figura 2).

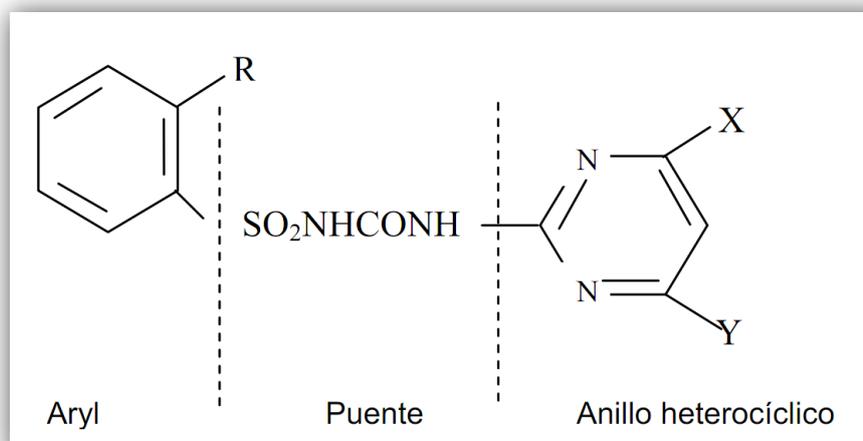


Figura 2 Estructura química de las sulfonilureas (Tomado de Hay, 1990)

Cada uno de los tres componentes puede ser modificado de forma de obtener una mayor actividad herbicida, es decir que utilizando menos cantidad de la sulfonilurea se logre un porcentaje de control de malezas aceptable.

Este tipo de herbicidas pueden ser absorbidos tanto por raíces como por follaje y las plantas pueden traslocar a estos herbicidas tanto por el xilema como por el floema (Dastghelb *et al*, 1993).

Modo y sitio de acción

Las sulfonilureas son herbicidas inhibidores de la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada, el mecanismo de acción de esta familia es inhibiendo la actividad de la enzima acetolactato sintetasa (ALS). La ALS es la primera enzima y la fundamental en la biosíntesis de valina, leucina e isoleucina, que son los amino ácidos esenciales para el crecimiento normal de las plantas y bacterias, se localizan en el cloroplasto y es un gen nuclear el que lo codifica (Read y Cobb, 2002).

Al inhibirse la síntesis de valina, leucina e isoleucina en las plantas, se produce un rápido descenso de la cantidad de estos tres aminoácidos que podría traducirse en una menor síntesis de proteínas. Esta menor tasa de síntesis de proteínas, puede causar un retraso en la tasa de división celular y eventualmente la muerte de la célula (Carriquiry y Ríos, 2007).

Síntomas de daño

A los pocos días de aplicar sulfonilureas se observa falta de vigor y varias semanas después del tratamiento las plantas toman un color rojizo púrpura, manifestándose luego clorosis y necrosis. Dichos síntomas progresan desde las zonas más jóvenes hasta las más viejas (Domínguez, 2010.; García y Fernández, 1991).

Resistencia de las Sulfonilureas

Los primeros casos de resistencia a las Sulfonilureas se presentaron en Norte América, en condiciones de monocultivo. Actualmente es común encontrar malezas resistentes en rotación de cultivos, en especial si los herbicidas inhibidores de la ALS se aplican en monocultivos. Los casos de resistencia a este grupo de herbicidas es el que más ha aumentado rápidamente en las últimas décadas (Figura 3), ocupando más de 30 % del total de biotipos resistentes (Heap, 2012).

El mecanismo responsable de la resistencia en ALS es la *alteración del sitio de acción*, a una o varias mutaciones en la secuencia aminoacídica del sitio primario de acción, situación que resulta en una pérdida de afinidad del herbicida, imposibilitando la continuidad del proceso tóxico del herbicida.

Las mutaciones en ALS que confieren resistencia a los herbicidas son al menos parcialmente dominantes, porque el gen que las codifica es de origen nuclear y se pueden dar en las siguientes posiciones: alanina 122, prolina 197, alanina 205, triptofano 574, serina 653 y aspartato 376, además se transmite por semilla y polen (Gressel, 2002, Tranel y Wrightb, 2002 y Cruz, 2010).

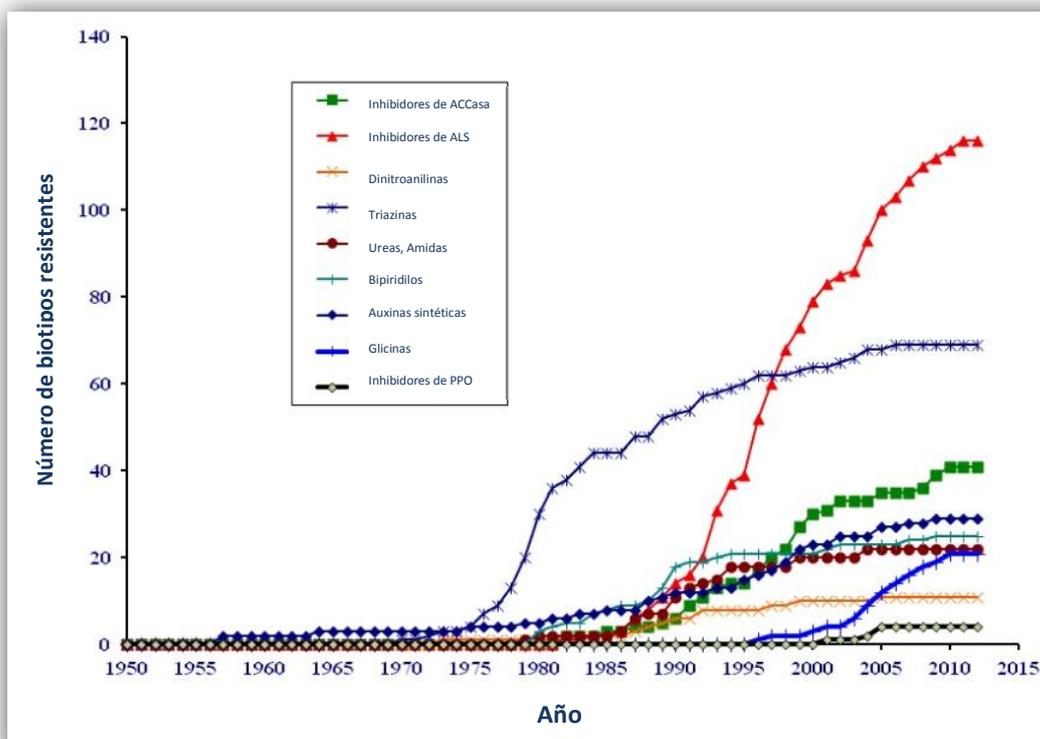


Figura 3. Incremento cronológico en el número de malezas resistentes a herbicidas pertenecientes a distintos grupos (Modificado de Heap 2012).

Algunos de los primeros reportes de mutación de los genes de ALS presentan la sustitución de aminoácidos (Gutieri *et al.*, 1995), desde entonces se han documentado 24 cambios de aminoácidos en diez sitios diferentes en la secuencia de aminoácidos de ALS que pueden conferir resistencia (Falco *et al.*, 1989, citado por Saari y Maxwell, 1997), esta propensión se relaciona con la frecuencia con que el gene nuclear que codifica la enzima puede mutar, la cual se estima alrededor de 10^{-6} , y a la posibilidad de que distintas mutaciones semidominantes, pero funcionalmente dominantes en condiciones de campo, puedan alterar el sitio de acople del herbicida en la enzima y confieran resistencia (Delye *et al.*, 2009; Laplante *et al.*, 2009; Tranel y Wright, 2002; Gressel, 2002). Así, para el año 2010, el crecimiento exponencial del número de casos de resistencia fue muy notoria, superando el centenar y

abarcando 36 países, entre los que destacan los EE.UU. con 43 casos, Australia y Canadá con 20 cada uno (Heap, 2012).

2.3. Características del herbicida

Propiedades físicas y químicas

A continuación se muestra las propiedades más destacadas del herbicida (WSSA, 2002), utilizado en este trabajo (Figura 4).

NOMBRE COMUN	Nicosulfuron
IUPAC	2-(4,6-dimetoxipiridin-2-ilcarbamil sulfamil)- <i>N,N</i> -dimetilnicotinamida
CAS	2-[[[(4,6-dimethoxy-2-pyrimidinyl)amino]carbonyl]amino]sulfonyl]- <i>N,N</i> -dimethyl-3-pyridinecarboxamide
REG.NO	111991-09-4.
FORMULA	$C_{15}H_{18}N_6O_6S$
PESO MOLECULAR	410.4

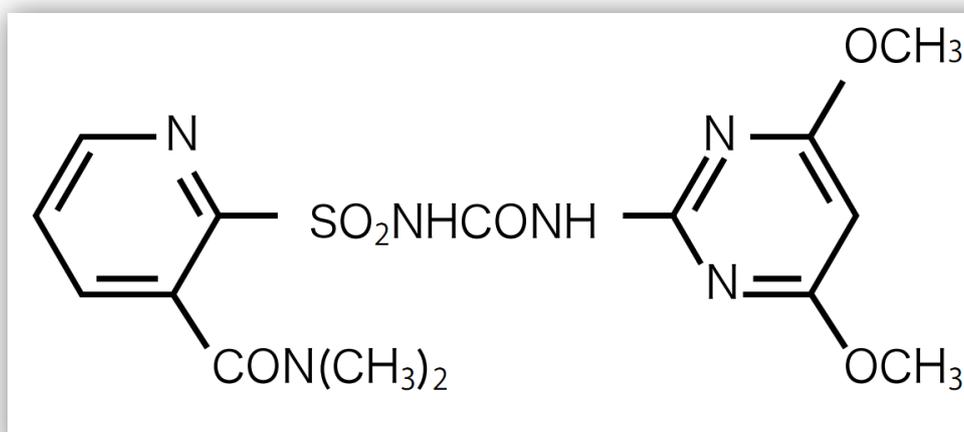


Figura 4. Estructura química del Nicosulfuron

Modo de acción

Nicosulfuron es un herbicida inhibidor de la enzima Acetolactato sintetasa (ALS), que resulta en el bloqueo de la síntesis de los aminoácidos: valina, leucina e isoleucina, que son vitales para el proceso de división celular. Actúa rápidamente luego de la aplicación, deteniendo el crecimiento de las malezas susceptibles.

Mecanismo de acción

La reacción que se inhibe es la descarboxilación del piruvato, la cual es catalizada por la ALS (Figura 5). El piruvato es el precursor de los aminoácidos de cadena ramificada, pero se desconoce el sitio de unión del herbicida con la enzima (Cruz, 2010).

