

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE *Cyperus iria* L., AL HERBICIDA
PIRAZOSULFURON-ETILO**

Maikol Schmalbach Cárdenas

Maracay, febrero 2016



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE *Cyperus iria* L., AL HERBICIDA
PIRAZOSULFURON-ETILO**

**Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero
Agrónomo mención Fitotecnia que otorga la Universidad Central de Venezuela.**

**Br. Maikol Schmalbach
Tutora: Profa. Aída Ortiz**

Maracay, febrero 2016

Nosotros(as) los(as) abajo firmantes, miembros del jurado examinador del trabajo de grado, "Evaluación de la Resistencia de *Cyperus iria* L., al Herbicida Pirazosulfuron-etilo", cuyo autor es el Bachiller **Maikol Schmalbach Cárdenas**, portador de la cédula de identidad **V-13.860.834**, certificamos que lo hemos leído y que en nuestra opinión reúne las condiciones necesarias de adecuada presentación y es enteramente satisfactorio en alcance y calidad como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Mención fitotecnia.

Profa. Aída Ortiz Domínguez
C.I. V- 5.872.557
Tutora Coordinadora

Profa. Sandra torres
C.I. V- 14.060.890
Jurado principal

Prof. Pedro Torrecilla
C.I. V-7205880
Jurado principal

Marta Barrios
C.I. V-5276035
Jurado Suplente

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del herbicida pirazosulfuron-etilo, sobre tres accesiones de *Cyperus iria* L., provenientes de arrozales en el Estado Guárico de Venezuela. Se realizaron dos experimentos, uno preliminar de detección de resistencia probando las accesiones **CI463G**, **CI466G** y **CI468G** de *C. iria* L., con pirazosulfuron-etilo a la dosis de 25 g i.a. ha⁻¹ y un tratamiento testigo sin herbicida, se usó diseño experimental completamente aleatorizado con cinco repeticiones y otro de respuesta a dosis con ocho dosis crecientes de herbicidas para **CI466G**, accesión resistente (0; 1,56; 3,12; 6,25; 12,5, 25, 50 y 100 g i.a. ha⁻¹) y nueve dosis para **CI463G** susceptible (0; 0,10; 0,19; 0,39; 0,78; 1,56; 3,12; 6,25 y 12,5 g i.a. ha⁻¹), bajo un diseño experimental con cinco replicas y se repitió para su validación. A los 21 días después de la aplicación del herbicida se midió el peso fresco y se expresó como porcentaje sobre el testigo sin herbicida. El bioensayo preliminar mostró que se encontraron que las accesiones **CI466G** y **CI468G** fueron resistente y **CI463G** susceptible a pirazosulfuron-etilo. El bioensayo de respuesta a dosis corroboró la resistencia de la accesión **CI466G**, con un ED50% >100 g i.a. ha⁻¹.

Palabras claves: *Cyperus iria* L., Resistencia, Pirazosulfuron-etilo

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the herbicide pyrazosulfuron-ethyl, in three accessions of *Cyperus iria* L., from rice fields in Guárico State of Venezuela. Two experiments were conducted, one preliminary testing the resistance detection **CI463G**, **CI466G** and **CI468G** accessions with 25 g i.a. ha⁻¹ of pyrazosulfuron-ethyl and a treatment control and a control treatment without herbicide, completely randomized design with five repetitions and a dose response experiments with eight increasing doses to **CI466G**, resistant (0; 1,56; 3,12; 6,25; 12,5; 25, 50 y 100 g i.a. ha⁻¹) and nine doses to **CI463G** susceptible accession (0; 0,10; 0,19; 0,39; 0,78; 1,56; 3,12; 6,25 and 12,5 g i.a. ha⁻¹), under an experimental design with five replicates and was repeated for validation. At 21 days after herbicide application fresh weight it was measured and expressed as percentage of control without herbicide. The preliminary bioassay showed that found **CI466G** y **CI468G** accessions were resistant to pyrazosulfuron-ethyl and **CI463G** susceptible. The dose response bioassay corroborated resistance accession **CI466G**, with an ED 50% > 100 g i.a. ha⁻¹.