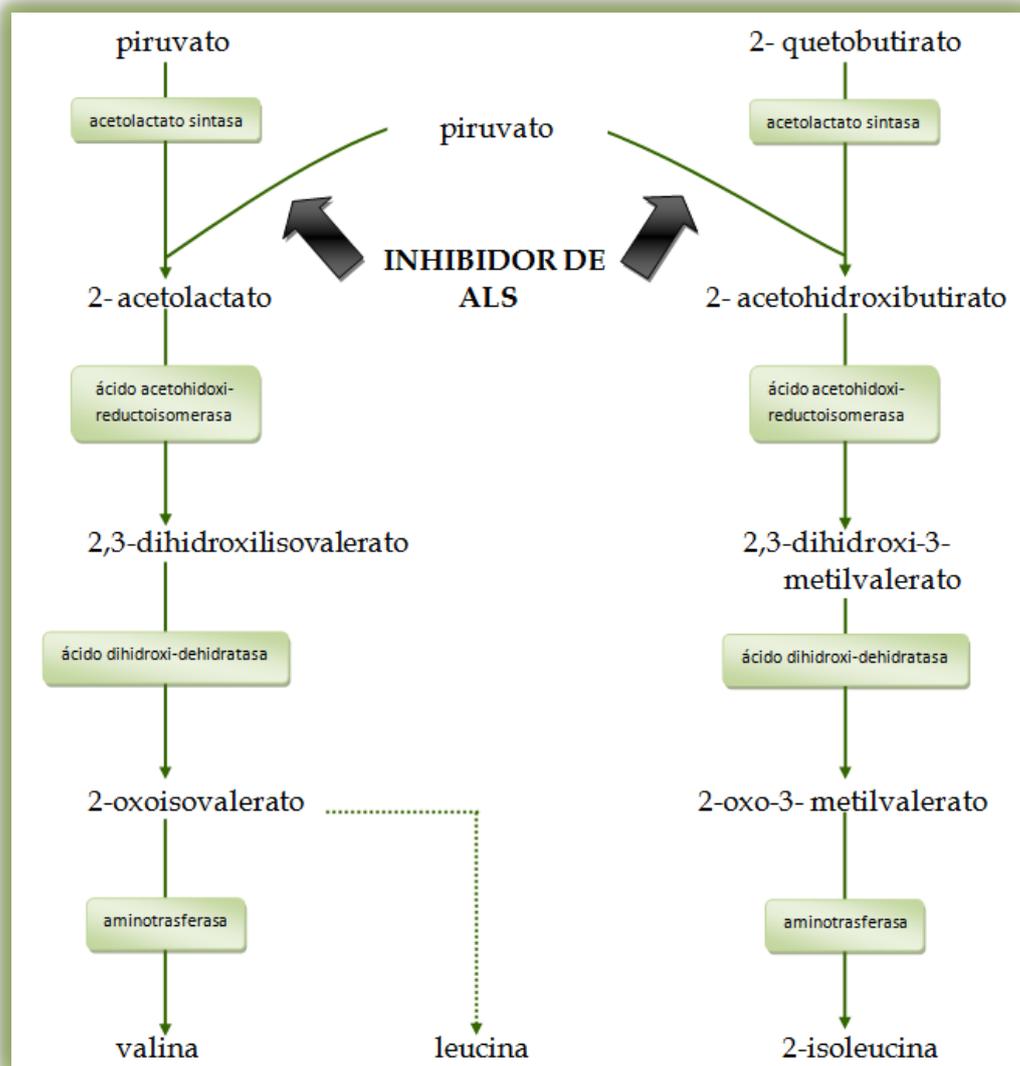


Figura 5. Biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada, indicando el punto en el cual actúa el herbicida (Tomado de Reade y Cobb, 2002).

Sitio de acción

El nicosulfuron inhibe la enzima Acetolactato sintasa en los cloroplastos de las plantas susceptibles (Reade y Cobb, 2002).

Usos

Nicosulfuron se usa principalmente para el control de gramíneas anuales y perennes en el cultivo de maíz, puede ser aplicado en post emergencia, a la maleza y al cultivo (Domínguez, 2010).

Absorción y translocación

El nicosulfuron se absorbe rápidamente por el follaje y la raíz de las plantas, penetra al sistema vascular y se transloca a los meristemos por el xilema y floema.

Sintomatología

Inhibe el crecimiento de las plantas a las pocas horas de aplicación y los primeros síntomas aparecen una o dos semanas después, los puntos meristemáticos se vuelven cloróticos y luego se necrosan, posteriormente se observa una clorosis general y termina con el necrosamiento completo de la planta (WSSA, 2002). Aunque la inhibición del crecimiento ocurre rápidamente, las plantas pueden tardar días en mostrar los síntomas físicos y entre diez días y dos semanas para morir (Reade y Cobb, 2002).

2.4. Características de *Sorghum halepense* (L.)Pers.

El zacate Johnson es considerada como una de las diez malezas más dañinas en climas tropicales a nivel mundial, afecta a más de 30 cultivos en 53 países (Holm, *et al.*, 1977).

Las pérdidas ocasionadas por esta especie en el cultivo de soya en Estados Unidos y Argentina, indican que una leve infestación reduce de 5 a 10% el rendimiento; una infestación media un 25%; una infestación alta reduce la producción de 80 a 90% (Cruz, 2002).

La habilidad del zacate Johnson de persistir y competir con los cultivos se debe a su sistema vigoroso de rizomas, aunque la semilla es el principal medio de dispersión. Cuando las semillas maduran son fácilmente liberadas y pueden ser acarreadas a cortas distancias por el viento o agua de lluvia, y a grandes distancias en canales de agua para riego, siendo un mecanismo de infestación de nuevos sitios; es decir, donde no había registro de su presencia (USDA, 2012).

Taxonomía

De acuerdo con Robles (1982), la taxonomía de zacate Johnson es la siguiente.

Reino:	Vegetal
Subreino:	Embriophyta
División:	Tracheophyta
Sub-división:	Pteropsidae
Clase:	Angiospermae
Subclase:	Monocotiledoneae
Grupo:	Glumifora
Orden:	Graminales
Familia:	Poaceae
Sub- familia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	<i>Sorghum</i>
Especie:	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.

Origen y distribución geográfica

El zacate Johnson es originario del sur de Europa y Asia (la región de Alepo, en Siria), fue traída de Turquía a Estados Unidos como planta forrajera por el gobernador Means de Carolina del Sur, en 1830. Unos diez años después fueron sembradas semillas de esta planta por el coronel William Johnson en sus plantaciones de las tierras fértiles del río de Alabama. Después de cultivarse extensamente para forraje en todo el sur de Estados Unidos, la planta se naturalizó por completo y se ha diseminado hacia el norte hasta los estados de Nueva Jersey, Pensilvania, Missouri, Iowa, Kansas y a lo largo de toda la costa oeste, a través de California hasta Oregon y Washington. Aunque esta maleza procede de climas cálidos, se ha adaptado a condiciones muy variadas, incluyendo las templadas (Robbins *et al.*, 1965).

Distribución en México

En México se encuentra ampliamente distribuido, se ha registrado en Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero,

Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Identificación y descripción

Es una planta perenne, rizomatosa con una altura de hasta 1.50 m, presenta tallo: de 0.5-1.5 m, más cortos en sitios secos o desfavorables, nudos sin ornamentación o con pelos finos, erecto, hueco, con hojas líguladas en forma de membrana truncada, ciliada; láminas foliares hasta de 50 cm de longitud, de (0.8) 1.5 a 3.0 cm de ancho, lineares, con tricomas, la inflorescencia es una panícula hasta de 50 cm de longitud, abierta y libremente ramificada, oblonga u oval, sus ramas ascendentes, las más largas de 7-14 cm de longitud, tiene espiguillas sésiles perfectas, de 4.5 a 5.5 mm de longitud, sin arista o con una delicada, doblada, fácilmente caediza, glumas de la espiguilla sésil anchas, coriáceas, sin nervaduras, brillantes excepto en las puntas, con pelos al menos en los márgenes, del tamaño de la espiguilla; lema y palea delgadas y transparentes, ligeramente menores que las glumas, arista de la lema (de estar presente), de 1 a 1.5 cm de longitud, con la base espiralada, geniculadas (dobladadas); espiguilla pedicelada de 5-7 mm de longitud, usualmente estaminada, sin arista, lanceolada, más angosta que la espiguilla fértil, las glumas con nervaduras más prominente. El fruto está oculto por las glumas; grano de 2 a 3 mm de longitud, cuenta con extensos rizomas horizontales, estoloniformes, largos e invasores (USDA, 2012; Rzedowski y Rzedowski, 2001 y Marzocca, 1976).

Hábitat

El zacate Johnson es una planta ruderal y arvense, se encuentra altamente distribuido en selva baja caducifolia, pastizales, matorrales xerófilos y zonas áridas en general, bosque de pino-encino. Se puede localizar desde los 0 hasta 2300 msnm, prefiere los suelos fértiles y húmedos.

Para el crecimiento y desarrollo de la parte aérea, raíces y rizomas, la temperatura óptima es de 32°C, y para la formación del tejido rizomático oscila entre 1 y 40°C (Horowitz, 1972). Para la germinación a través de rizomas la temperatura oscila entre 18 y 30°C, la muerte de los rizomas se presenta a los -

9°C, logrando sobrevivir si están a una profundidad mayor o igual a 20 cm de la superficie del suelo (Stoller, 1977).

Biología y ecología

El zacate Johnson es una planta perene de fácil reproducción por vía sexual o a través de rizomas. Las peores infestaciones tienden a encontrarse en terrenos periódicamente inundados, como es el caso del Delta del Río Mississippi, en los Estados Unidos, pues el agua es un mecanismo de diseminación de las semillas. En un kilogramo de semillas se pueden encontrar hasta 250,000 de estas; en una hectárea altamente infestada se producen hasta 220 kilogramos de semillas, tan solo en una temporada. Una planta produce de 3,000 a 80,000 semillas, dependiendo si se considera una “planta”, un culmo o todos los culmos emergidos a partir de un sistema rizomático (Cruz, 2002).

Después de la maduración, las semillas presentan un cierto letargo, que en parte es debido a una restricción mecánica, causada por las glumas adheridas (Cruz, 2002). El grado de letargo está influenciado por las condiciones ambientales durante la maduración, con gran nivel de germinación en semillas que maduran en condiciones de estrés por sequía (Benech *et al.*, 1992).

Las plantas de zacate Johnson que provienen de semillas, originan un mayor número de rizomas, los cuales son de mayor longitud y con mayor número de yemas que los que se originan de plantas que provienen de rizomas (Castro, 1979).

Las plantas de zacate Johnson empiezan a emitir rizomas a la tercera semana de edad, la floración empieza a partir de los 47 días. Antes de la floración, el crecimiento de hojas es rápido y el crecimiento de rizomas lento; sin embargo, después de la floración el número de rizomas se incrementa rápidamente y el crecimiento de hojas es lento (McWhorter, 1981).

McWhorter y Jordan (1976) mencionan que el máximo crecimiento y desarrollo del zacate Johnson se obtuvo después de doce semanas, cuando se mantuvo a una temperatura de 32°C con una iluminación de 19 klux; además, el desarrollo de raíz y rizoma fue directamente proporcional a la intensidad de luz.

El zacate Johnson presenta inhibidores alelopáticos tanto en la parte aérea como en sus rizomas, característica que favorecen su habilidad competitiva. Dentro de estos inhibidores se encuentra la diurrina, el cual es un compuesto cianogénico que al ser ingerido por los animales les causa una toxicidad media o grave, llegando a provocarles la muerte (Cruz, 2002).

Plagas, enfermedades y enemigos naturales

Como daños indirectos, el zacate Johnson es hospedante de muchos insectos plaga y patógenos que infestan a las plantas cultivadas, las más importantes son las mosca midge (*Stenodiplosis sorghicola*), la chicharrita (*Graminella nigriformis*), el hongo causante del añublo del arroz (*Pyricularia oryzae*), a la mosca de la panoja (*Contarina sorghicola*) y al cornezuelo del sorgo (*Claviceps africana*). También es hospedera alternante de *Botryosphaeria sp.* y *Puccinia purpurea*, de mosaico en caña, mosaico enano del maíz, amarillamiento en la remolacha y rayado del trigo (Echemendia, 2005).

Impacto e importancia

El zacate Johnson reduce la cantidad y calidad de las cosechas donde se reporta como maleza, se encuentra infestando en los cultivos de agave, aguacate, ajonjolí, alfalfa, algodón, arroz, avena, cacahuate, café, calabaza, caña, cebolla, chile, cítricos, estropajo, frijol, frutales, garbanzo, hortalizas, lenteja, leguminosas forrajeras, maíz, mango, melón, nogal, nopal, plantas ornamentales, papa, papaya, pepino, plátano, potreros, sandía, sorgo, soya, tomate, tomate (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Manejo y Control

Prevención

La prevención de la dispersión de las semillas y la producción de rizomas es una medida importante para evitar altas infestaciones de zacate Johnson. Las semillas normalmente se dispersan con el viento, el agua, los animales y las semillas de cultivo contaminadas, por lo que el corte de las plantas al inicio de la floración en las márgenes de los campos, canales y áreas de cultivo, así como evitando el pastoreo animal en las áreas infestadas, ayudan a prevenir

reinfestaciones (Labrada, 2004). Deben extremarse las mediadas preventivas, cuidando el uso de semilla pura y la limpieza de la maquinaria agrícola.

Control cultural

Cuando la invasión se presenta en forma de manchones, se debe evitar pasar la rastra de dientes que fracciona los rizomas y los difunde en mayor extensión; si es posible se deben extraer todas las plantas a pala o se delimitará el manchón y se le controlará con herbicidas. El barbecho de verano alternado con cultivos invernales, durante varios años consecutivos, constituye un buen programa de control (Labrada, 2004).

Control mecánico

La infestación del zacate Johnson puede reducirse exponiendo los rizomas a la superficie del suelo para facilitar su desecación por los rayos solares, lo cual es factible de realizar con un cultivador dentado durante el proceso de la preparación del terreno (Crovetto y Rojo 1957; Labrada *et al.* 1982). La desecación de los rizomas puede ser acelerada si éstos se fraccionan en trozos de menos de 5 cm de longitud. Los rizomas secos hasta un 20% de su peso original pierden completamente su habilidad regenerativa (Anderson *et al.*, 1960). En huertos de árboles frutales el corte regular de los tallos, cuando se hallan a una altura de 20-25 cm, tiende a consumir las reservas de nutrientes de los rizomas y limita ulteriormente la producción de los propágulos (Labrada, 2004). Esta práctica se recomienda cuando existen las condiciones desfavorables para el crecimiento de la maleza (sequia o bajas temperaturas); sin embargo debe formar parte de un programa de control.

Control químico

El zacate Johnson no es fácilmente controlado por los herbicidas, pero algunos compuestos sistémicos, aplicados foliarmente pueden ser efectivos, el glifosato es útil en tratamiento de pre-plantación, aplicado sobre el follaje bien desarrollado de la maleza, a las 2-3 semanas antes de la siembra (Labrada, 2004).

En cultivos anuales se utiliza metolaclor en sorgo, fenoxaprop. Fluazifop, haloxifop, iamazaquin, imazetapir, setoxidim trifluralina y quizalafop en soya, haloxifop, fluometuron y diuron en algodónero y mezclas de propanil y tiobencarb en arroz (Frans *et al.*, 1991).

El herbicida más empleado es el nicosulfuron aplicado en pos emergencia a la maleza y al cultivo, se utiliza en siembra de maíz y en frutales en producción. Se pueden utilizar herbicidas pre emergentes como alaclor y trifluralina.

Situación legal en otros países

Dado a su carácter invasor, se le declaró en Argentina plaga de la agricultura nacional, prohibiéndose su cultivo. También fue prohibida la venta de semillas de *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf y de *S. saccharatum* (L.) Moench. que contengan semillas de "sorgo de alepo". Está restringido y declarado maleza nociva en muchos estados de E.U.A. y en otras partes del mundo (USDA, 2012).

Estatus de resistencia

El zacate Johnson ha presentado resistencia en 7 países con 17 biotipos pertenecientes a seis grupos de herbicidas diferentes (Cuadro 3).

En México esta maleza a desarrollado resistencia para el Grupo B / 2 en el 2009 en el cultivo de maíz. El grupo B / 2 de herbicidas son conocidos como inhibidores de ALS (Cuadro 4). Los estudios sobre el mecanismo de resistencia del Grupo B / 2 en zacate Johnson resistente en México indican que la resistencia es debida a una alteración del *sitio de acción*. La base genética de la resistencia de este biotipo es desconocido (Heap, 2012).

Cuadro 3. Biotipos de zacate Johnson resistentes a herbicidas

No.	País	Año	Sitio de acción
1	Argentina	2005	Glicinas (G/9)*
2	Grecia	2005	Inhibidores de ACCasa (A/1)
3	Israel	2006	Inhibidores de ACCasa (A/1)
4	Italia	2006	Inhibidores de ACCasa (A/1)
5	México	2009	Inhibidor de ALS (B/2)
6	USA (Mississippi)	1991	Inhibidores de ACCasa (A/1)
7	Usa (Kentuky)	1991	Inhibidores de ACCasa (A/1)
8	USA (Mississippi)	1992	Dinitroanilinas y otros (K1/3)
9	USA (Tennessee)	1995	Inhibidores de ACCasa (A/1)
10	USA (Virginia)	1995	Inhibidores de ACCasa (A/1)
11	USA (Lousiana)	1997	Inhibidores de ACCasa (A/1)
12	USA (Texas)	2000	Inhibidor de ALS (B/2)
13	USA (Indiana)	2005	Inhibidor de ALS (B/2)
14	USA (Arkansas)	2007	Glicinas (G/9)
15	USA(Mississippi)	2008	Glicinas (G/9)
16	USA(Lousiana)	2010	Glicinas (G/9)
17	Venezuela	2010	Inhibidor de ALS (B/2)

(Tomado de Heap, 2012).

Clasificación de los herbicidas según el *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC)
www.weedscience.com

Hasta la fecha; no hay ningún registro de que existan diferencias en la aptitud o la competitividad de estos biotipos resistentes en comparación con el de biotipos susceptibles.

Cuadro 4. Ubicación y estadísticas de biotipos resistentes a herbicidas de *S. halepenses* L. en México (Heap, 2012).

Datos Generales	Maleza
Nombre Común	Zacate Johnson
Especie	<i>Sorghum halepense</i>
Grupo	ALS inhibitors (B/2)
Herbicidas	foramsulfuron, nicosulfuron, primisulfuron-methyl, y rimsulfuron
Ubicación	México, Veracruz
Año	2009
Situación	Maíz
Sitios	501-1000
Ha infestadas	10001-100000
Contribuidor	J. Antonio Tafoya-Razo

www.weedscience.com

2.5. Bioensayos de dosis respuesta

Uno de los métodos de detección más empleado se basa en medir las diferencias de desarrollo en plantas que fueron expuestas a diferentes dosis de uno o varios herbicidas (ensayos de dosis-respuesta). La finalidad de estos ensayos es la determinación de los factores de resistencia, o lo que es lo mismo, cuántas veces es más resistente un determinado biotipo comparado con uno sensible. Dependiendo de los mecanismos involucrados en la resistencia, su valor puede oscilar desde algo más que la unidad a varios cientos o miles de veces (Cruz, 2010).

Los bioensayos con plantas enteras son los más usados para detectar poblaciones de maleza resistente (Heap, 2010). Comprende el manejo de plantas provenientes de las semillas colectadas en campos donde se sospecha la existencia de resistencia y son tratadas en un rango de dosis de herbicida. Un componente esencial en los bioensayos es tener una población susceptible adecuada como referencia, proveniente de un lugar cuyo uso de herbicidas sea nulo o limitado (Espinoza *et al.*, 2010).

Prospección

La prospección es el paso inicial para el estudio de la tolerancia o resistencia de las plantas a los herbicidas y consiste en la cosecha y recolección de semillas en campo, para estudiarlos posteriormente en el laboratorio. Generalmente para los científicos; el hallazgo de cierta sospecha de resistencia causa preocupación, junto a ellos los técnicos de campo o los agricultores, siendo un hecho que no desean jamás.

La recolección en campo juega un papel importante para que los resultados sean fiables. La prospección es aconsejable cuando los herbicidas han fallado en la eficacia por más de una campaña. Cuando se realiza la prospección en campos durante el primer año, al estudiarlos en laboratorio y hacer las pruebas preliminares correspondientes, puede resultar que los individuos sean sensibles y las causas de tal efecto sean consecuencia de una mala aplicación, época inadecuada de aspersión del herbicida, dosis sub-letales, inclusive a la calidad del agua de aplicación; en el cual éstos factores juegan un papel importante (Cruz, 2010).

Observación en campo

Es importante realizar una rigurosa observación en campo para evaluar la eficacia de los herbicidas, esta es la forma más viable de detección del desarrollo de la resistencia. Sin embargo, la poca efectividad de un herbicida puede ser ocasionado por otros factores en los que destacan:

- a) Aplicación del herbicida (Dosis inapropiadas o momento inoportuno; mala aspersión, calidad del agua, etc.).
- b) Condiciones del suelo (humedad, adsorción)
- c) Condiciones climáticas (pluviometría; temperatura, humedad relativa).
- d) Factor de las malezas (altura de la maleza, germinación sucesiva, niveles altos de infestación).

Recolección de las semillas

La fiabilidad de resultados basados en ensayos de plantas es en gran parte dependiente de la calidad de las muestras de semilla donde son producidas. Una baja calidad de semillas podrían tener un bajo porcentaje de germinación o producir plantas con bajo vigor y por consiguiente una respuesta variable a la aplicación de herbicidas (Cruz, 2010). Dentro de las medidas a tomar en cuenta en la prospección, se tienen:

- a) Recolectar las semillas cuando la mayoría están maduras. La recolección muy temprana o demasiado tardía es muy probable tener muestras con baja viabilidad.
- b) Recoger las semillas maduras con cuidado frotando la inflorescencia sobre una bolsa o bandeja.
- c) Recolectar en un área de al menos 100 m de longitud por 50 m de ancho, en donde se haya observado el problema, a no ser que la tolerancia/resistencia sea limitada a uno o varias áreas aisladas pequeñas dentro de una finca, por ejemplo cercana a la zona de riego.
- d) Evitar áreas que no hayan sido tratadas (solo biotipo sospechoso). La muestra tiene que ser representativa del campo donde se haya observado el problema o el área donde se sospecha.
- e) Recolectar semillas de muchas inflorescencias de individuos distintos.

f) Cosechar semillas de áreas alledañas en donde nunca se hayan aplicado herbicidas, para que sirva de control o testigo.

Establecimiento del bioensayo

Los maceteros deben tener las profundidades suficientes para que las plantas crezcan normalmente. El suelo debe fertilizarse para obtener plantas vigorosas y sanas. Las plantas deben ser uniformes en tamaño y desarrollo, debe mantenerse en condiciones adecuadas de iluminación y temperatura.

Las semillas pueden pre-germinarse, la principal ventaja de ocupar este tipo de semillas son los siguientes: seguridad en el número de plantas a colocar por maceta y uniformidad en el desarrollo de la planta (Espinoza *et al*, 2010).

Aplicación de herbicidas y evaluación

Los herbicidas se aplican a las plantas empleando una cabina de aspersión u otro tipo de aspersor debidamente calibrado. Los herbicidas pos-emergentes son aplicados en malezas gramíneas en estado de 2 a 4 hojas. Cuando se emplea un rango de dosis es conveniente aplicar cada una en orden ascendente. Después de la aplicación se debe evitar el riego por lo menos 48 h.

Las plantas deben observarse periódicamente para detectar y caracterizar los síntomas fitotóxicos y comparar el crecimiento de las tratadas y no tratadas de la población susceptible y la supuesta resistente. Idealmente el corte del follaje de las plantas para determinar el peso fresco debe realizarse en un periodo de 3 a 4 semanas, suficiente tiempo para que la acción de los herbicidas se exprese plenamente en la población susceptible (Espinoza *et al.*, 2010; Cruz, 2010).

La magnitud de resistencia usualmente se calcula con cualquier programa estadístico que genere I_{50} o LD_{50} (Inhibición del 50% de crecimiento o dosis letal para el 50% de la población).