Keywords: *Cyperus iria* L., Resistance, Pyrazosulfuron-ethyl

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
DEDICATORIA	xi
AGRADECIMIENTOS	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
ANTECEDENTES	3
Generalidades del Arroz.....	3
Resistencia a Herbicidas en Malezas Asociadas con Arroz.....	4
Definiciones.....	4
Situación Actual de la Resistencia a Herbicidas en el Mundo	6
Herbicidas Inhibidores de la Acetolactato Sintetasa (ALS).....	7
Síntomas en las Plantas de los Herbicidas Inhibidores de ALS	8
Características de los Herbicidas Sulfonilurea	9
Características Generales del Herbicida pirazosulfuron-etilo	9
Descripción Botánica de <i>C. iria</i> L.,	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11

UBICACIÓN.....	11
MATERIAL VEGETAL.....	11
BIOENSAYO DE DETECCIÓN	12
BIOENSAYO DE RESPUESTA A DOSIS	13
Variables evaluadas	14
Análisis Estadísticos	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
BIOENSAYO DE DETECCIÓN	16
BIOENSAYO DE RESPUESTA A DOSIS	16
CONCLUSIÓN.....	19
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
ANEXOS.....	26

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Accesiones de *C. iria L.*, y ubicación geográfica de las fincas donde se recolectaron sus semillas en el Estado Guárico de Venezuela; utilizadas en esta investigación. 11
- Cuadro 2.** Dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo aplicados en las accesiones **CI466G** (R) y **CI463** (S) de *C. iria L.*, en estado fenológico de cinco hojas utilizando una cámara de aplicación de plaguicidas. 13
- Cuadro 3.** Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar, de accesiones de *C. iria L.*, resistentes y susceptibles provenientes de las fincas donde se recolectaron sus semillas en el Estado Guárico de Venezuela, en respuesta a 25 g i.a. ha⁻¹ de pirazosulfuron-etilo aplicado sobre plantas al estado de 5 hojas. 16
- Cuadro 4.** Parámetros de las ecuaciones de regresión utilizadas para estimar la dosis de pirazosulfuron-etilo requerida para reducir al 50 % (ED₅₀) la biomasa de plantas de *C. iria L.* susceptibles y resistentes a este herbicida, coeficientes de regresión e índices de resistencia. 18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Peso fresco de accesiones de C.iria L. como porcentaje del testigo sin herbicida, en respuesta a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo. Las barras representan el error estándar (n = 10). Los parámetros de las regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 2..... 19

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Accesiones de <i>C. iria L.</i> , pertenecientes al bioensayo de detección en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.	27
Anexo 2. Presentación del producto comercial SIRIUS® de pirazosulfuron-etilo y del surfactante Agrotin®, utilizados en el bioensayo de detección y de dosis respuesta.	27
Anexo 3. Ámbito de dosis del bioensayos sobre respuestas a dosis con el herbicida pirazosulfuron-etilo.	28
Anexo 4. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de <i>C. iria L.</i> , El biotipo <i>CI463G</i> es susceptible a la aplicación de dosis comercial de 25 g i.a. ha ⁻¹ de pirazosulfurón-etilo.	28
Anexo 5. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de <i>C. iria L.</i> , El biotipo <i>CI466G</i> resistente no se logró controlar con pirazosulfuron-etilo en dosis comercial de 25 g i.a. ha ⁻¹	29
Anexo 6. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de <i>C. iria L.</i> , El biotipo <i>CI468G</i> resistente no se logró controlar con pirazosulfuron-etilo en dosis comercial de 25 g i.a. ha ⁻¹	29
Anexo 7. Aplicación del herbicida pirazosulfuron-etilo, a las plantas de <i>C. iria L.</i> , en la cámara de aplicación electrónica de herbicidas.	30
Anexo 8. Balanza digital utilizada para medir el peso fresco de la parte aérea de las plantas de <i>C. iria L.</i> , a 21 días después de la aplicación del herbicida.	30
Anexo 9. Accesiones de <i>C. iria L.</i> , <i>CI466G</i> pertenecientes al bioensayo de respuesta a dosis en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.	31
Anexo 10. Accesiones de <i>C. iria L.</i> , <i>CI463G</i> pertenecientes al bioensayo de respuesta a dosis en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.	31
Anexo 11. Bioensayo de respuesta de la accesión <i>CI466G</i> de <i>C. iria L.</i> , a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo, donde la dosis comercial X: 25,00 g i.a. ha ⁻¹	32
Anexo 12. Bioensayo de respuesta de la accesión <i>CI463G</i> de <i>C. iria L.</i> , a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo.	32