El uso de I_{95} o LD_{95} son más importantes para los cálculos agronómicos, pero son más difíciles de calcular (Gressel, 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio de colecta de los biotipos

Cd. Isla es uno de los 212 municipios del estado de Veracruz. Se localiza en la región de Las Selvas. Limita al Norte con Tacotalpa y Santiago Tuxtla; al Este con Hueyapan de Ocampo y Juan Rodríguez Clara; al Sur con Playa Vicente y al Oeste con José Azueta (García, 1988).

Se encuentra ubicado en la zona sur del Estado, en las coordenadas 18°02' de latitud Norte y 95°32' de longitud Oeste, a una altura de 60 metros sobre el nivel del mar. Su distancia aproximada al Sureste de la capital del Estado por carretera es de 370 Km.

Orografía

El municipio se encuentra ubicado dentro de las llanuras del sotavento, por lo que su suelo es plano con algunos lomeríos de poca altura hacia el sur.

Clima

Su clima es cálido-húmedo con una temperatura promedio de 24.9° C.; su precipitación pluvial media anual es de 2,316 milímetros.

3.2. Conducción de los bioensayos

Se realizaron tres experimentos con los cinco biotipos sospechosos de resistencia en fechas y etapas fenológicas diferentes. En todos los experimentos se mantuvieron constantes el tipo de suelo, dosis de aplicación y fertilizantes aplicados.

Recolección de semilla

Las semillas de los biotipos con sospecha de resistencia fueron colectadas en el ejido Arenal Oro Verde del municipio de Ciudad Isla Veracruz, en donde los productores comentan que por más de diez años han usado nicosulfuron para el control de zacate Johnson. La colecta se realizó en el mes de abril de 2011, en lotes de producción de maíz (Cuadro 5), en tanto que el biotipo susceptible fue colectado en Ciudad Cardel, Veracruz.

Cuadro 5 Ubicación geográfica de los biotipos sospechosos de resistencia a herbicidas utilizados para este estudio.

Biotipo	Coordenadas geográficas
Testigo	Colectado en Ciudad Cardel, Veracruz.
1	N 17° 59' 31.1'' W 95° 40' 00.1''
2	N 17° 59' 43.5'' W 95° 40' 03.7''
3	N 18° 00' 26.7'' W 95° 40' 22.4''
4	N 18° 00' 31.5'' W 95° 40' 17.3''
5	N 17° 59' 57.4'' W 95° 39' 46.0''

Las semillas colectada se colocaron al sol para eliminar la humedad del campo, posteriormente se pasó por tamices para eliminar paja y basura grande, despues, se guardaron en bolsas de papel adecuadamente etiquetadas con nombre del productor, fecha, coordenadas geográficas y se almacenó en un lugar fresco y seco.

Lugar de establecimiento

Los bioensayos se condujeron en el invernadero del Área de Malezas del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo , Estado de México, que está situado a los 19° 29' de latitud Norte y 98° 53' de longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2250 m (García, 1988).

Germinación de semillas, transplante y establecimiento.

Para obtener una uniformidad en plántulas, se pre-germinaron semillas en charolas de polietileno de 338 cavidades (Cuadro 7), en condiciones de invernadero con temperaturas promedio de 38° y 5° C día/noche, respectivamente.

Las semillas fueron escarificadas pasándolas por una trilladora manual para eliminar todas las partes de las glumas, lemas y palea que protegen la semilla y fueron tratadas con el fungicida metalaxil para prevenir infección de carbonos y tizón foliar.

Cuadro 6. Calendario de fechas de labores de las tres siembras.

Labores	Experimento		
	1	2	3
Siembra	01 y 02 feb	12-abr	12-abr
Germinación	09-feb	16-abr	16-abr
Llenado de macetas	13-feb	20-abr	23-abr
Trasplante	14-feb	21-abr	23-abr
Aplicación de herbicida	07-mar	15-may	06-may
1 observación visual	14-mar	22-may	14-may
2 observación visual	21-mar	29-may	21-may
3 observación visual	28-mar	05-jun	28-may
Peso fresco	28-mar	05-jun	28-may

Cuando las plántulas alcanzaron una altura de 5–7 cm, estas fueron transplantadas en macetas de plástico con capacidad de un litro, ubicando 9 plantas por maceta. El trasplante, en el segundo experimento se realizó en macetas de plástico de 250 ml situando una planta por maceta. Una vez establecidas las plántulas, el suelo se mantuvo a capacidad de campo mediante aplicaciones continuas de riego (Figura 6).

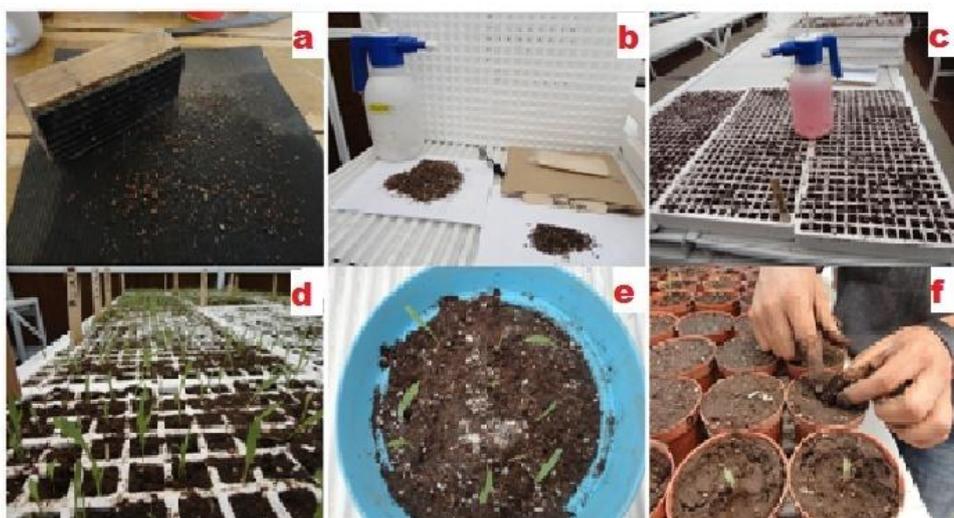


Figura 6. Metodología para el trasplante. a) Limpieza de semilla con la trilladora manual, b) material para la siembra, c) Charolas sembradas, d) germinación de *S. halepense* (L), e) trasplante a maceta de 6", f) trasplante a maceta de 250ml.

3.3. Diseño experimental

Los tratamientos se alojaron bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones para los experimento uno y dos, para el experimento tres se considerarán diez repeticiones. La unidad experimental quedó constituida por una maceta para los tres experimentos.

Tratamientos evaluados

Se usaron dosis crecientes de nicosulfuron (Cuadro 6). Además se incluyó un tratamiento control (sin aplicación de herbicida), que fue considerado como testigo absoluto.

Cuadro 7. Tratamientos para determinar resistencia de nicosulfuron metilo en *S. halepense* L.

TRATAMIENTOS	g. i.a	Producto comercial / ha	
1	0.0	0	Testigo absoluto
2	10	0.25	
3	20	0.5	
4	40	1.0	Dosis recomendada
5	80	2.0	
6	160	4.0	
7	320	8.0	
8	640	16.0	

Dosis recomendada: 1 – 1.5 l/ha Formulación comercial: 40 g i.a /producto comercial

Las dosis para el biotipo susceptible fueron: 0, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 y 80 g i.a ha⁻¹ debido a que las plantas susceptibles mueren con dosis más bajas que la recomendación comercial.

Aplicación de tratamientos

La aplicación de los tratamientos químicos se realizó con una aspersora manual de mochila con una presión constante de 40psi y una boquilla TeeJet 8003 EVS; el equipo fue calibrado a un gasto de 200 L ha⁻¹.

Las aplicaciones se llevaron a cabo en pos emergencia en, diferentes etapas fenológicas para cada experimento.

- Experimento uno: plantas con una altura de 7 cm* (7 a 8 hojas)
- Experimento dos: plantas con una altura de 14 cm* (8 a 10 hojas)
- Experimento tres: plantas con una altura total de 7 cm (3 a 4 hojas)

* medidas tomadas de la base a la altura del cogollo

3.4. Variables respuesta

Peso fresco

Se cortaron todas las plantas de cada unidad experimental a ras de suelo a los 21 días después de la aplicación del herbicida y se pesaron en una balanza digital. El porcentaje de peso fresco se determinó en función a la respuesta de las plantas control, en comparación con las plantas tratadas con las diferentes dosis del herbicida.

Porcentaje de rebrote

Se midió el porcentaje de rebrote a los 15 días después de haber realizado el corte de las plantas tomando en consideración solo el número de plantas que rebrotaron y no el número de brotes.

ED₅₀

Es la inhibición del crecimiento provocada por el herbicida. Este valor representa la dosis de herbicida que inhibe el 50 % del crecimiento (peso fresco) de las plantas tratadas en relación con las plantas testigo.

Factor de resistencia (FR)

El factor de resistencia se calculó como la razón entre el valor de ED₅₀ de la población de interés sobre el valor de ED₅₀ de la población susceptible.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de peso fresco de zacate Johnson en los diferentes tratamientos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un $\alpha=0.05$ y en los casos donde el ANOVA sea diferente se realizó una prueba de comparación de medias de Duncan con un $\alpha = 0.05$, procesados por el programa estadístico SAS 8.2 (Sistema de Análisis Estadístico).

La tasa de reducción media de crecimiento (ED₅₀) para cada biotipo se calculó con base en el peso fresco, se usó un modelo no lineal de la relación dosis-respuesta, utilizando para ello un ajuste por medio de una curva sigmoideal de cuatro parámetros (Cruz, 2010).

$$Y = c + \frac{(d - c)}{1 + (x/g)^b}$$

Donde:

Y = peso fresco expresado como el porcentaje del control no tratado,

c = coeficiente correspondiente a la asíntota superior (máximo crecimiento)

d = coeficiente correspondiente a la asíntota inferior (mínimo crecimiento)

b = pendiente de Hill

g = ED₅₀ dosis de herbicida en el punto de inflexión entre la asíntota superior y la inferior

x = dosis del herbicida (variable independiente)

El factor de resistencia (FR) es el resultado de dividir el valor de ED₅₀ del biotipo resistente entre el ED₅₀ del biotipo sensible. Cuando el valor del FR es mayor de 2, la población bajo estudio se consideró resistente (Valverde et al., 2000).

4. RESULTADOS

4.1. Experimento 1

El análisis de varianza (Apéndice 1), de peso fresco con $\text{Prob} > F (0.05)$ determinó que los biotipos sospechosos de resistencia muestran diferencias estadísticas significativa con el biotipo susceptible, donde este exhibe una disminución significativa en su peso fresco total, sin embargo, también se observan diferencias estadísticas significativas entre los biotipos sospechosos de resistencia (Figura 8).

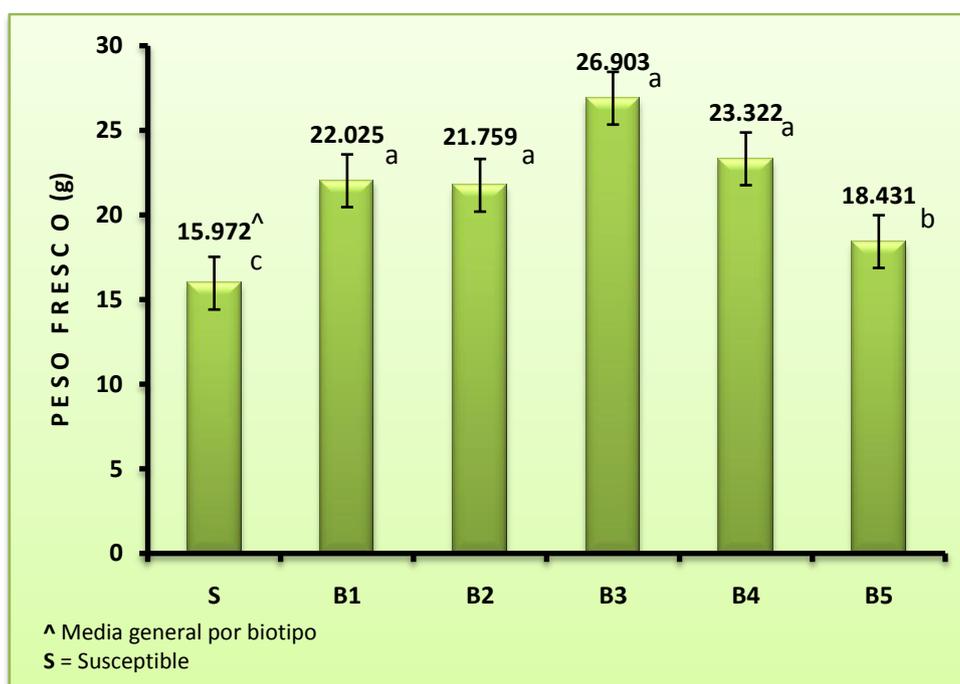


Figura 7. Comparación de medias de peso fresco del biotipo susceptible y los biotipos sospechosos de resistencia.

Al analizar y comparar los resultados obtenidos en el experimento uno, se encontró que los diferentes biotipos exhibieron diversos niveles de resistencia tomando como referencia al biotipo susceptible (Figura 8). Estas diferencias muestran que el biotipo sensible tiene una reducción muy acentuada a dosis menores de 10 g de i.a. ha^{-1} y los biotipos resistentes requieren diferentes dosis para reducir el peso fresco en un 50 %.

El Cuadro 8 muestra los parámetros de la ecuación de la curva sigmoideal utilizada para calcular la dosis de herbicida necesaria para reducir 50% del peso fresco (ED_{50}) de los biotipos de *Sorghum halepense*.

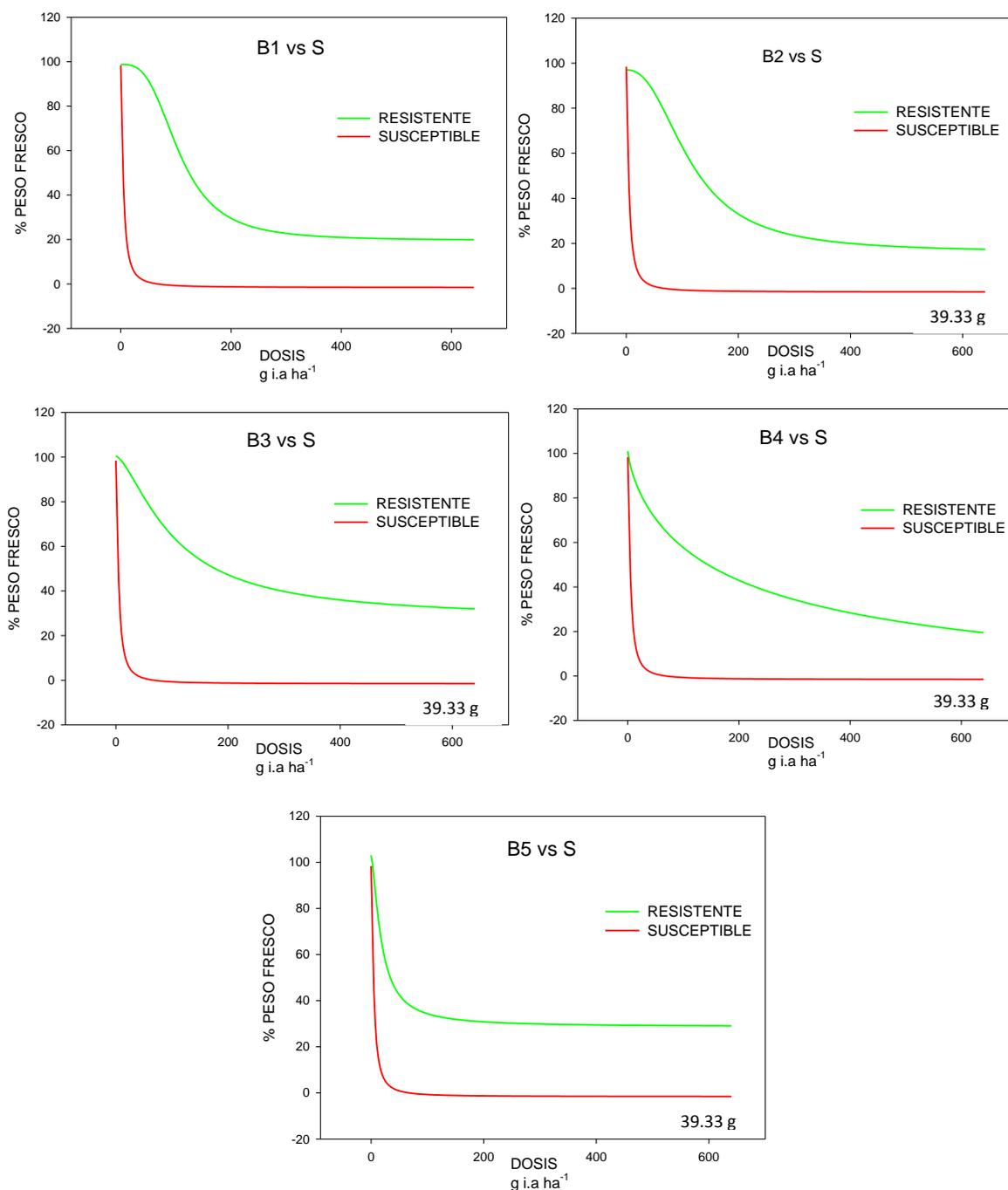


Figura 8. Reducción de peso fresco de *Sorghum halepense* (L) Pers, tratado con nicosulfuron 21 días después de la aplicación.

La respuesta de los diferentes biotipos en forma numérica evidencia los niveles de resistencia que adquiere la planta en este estado de desarrollo (7 a 8 hojas), los FR oscilan entre los 4 y 36. Dichos valores se consideran altos, por el hecho de que en promedio un biotipo resistente necesite más de 20 veces la dosis que tolera el biotipo susceptible, haciendo que el control de esta especie sea más costoso, ya que la dosis del herbicida recomendado para el control selectivo en maíz es de 40 g de i.a. ha⁻¹.

Los valores muestran baja eficiencia en todos los biotipos probados, así se tiene que aplicando 94 g de nicosulfuron la efectividad en el biotipo resistente sería insuficiente (B3). Con relación al biotipo B4 el problema de resistencia fue mayor, ya que, para reducir el 50 % de peso fresco se requirieron 166 g de ingrediente activo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros de la ecuación* de la curva sigmoideal de los ensayos de dosis-respuesta y las relaciones obtenida (FR) de los biotipos resistentes en el experimento 1.

BIOTIPO	MIN	MAX	PENDIENTE DE HILL	R ²	ED ₅₀ (g i.a ha ¹)	FR
Susceptible	1.27	98.38	-1.53	0.99	4.51	1.0
B1	19.64	98.72	-3.06	0.98	106.13	23.53
B2	12.20	98.00	-1.76	0.95	112.98	25.05
B3	28.63	100.00	-1.63	0.92	94.05	20.85
B4	7.22	100.00	-0.84	0.94	166.83	36.99
B5	26.24	100.00	-1.38	0.94	19.19	4.25

* $Y = \text{mínimo} + \{(\text{máximo} - \text{mínimo}) / [1 + (x/ED_{50})^{\text{Pendiente de Hill}}]\}$ donde Y representa el peso fresco expresado como el porcentaje del control no tratado, máximo y mínimo corresponde a las asíntotas superior e inferior, pendiente de Hill y la variable independiente x es la dosis del herbicida.

Solo en el biotipo B5 no se puede confirmar el carácter de resistencia, tomando como base la dosis recomendada en campo, sin embargo, en el invernadero se observó que se requieren dosis más altas para controlar a zacate Johnson (Figura 10).

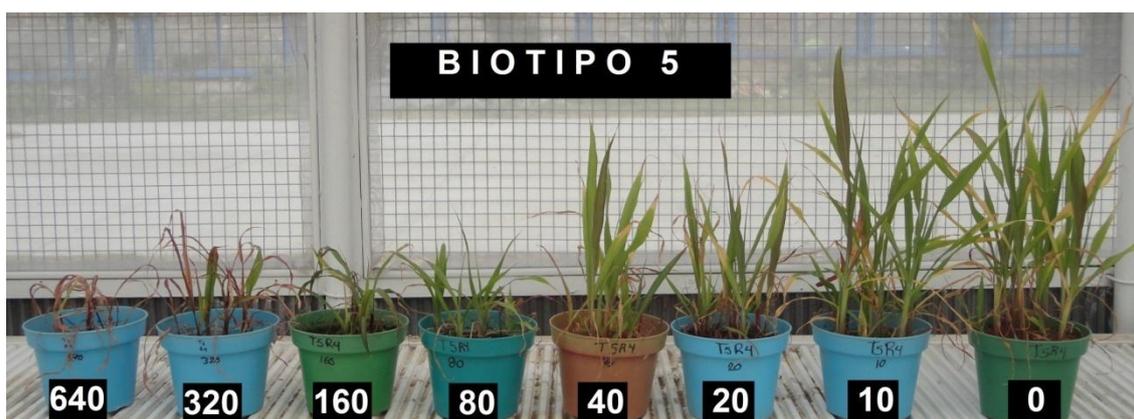


Figura 9. Efecto de nicosulfuron (g de i.a. ha⁻¹) aplicado en postemergencia sobre el biotipo resistente de *Sorghum halepense* (L) Pers, evaluado a los 21 días después del tratamiento.

Estos altos valores de FR sumados a los porcentajes de rebrote (Figura 10) de los cinco biotipos, ponen a los productores de maíz en gran desventaja si se trata de controlar a *Sorghum halepense* con una dosis de herbicida comercial.

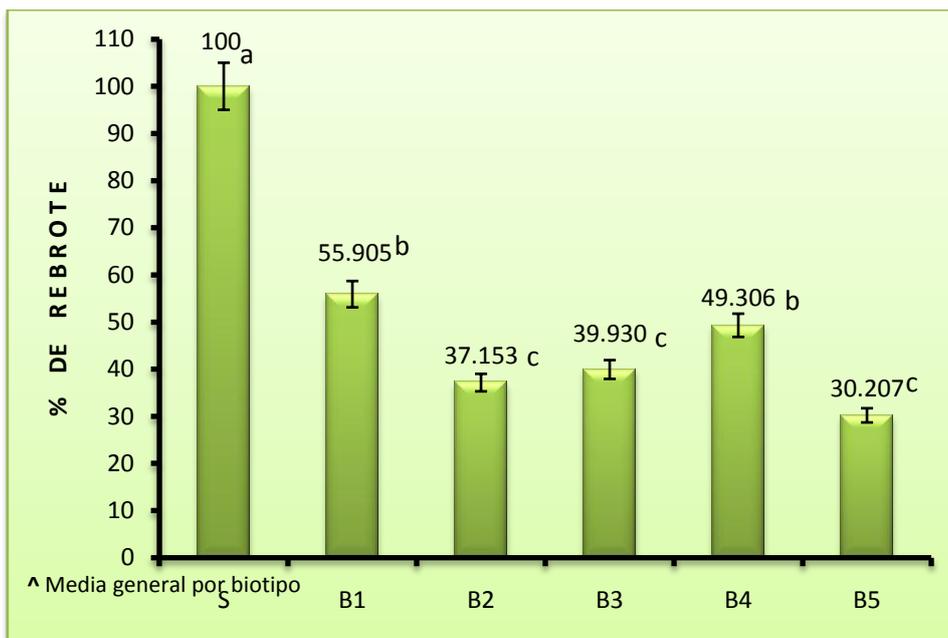


Figura 10. Comparación de medias de % de rebrote de los biotipos de zacate Johnson

4.2. Experimento 2

El análisis de varianza (Apéndice 1), de peso fresco de las plantas en el experimento dos, muestra que no existe una diferencia estadística significativa con una Prob > F (0.05) entre el biotipo susceptible y los biotipos resistentes, por lo tanto no se realizó la comparación de medias de peso fresco (Figura 11).