DEDICATORIA

Me llena de satisfacción y orgullo escribir estas notas de reconocimiento dedicadas principalmente al apoyo ético y moral, ejemplo de sacrificio de lucha y esfuerzo constantes de mis humildes padres trabajadores e inspiradores: Nidia del Carmen Cárdenas Díaz y Roberto Schmalbach del Toro; que me dieron en todo momento y en toda ocasión el respaldo del legado de mi educación pese a todas las circunstancias socioeconómicas que hemos afrontado paulatinamente en el porvenir de los días, es mi mayor retribución de agradecimiento que puedo expresarles a toda mi familia por ese apoyo incondicional, por los consejos oportunos de aprendizaje y experiencia de mis hermanos que se forjaron profesionalmente les dedico el reconocimiento a mi hermano Gelson Schmalbach, el aprendizaje de sus conocimientos cuando estudiaba en la universidad me fue muy útil y oportuno para comprender muchos cálculos físicos y matemáticos, a mi hermana Shirley Schmalbach por inspirarme en su graduación en la obtención de su título profesional y a mi hermana Zuleima Schmalbach por su ejemplo de lucha y constancia en su profesión.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer y dar mis palabras de reconocimiento a todas aquellas personas que me orientaron y me apoyaron muy solidariamente en la realización de esta investigación, empezando por la profesora Aída Ortiz quien me ofreció oportunamente el interesante tema de esta investigación y a su vez me asesoró en todo el contenido de esta compilación con mucha ética profesional y moral, asimismo, me es muy grato reconocer todo el apoyo incondicional, paciencia, serenidad y disposición constante de la profesora Sandra Torres, que colaboró conmigo arduamente en todo momento y en toda ocasión en la preparación de los ensayos experimentales en el invernadero y también en la formulación, dosificación y aplicación del herbicida evaluado en el laboratorio de malezas, sin su disposición y entrega de calidad humana y vocación profesional no hubiese sido posible cosechar los datos experimentales que arrojaron los resultados de esta interesante investigación. Por otro lado, también quiero agradecer a toda mi familia por la paciencia y el apoyo incondicional que me han brindado en todas las circunstancias de mi vida y en *Cristo que todo lo puedo, que me fortalece...!*

INTRODUCCIÓN

Quizás la principal problemática que se tiene en la agricultura actualmente es la resistencia de malezas a herbicidas causada fundamentalmente por la excesiva dependencia de los herbicidas para el control de malezas; aunado a esto, nuestros sistemas de producción se caracterizan por estrategias centradas estrictamente en el control de malezas y en muy pocos casos se desarrolla conscientemente un verdadero plan de manejo de malezas insertado en forma real, compatible y verdaderamente factible en un manejo integrado del cultivo Zambrano, 2005.

El conocimiento del modo de acción de las diferentes familias químicas de herbicidas, es una herramienta indispensable en el manejo racional de herbicidas y malezas. Conociendo el modo de acción de los herbicidas se pueden diagnosticar daños en cultivos y malezas; se organiza mejor la rotación de cultivos y herbicidas; se diseñan mejores mezclas o secuencias de herbicidas, y en general, se hace un uso más adecuado de estos importantes insumos agrícolas. Su conocimiento, permite prolongar el tiempo en que éstos compuestos permanecen como herramientas útiles en el manejo de malezas, antes de que se desarrollen biotipos resistentes (Fischer y Valverde, 2010).

Considerando que el arroz es el segundo rubro más cultivado en el país y en las principales zonas productoras se han reportado casos de resistencia de las malezas a herbicidas en el cultivo de arroz, aunado a esto el control de malezas es fundamentalmente químico, representando entre 15 a 30 % del total de los costos de producción del cultivo de arroz (Ortiz, 2011), se plantea en esta investigación verificar la eficacia en el control por parte del herbicida pirazosulfuron-etilo de tres accesiones de *Cyperus iria* L., durante el periodo evaluado del mes de marzo a julio de 2015, recolectadas en fincas productoras de arroz en el Estado Guárico de Venezuela, por parte del Proyecto de Manejo Integrado de Malezas en Arroz (MIMA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto del herbicida pirazosulfuron-etilo, sobre tres accesiones de *C. iria L.*, provenientes de arrozales en el Estado Guárico de Venezuela.

Objetivos Específicos

1. Realizar un bioensayo de detección sobre la evaluación de la resistencia al herbicida pirazosulfuron-etilo de las accesiones **CI463G**, **CI466G** y **CI468G** de *C. iria L.*, del proyecto de Manejo Integrado de Malezas en Arroz (MIMA), recolectadas en tres zonas productoras de arroz en el Estado Guárico, Venezuela.
2. Comprobar la resistencia de *C. iria L.*, a pirazosulfurón-etilo utilizando un bioensayo de respuesta a dosis con una accesión resistente y otra susceptibles verificadas en el experimento preliminar de detección.

ANTECEDENTES

Generalidades del Arroz

El arroz (*Oryza sativa L.*) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, debido a que es el segundo cereal después del trigo, aportando más de 50% de las calorías diarias a más de la mitad de la población mundial (Abreu *et al.*, 1993).

El centro de origen del arroz es el sudeste de Asia, específicamente en regiones colindantes con el río Amarillo de la antigua China aproximadamente hace 15.000 años (Uno *et al.*, 2001). De allí se extendió a toda China, Tailandia, Camboya, Vietnam y sur de la India, llegando posteriormente a Siria y al norte de África alrededor del año 800 D.C., a Europa llega a través de los moros a España y posteriormente al resto del continente, mientras que a Norteamérica llega en 1604, y a Centro y Suramérica en el siglo XVIII (Hill, 1965; Páez *et al.*, 2004).