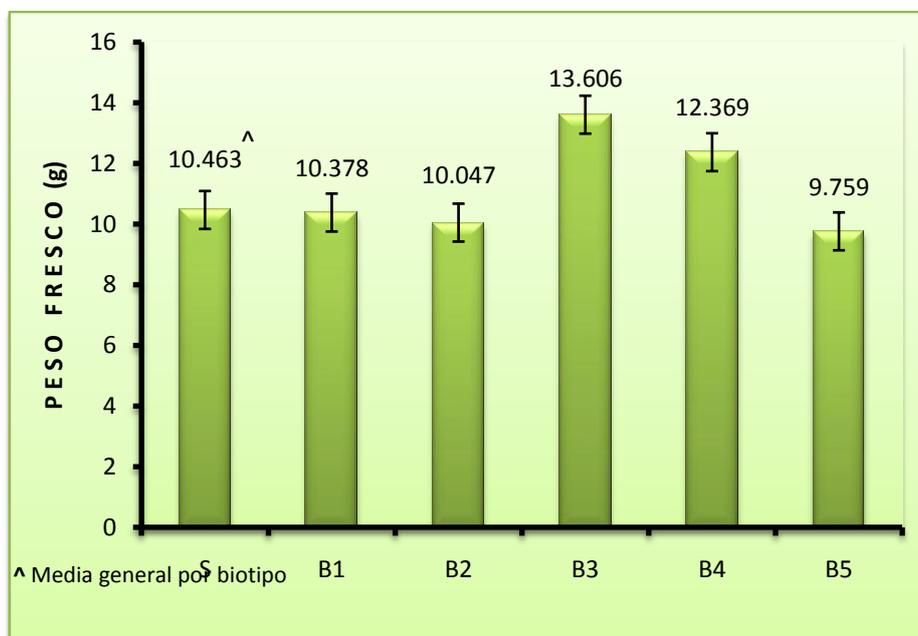


Figura 11. Comparación de medias de peso fresco del biotipo susceptible y los biotipos sospechosos de resistencia del experimento dos.

Los datos numéricos obtenidos en este experimento, muestran que los valores de ED₅₀ (Cuadro 9) son muy variables. Los FR van de los 2 – 32 por lo que no se puede confirmar ningún carácter resistente en los biotipos B2 y B4, además, en el biotipo B5 no se pudo ajustar a la curva, esto se atribuye probablemente a que los datos son muy heterogéneos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Parámetros de la ecuación* de la curva sigmoideal de los ensayos de dosis-respuesta y las relaciones obtenida (FR) de los biotipos resistentes en el experimento 2.

Biotipo	MIN	MAX	PENDIENTE DE HILL	R2	ED ₅₀ (g i.a ha ¹)	FR
Susceptible	6.92	98.28	-1.47	1.00	5.06	1.0
B1	0.34	100.00	-0.69	0.89	163.86	32.38
B2	25.23	100.00	-1.80	0.94	15.09	2.98
B3	45.01	100.00	-0.80	0.84	60.53	11.96
B4	36.55	100.00	-1.68	0.88	11.63	2.30
B5						

*Y= mínimo + {(máximo-mínimo) / [1+(x/ED₅₀)^{Pendiente de Hill}]} donde Y representa el peso fresco expresado como el porcentaje del control no tratado, máximo y mínimo corresponde a las asíntotas superior e inferior, pendiente de Hill y la variable independiente x es la dosis del herbicida

Estos datos numéricos no logran reflejar lo observado en invernadero, en la Figura 12, se puede observar que estos biotipos B2 y B4 con ED₅₀ de 15.09 y 11.63 g de i.a. ha⁻¹ respectivamente, tienden a mantenerse a dosis de 600 g de i.a. ha⁻¹ evidencia clara de la resistencia en los biotipos.

En el biotipo B1 la resistencia a nicosulfuron queda comprobada con un ED₅₀ de 163.83 g de i.a. ha⁻¹, y el ED₅₀ del biotipo susceptible de 5.06 g de i.a. ha⁻¹ con lo que se obtiene un FR muy alto de 32.38 (Cuadro 9).

Los valores de ED₅₀ obtenidos en el caso del biotipo B3, 60.53 g de i.a. ha⁻¹ confirman la resistencia de la maleza, al realizar la aplicación postemergente las plantas de *Sorghum halepense* (L.) Pers detienen su crecimiento pero no muestran niveles altos de fitotoxicidad (Figura 13).

Todos los biotipos muestran la misma tendencia de sobrevivir a aplicaciones altas de herbicida.

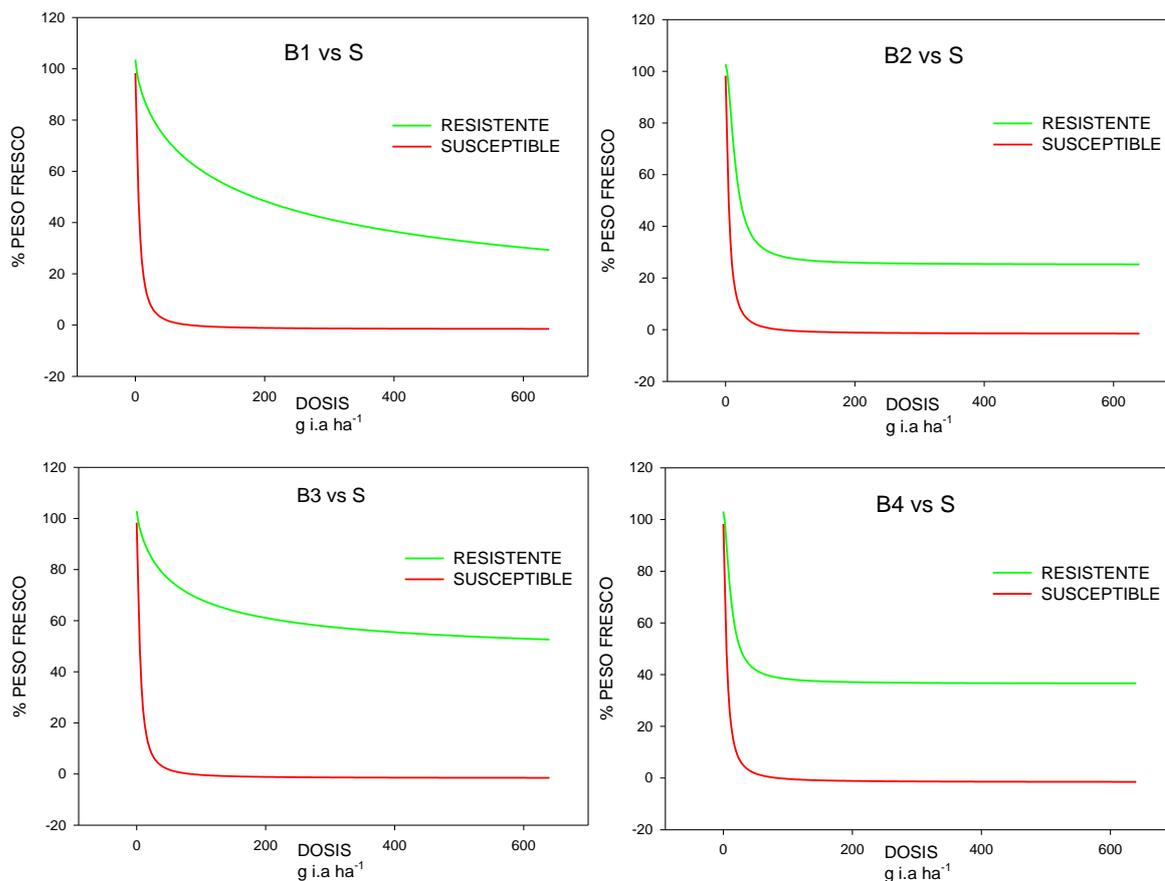


Figura 12. Reducción de peso fresco de *Sorghum halepense* (L) Pers, tratado con nicosulfuron 21 días después de la aplicación.

Los biotipos resistentes escapan del control aun que se aumente la dosis hasta un punto que puede ser fitotóxico para el cultivo, práctica que induce la rápida selección de aquellos biotipos resistentes en el campo.

La Figura 14 muestra la diferencia que existe en la respuesta a la aplicación del herbicida, en ella se puede apreciar como la biomasa se ve disminuida gradualmente con el incremento de la dosis.



Figura 13. Efecto del herbicida nicosulfuron aplicado en postemergencia sobre biotipos Resistentes (g i.a. ha^{-1}), evaluados 21 días después del tratamiento.

La respuesta observada en los demás biotipos fue similar a lo mostrado aquí, constatando la resistencia observada en campo., además todos los biotipos rebrotaron, por lo tanto, se debe de tomar en cuenta para realizar un control eficiente en campo (Figura 14).

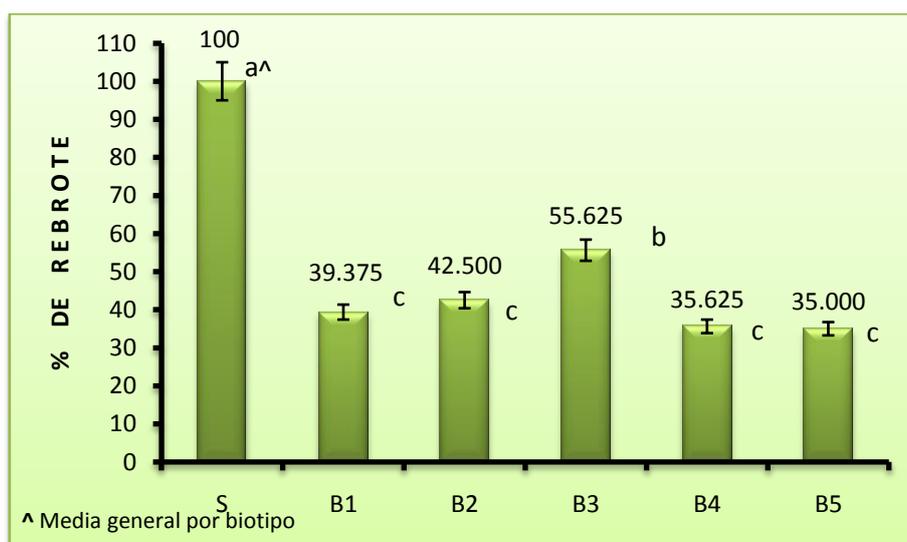


Figura 14. Comparación de medias de % de rebrote de los biotipos sospechosos de resistencia

4.3. Experimento 3

El análisis de la varianza (Apéndice 1), del experimento tres con una Prob > F (0.05) muestra que existen diferencias estadísticas significativas con los biotipos sospechosos de resistencia y el biotipo susceptible (Figura 15). Al realizar la comparación de medias se observó que el biotipo susceptible tiene mayor peso fresco, esta comparación de medias no indica si los biotipos son susceptibles a la acción del herbicida.

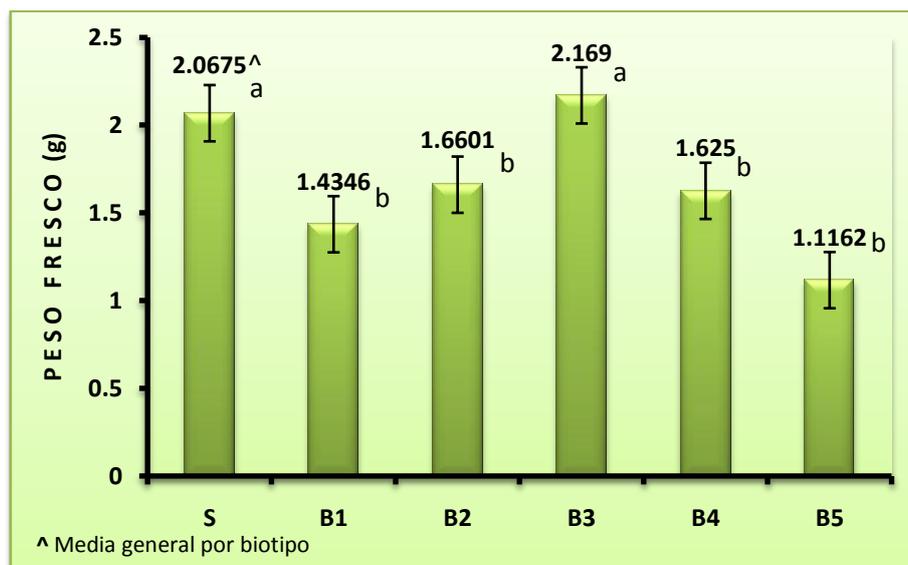


Figura 15. Comparación de medias de peso fresco del biotipo susceptible y los biotipos sospechosos de resistencia del experimento tres

El Cuadro 10 recoge los valores obtenidos en el experimento dos al correr el modelo de regresión no lineal, en el cual se observan diferentes niveles de resistencia en todos los biotipos sospechosos (Figura 16), en los biotipos B1, B2 y B4 con ED_{50} de 23.04, 20.69 y 38.85 g de i.a. ha^{-1} respectivamente, no se puede confirmar la resistencia, tomando como base la dosis de campo (40 g de i.a. ha^{-1}).

Sin embargo, aunque el biotipo B4 se encuentra en los límites de la dosis recomendada con un ED_{50} de 38.85 g de i.a. ha^{-1} y con un FR de 7.5 en comparación con el biotipo susceptible que tiene un ED_{50} de 5.14 g de i.a. ha^{-1} (Cuadro 10), por lo tanto, se debe tomar en cuenta que solo se está calculando el ED_{50} lo que es igual a la disminución de la producción de peso fresco, pero, no la muerte de la planta.

Cuadro 10. Parámetros de la ecuación* de la curva sigmoideal de los ensayos de dosis-respuesta y las relaciones obtenida (FR) de los biotipos resistentes en el experimento 3.

Biotipo	MIN	MAX	PENDIENTE DE HILL	R2	ED ₅₀ (g i.a ha ⁻¹)	FR
Susceptible	6.45	100.00	-1.54	0.99	5.14	1.0
B1	1.28	100.00	-1.30	0.90	23.04	4.48
B2	0.50	100.00	-1.63	0.92	20.69	4.03
B3	0.51	98.88	-1.69	0.88	59.55	11.59
B4	0.18	98.50	-1.82	0.85	38.85	7.56
B5	5.00	98.47	-3.51	0.93	49.09	9.55

*Y= mínimo + {(máximo-mínimo) / [1+(x/ED₅₀)^{Pendiente de Hill}]} donde Y representa el peso fresco expresado como el porcentaje del control no tratado, máximo y mínimo corresponde a las asíntotas superior e inferior, pendiente de Hill y la variable independiente x es la dosis del herbicida.

Para el biotipo B5 la resistencia se confirma con un ED₅₀ de 49.09 g de i.a. ha⁻¹ pues aun que apenas rebasa la dosis comercial presenta un FR de 9.5 lo que indica que ya existe un problema de control en campo, así mismo el biotipo B3 su carácter resistente queda confirmado con un FR de 11.59 (Cuadro 10).

La Figura 16 muestra la diferencia que existe en la respuesta a la aplicación del nicosulfuron, en ella se puede apreciar como la biomasa de los biotipos experimentan una reducción diferente para cada uno de ellos, en el biotipo B1 la reducción de biomasa es sensible a dosis de 20 g de i.a. ha⁻¹, es notorio en contraste con el biotipo B3 cuya reducción se ve afectada de forma más suave con el incremento de la dosis.



Figura 16. Efecto de nicosulfuron (g de i.a ha⁻¹) aplicado en postemergencia sobre dos biotipos resistentes de *Sorghum halepense* (L) Pers, evaluados a los 21 días después del tratamiento.

La Figura 17 se confirma la resistencia (de forma cuantitativa) al herbicida nicosulfuron en todos los biotipos, siendo variable el nivel de resistencia entre ellos como se menciono anteriormente.

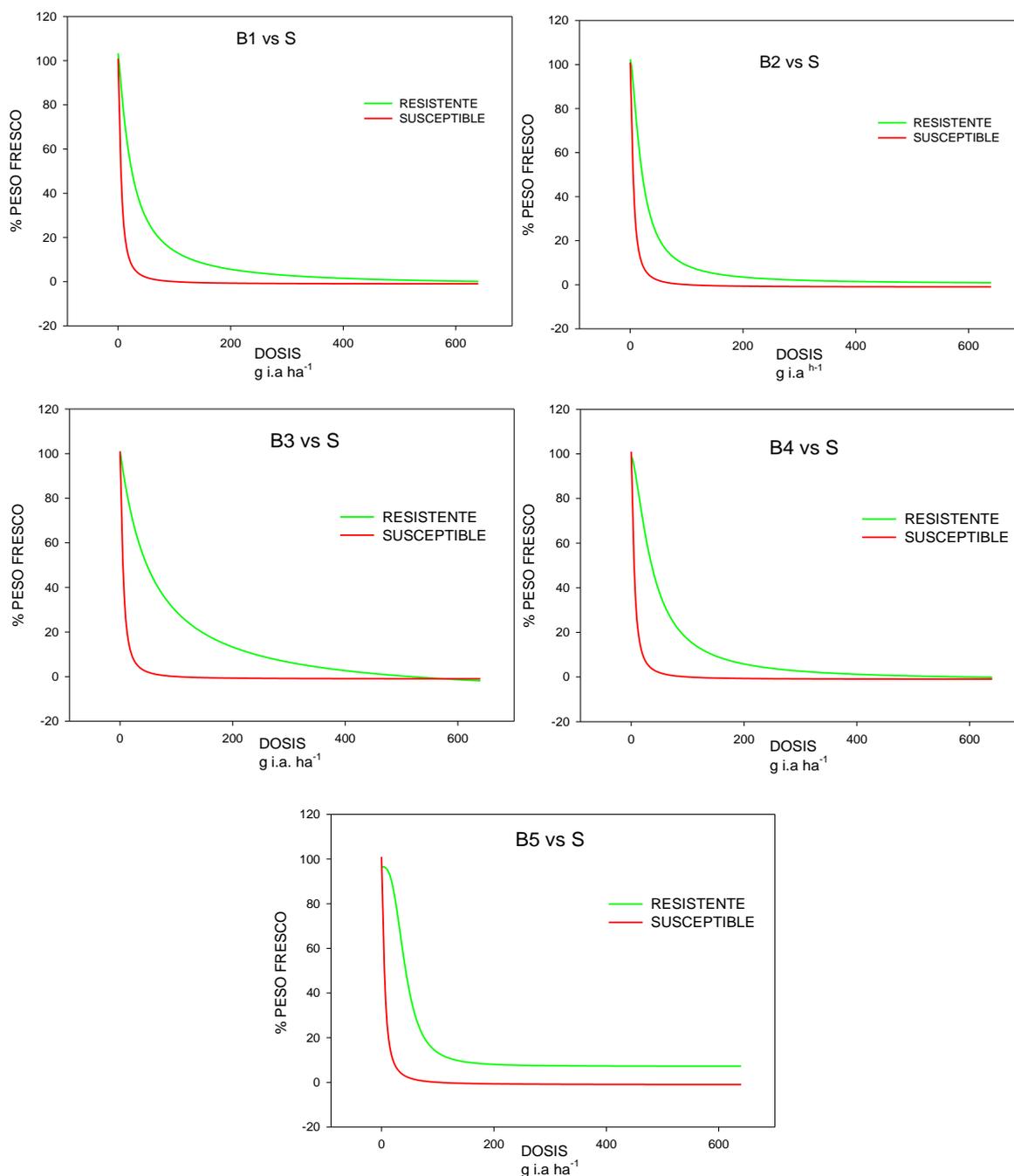


Figura 17. Reducción de peso fresco de *Sorghum halepense* (L.) Pers, tratado con nicosulfuron 21 días después de la aplicación.

5. DISCUSIÓN

Como se muestra en los resultados de los ensayos de dosis respuesta de los tres experimentos, se confirma la resistencia de los biotipos sospechoso de *Sorghum halepense* (L) Pers de acuerdo a los FR, como menciona la literatura si el FR es mayor de 2.0 se confirma la existencia de resistencia (Fischer y Valverde, 2010).

Los factores involucrados en el desarrollo y aparición de la resistencia están relacionados con la biología de la especie de la maleza en cuestión, el cultivo de interés, prácticas de manejo del cultivo, la residualidad del herbicida, la susceptibilidad del biotipo, la densidad de población, la habilidad de la maleza para producir semillas cuando ésta no es afectada severamente después de una aplicación, el reservorio y letargo de semillas susceptibles en el suelo, la dosis de aplicación, el número de aplicaciones por ciclo, el tipo de suelo, las condiciones ambientales y los mecanismos de acción del herbicida; el descuido de cualquiera de estos factores en la práctica, será motivo de riesgo en la evolución de los biotipos resistentes de las especies nocivas en general (Radosevich y Holt, 1984 y Preston y Powles, 2002).

En este caso particular el uso continuo del mismo herbicida por diez años (de acuerdo a información proporcionada por los productores) puede ser la causa de la resistencia.

En el experimento tres de este estudio se corroboró que una correcta aplicación de la dosis comercial del herbicida en la etapa de desarrollo de la planta adecuada puede controló aceptablemente a *Sorghum halepense* (biotipos B1, B2 y B4). Nuestros resultados concuerdan con lo citado por Rosales *et al.* (2001), quienes encontraron que el nicosulfuron produjo un mejor control de zacate Johnson proveniente de semilla, cuando se aplicó en plantas de cuatro a cinco hojas, que cuando fue aplicado en un estado de desarrollo avanzado (de seis a ocho hojas verdaderas). Por el contrario, cuando las aplicaciones del herbicida se realizan de forma tardía, las plantas de *Sorghum halepense* presentan sus rizomas bien desarrollados y los efectos del herbicida empiezan a disminuir, presentan un mayor riesgo de provocar resistencia.

Los resultados de los experimentos uno y dos indican que *Sorghum halepense* presenta mayor resistencia en estado de crecimiento de 6 a 7 hojas en adelante (tres semanas después de la emergencia) y es capaz de tolerar hasta 640 g i. a. ha⁻¹ de nicosulfuron, ya que la planta solo detiene un poco su crecimiento pero el desarrollo de la misma continua.

Esto se debe a la habilidad natural de *Sorghum halepense* de permanecer y competir con cultivos como una maleza agresiva por su sistema vigoroso de rizomas. Las plantas de zacate Johnson empiezan a emitir rizomas a la tercera semana de edad, así, las plantas que provienen de semillas, originan un mayor número de rizomas, los cuales son de mayor longitud y con mayor número de yemas (Mc Whorter, 1989).

Tafoya y Carrillo (2009) reportaron el primer biotipo resístete de *Sorghum halepense* en México, para la zona de Veracruz, con resistencia cruzada a herbicidas ALS, lo que significa que estos biotipos presenten este tipo de resistencia a estos herbicidas, debido a el flujo de genes en ausencia de la presión de selección impuesta por el herbicida (Ashigh *et al.*, 2008).

6. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, y en las condiciones en las que se desarrollaron los bioensayos se concluye.

- Los cinco biotipos colectados en el Ejido Arenal Oro Verde de Ciudad Isla, Veracruz, si son resistentes al herbicida nicosulfuron.
- La etapa fenológica en que se encuentre *Sorghum halepense* (L) Pers al momento de aplicar el herbicida es determinante para su control, por lo tanto, las aplicaciones se deben hacer en etapas tempranas de desarrollo (5 a 7 cm de altura) de la planta.
- El Factor de Resistencia estimado para los diferentes biotipos fue directamente proporcional a la etapa fenológica del zacate Johnson al momento de hacer la aplicación.

7. LITERATURA CITADA

- ANDERSON L.E., A.P. APPLEBY; J.W. WESELOH. 1960. Characteristics of Johnsongrass rhizomes. *Weeds* 8: 402-406.
- ASHIGH. J.; I. RAJCAN; F.J. TARDIF. 2008. Genetics of Resistance to Acetohydroxyacid Synthase Inhibitors in Populations of Easter Black Nigshade (*Solanum ptychanthum* L.) From Ontario. *Weed Science* 56: 210-215.
- BENECH, A.; M. FENNER; P. EDWARDS. 1992. Changes in Dormancy Level in *Sorghum halepense* Seeds Induced by Water Stress During Seed Development. *Functional Ecology* Vol 6 No.5. pp 596-605.
- BHARDWAJ, G. 2007. From pioneering inventions to sustained innovation: herbicides at DuPont. *Chemical Heritage Newsmagazine* no.25
- CARRIQUIRY. A.; A. RIOS. 2007. Herbicidas sulfonilureas en cereales de invierno. Seminario de Actualización Técnica: Manejo de malezas. INIA Serie de Actividades de difusión n° 489. pp 1-24.
- CROVETTO R.M.; N.A. ROJO 1957. Plantas invasoras del cultivo del tabaco en el Noreste argentino. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 11: 99-144.
- CRUZ, H.E. 2002. Efecto de Métodos de control de malezas sobre el banco de semillas de Zacate Jhonson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) en Limon Persa (*Citrus latifolia* Tan.) Tesis. UACH, México. 44p.
- CRUZ, H.E. 2010. Gramíneas resistentes a herbicidas en Latinoamérica: aspectos agronómicos y bioquímicos. Tesis doctoral. Córdoba, España. 266 p.
- DASTGHEIB, F.; J.D. MORTON; M.F. BARNES; M. ANDREWS. 1993. Chlorsulfuron effects on leaf extension, acetolactate synthase activity and branched chain amino acid content of a susceptible wheat cultivar. In New Zealand Plant Protection Conference (46.,1983, Palmerston North, NZ). Proceedings .pp. 111-114.

- DELYE, C.; K. BOUCANSAUD; F. PERNIN; V. LE CORRE. 2009. Variation in the Gene Encoding Acetolactate-Synthase in Lolium Species and Proactive Detection of Mutant, Herbicides-Resistant Alleles. *Weed Research* 49: 326-336.
- DOMINGUEZ, V.J.A. 2010. Modo de Acción de Herbicidas. *In* L.A. VALENZUELA Y J. L. MEDINA (eds.) Resistencia de Plantas a Herbicidas. Dpto. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp 9-24.
- DOMINGUEZ, J.A.; J.L. MEDINA. 2010. Resistencia de Plantas a Herbicidas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. México. 163 p.
- ECHEMENDIA, M. 2005. Registro de enfermedades fungosas en *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Protección Vegetal*. Vol 20 No 1: 32-38
- ESPINOZA. N.; C. RODRÍGUEZ; J. DIAZ; R. GALDAMES. 2010. Técnicas Sencillas para Detectar y Evaluar Resistencia a Herbicidas. *In*: L.A. VALENZUELA Y J. L. MEDINA eds. Resistencia de Plantas a Herbicidas. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp 69-77
- FRANS, R.E.; M.R. MXCLELLAND; D. K. HORTON; B.R. CORBIN; R.E. TALBERT. 1991. Crop and herbicide rotation for johnsongrass (*Sorghum halepense*) control. *Weed Sci.* 39: 660-666.
- GARCÍA, E., 1988, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p.
- GARCIA, L.; C. FERNÁNDEZ. 1991. Fundamentos sobre Malas Hierbas y Herbicidas. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 272-273.
- GRESSEL, J. 2002. *Molecular Biology of Weed Control*. Taylor and Francis. London. 504p.
- GRESSEL, J., L. A. Segel. 1990. Interrelating factors controlling the rate of appearance of resistance: the outlook for the future. *In*: "Herbicide

Resistance in Plants”, (eds. LEBARON, H. M.; GRESSEL, J.), John Wiley and Sons, New York: 325-347.

HAY, J.V. 1990. Chemistry of sulfonylurea herbicides. Pesticide Sciences, 29:247-261

HEAP, I. 2010. Criteria for confirmation of herbicide-resistant-weeds – with specific emphasis on confirming low level resistance. <http://www.weedscience.com>. Consultado el 12 de Junio de 2010.

HEAP, I. 2012. ALS inhibitor Resistant Weeds Globally. At: <http://www.weedscience.org/Maps/ALSMap.htm>

HEAP, I.; H. LEBARON. 2001. Introduction and overview of resistance. pp. 1-22 In: S. B. Powles y. Shaner, D.L., Eds. Herbicide resistance in world grains. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.

HOLM, L.; D. Plucknett; J. PANCHO. 1977. The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. University Press of Hawaii Honolulu, Hawaii. USA. pp 54-61.

HOROWITZ, M. 1972. Early development of Johnson grass. Weed Science 20(3):271-273.

LABRADA R.; R. GARCIA. 1982. Desecación de rizomas de *Sorghum halepense* (L.) Pers. en la superficie del suelo. Resúmenes I Jornada Científico-Técnica de Sanidad vegetal de la Provincia de Santiago de Cuba, 24-26 septiembre. p 42.

LABRADA, R. 2004. Gramíneas y ciperáceas: *Sorghum halepense* (L.) Pers. Manejo de malezas para países en Desarrollo. FAO. At: [http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s08.htm#sorghum_halepense_\(l.\)_pers.](http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s08.htm#sorghum_halepense_(l.)_pers.) consultado el 10 de Septiembre de 2012.

LAPLANTE, J.; I. RAJCAN.; F. TARDIF. 2009. Multiple allelic Forms of Acetohydroxyacid Synthase are Responsible for herbicide Resistance in *Setaria viridis*. Theoretical and Applied Genetics 119: 577-585.

- MARZOCCA. A. 1976. Manual de malezas. 3a ed. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires. p 564.
- McWHORTER. C.G. 1989. History, Biology, and Control of Johnson grass. Rev Weed Science. 4: 85-121.
- McWHORTER. C; N. JORDAN. 1976. The effect of light and temperature on the growth and development of Johnsongrass. Weed Sci. 24:91-98.
- MORRISON. I. N.; L. F. FRIESEN. 1996. Herbicide resistant weeds: mutation, selection and misconceptions. pp. 377-386. *In*: "Proceedings of the Second International Weed Control Congress", Copenhagen, Denmark, 2.
- MOSS. S. 2002. Herbicide-Resistant Weeds. Weed Management Handbook (ed. NAYLOR. R.E.L.) British Crop Protection Council. UK. pp 226-230.
- PRESTON, C.; S. B. POWLES. 2002. Evolution of Herbicide Resistance in Weeds: Initial Frequency of Target Site-based Resistance to Acetolactate Synthase-Inhibiting Herbicides in *Lolium rigidum*. Heredity 88: 8-13.
- RADOSEVICH, S. R.; J. S. HOLT. 1984. Weed ecology: implications for vegetation management. Library of congress cataloging Publication Data. A Wiley Interscience Publication. New York, USA. 265 p.
- READE, J.; A. H. COBB. 2002. Herbicides: Modes of Action and Metabolism. Weed Management Handbook (ed. NAYLOR. R.E.L.). British Crop Protection Council. UK. pp 134-150
- ROBBINS, W.; A. CRAFTS.; R. RAYNOR. 1965. Destrucción de malas hierbas. Union Tipográfica Editorial Hispano Americana. México. p 531.
- ROBLES, S. 1982. Producción de Granos y Forrajes. 2da Edición. Limusa pp 143.
- ROSALES, R. E.; J. M. CHANDLER.; S. A. SENSEMAN; G. J. R. SALINAS. 2001. El estado de desarrollo afecta la respuesta del zacate johnson [*Sorghum halepense* (L.)Pers] a los herbicidas nicosulfuron y clethodim. Agrociencia 35: 525-533.

- RZEDOWSKI, G. C.; J. RZEDOWSKI 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. p 494.
- SAARI. L.L.; C.A. MAXWELL. 1997. Target-Site Resistance for Acetolactate Synthase inhibitor Herbicides. pp 81-88. *In* Weed and crop Resistance to Herbicides (eds De Prado.R.; Jorring. J.; Garcia. T.L.). Kluwer Academic Publishers. London.
- STOLLER, W. 1977. Differential cold tolerance of quackgrass and johnsongrass rhizomes. *Weed Sci.* 25: 348.
- STOUGGARD, R. N., B.D MAXWELL.; J.D HARRIS. 1997. Influence of application timing on the efficacy of reduced rate postemergence herbicides for wild oat (*Avena fatua*) control in spring barley (*Hordeum vulgare*). *Weed Technol.* 11: 283-289.
- TAFOYA, R. J. A.; R. M. CARRILLO. 2009. Resistencia de *Sorghum halepense* a herbicidas inhibidores de ALS. XXX Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza, Culiacán Sinaloa. pp 34.
- TRANEL, P.; T. WRIGHT. 2002. Resistance of Weeds to ALS-inhibiting Herbicides: What have we learned? *Weed Science* 50(6):700-712.
- VALVERDE, B. E.; C.R. RICHES; J.C. CASELEY. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. San José, Costa Rica, Cámara Insumos Agropecuarios. 133 p.
- VALVERDE, B. 2004. Manejo de la Resistencia a los Herbicidas en los Países en Desarrollo. Addendum I. Manejo de malezas para países en Desarrollo. FAO. At: <http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s0h.htm#bm17> consultado el 15 de Julio de 2012.

VALVERDE, B.; HEAP, I. 2010. Situación Actual de la Resistencia a Herbicidas en el Mundo. In L.A. VALENZUELA Y J. L. MEDINA eds. Resistencia de Plantas a Herbicidas. Dpto. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. México pp 25-47.

VILLASEÑOR, L.; F. J. Espinosa. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 449p.

WSSA (WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA). 2002. Herbicide Handbook 8va edition.

WSSA (WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA). 2012. Resistance and Tolerance Definitions. At: <http://www.wssa.net/Weeds/Resistance/definitions.htm>. consultado el 26 de Septiembre 2012

USDA (UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 2012. Plants profile *Sorghum halepense* (L.) Pers. Johnsongrass At: <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=soha> consultado el 14 de Junio 2012

8. APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza (ANOVA) para la interacción entre los biotipos sospechosos de resistencia y el biotipo susceptible, por experimento.

Cuadro1. ANOVA del peso fresco de los biotipos en cada experimento, con una Prob > F (0.05)

	Error experimental		Biotipos			
	GL	CM	GL	CM	Valor	Prob
Experimento 1	186	148.35	5	465.76	3.14	0.0096*
Experimento 2	186	43.96	5	75.03	1.71	0.1350
Experimento 3	474	3.3381	5	12.3313	3.69	0.0027*

GL = Grados de Libertad, CM = Cuadrado medio, Prob > F= nivel de significancia observada para una prueba de F

* indica significativo para una prueba $P < 0.05$