En Venezuela en el siglo XX, se industrializó masivamente la producción, procesamiento y comercio del arroz, concentrándose su cultivo en los Llanos Centrales (Estado Guárico) y los Occidentales (Estados Portuguesa, Cojedes y Barinas) (Abreu *et al.*, 1993). Sin embargo, a nivel nacional, se registra un área cosechada de 237.440 ha, con un rendimiento de 4.232,6 Kg ha⁻¹, y producción promedio de 1.005.000 t (FAOSTAT, 2013) y consumo per cápita de 22,9 Kg por persona (FEDEAGRO, 2013).

El arroz se cultiva en 113 países, en todos los continentes excepto la Antártida. Se cultiva en una amplia variedad de condiciones climáticas y edáficas, desde predios sujetos a inundación hasta zonas con marcado déficit de disponibilidad hídrica (FAOSTAT, 2004). De manera especial, el cultivo sobresale como una de las principales actividades agrícolas en Asia donde se distinguen China e India como los mayores productores de este cereal. En China la producción arroceras es el segundo renglón en importancia dentro de la actividad agropecuaria de este país; mientras que en la India sobresale como la actividad agropecuaria número uno (FAOSTAT, 2004). En el continente americano, los países que se destacan en términos de producción son Brasil y Estados Unidos, sin embargo en países latinoamericanos como Venezuela, Colombia, Perú, Ecuador, Argentina y Uruguay el sector arroceras es un renglón vital en el desarrollo rural y económico de éstas naciones.

Resistencia a Herbicidas en Malezas Asociadas con Arroz

Definiciones

Es importante tener clara la nomenclatura para designar a un grupo de plantas como resistente a herbicidas. En la literatura científica y en la comunicación oral es frecuente que los términos resistencia y tolerancia se usen indistintamente. En esta oportunidad se ha adoptado las definiciones presentadas por Fischer y Valverde, 2000:

La **resistencia** se define como la capacidad hereditaria natural de algunos biotipos dentro de una población para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida que, bajo condiciones normales de empleo, controla efectivamente esa población de maleza. La especie como tal es afectada por el herbicida aplicado a las dosis recomendadas; pero gracias a un proceso evolutivo (selección de individuos resistentes) grupos de plantas o biotipos sobreviven y completan su ciclo reproductivo a pesar de la aplicación del herbicida.

La **tolerancia** es la capacidad hereditaria natural que tienen todas las poblaciones de una maleza para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida. En este caso, la norma es que la especie como tal no es afectada por el herbicida de interés. La tolerancia no resulta de un proceso de selección por uso de herbicidas. Cuando una población de plantas evoluciona resistencia a un herbicida es común encontrar que también lo hace a otros herbicidas.

Existe **resistencia cruzada** cuando un biotipo de una maleza es resistente a más de un herbicida, debido a la presencia de un único mecanismo individual de resistencia. Frecuentemente la resistencia cruzada involucra a herbicidas que tienen el mismo modo de acción.

Por su parte, la **resistencia múltiple** describe aquellas situaciones en que los biotipos resistentes tienen dos o más mecanismos distintos de resistencia.

En algunos casos se ha confirmado que un biotipo resistente a un herbicida exhibe un aumento en la susceptibilidad a otros herbicidas con distinto modo de acción o de degradación, condición que se denomina **resistencia cruzada negativa**.

Es necesario recordar que en la práctica la presión de selección depende de la dosis, eficacia y frecuencia de aplicación. En torno a esto, Valverde (2000) plantea que al disminuir la dosis se puede agravar aún más la problemática de resistencia, ya que puede propiciar la selección de resistencia poligénica, es decir, la resistencia que depende de más de un gen y que se manifiesta como un incremento progresivo en el grado de resistencia de una generación a la siguiente; y si se utiliza sobredosis se incrementa la tasa de mortalidad efectiva.

Toda esta problemática que es una realidad en nuestros campos, ocurre esencialmente debido a mecanismos como: cambios en el sitio de acción, el cual es típico en herbicidas como triazinas, inhibidores de ALS y ACCasa; pero este cambio puede conferir resistencia cruzada a varios herbicidas de familias químicas distintas pero que actúan en el mismo sitio. El segundo de ellos (metabolismo acelerado) hace referencia a la degradación rápida del herbicida en metabolitos con menor o ninguna actividad biológica. El tercero de ellos y el menos común (absorción o transporte limitado del herbicida), simplemente el herbicida no está disponible en el sitio de acción de la maleza (Zambrano, 2005).

Ahora existen experiencias a nivel mundial sobre la aparición de resistencia múltiple, en la cual una planta posee más de dos mecanismos de resistencia. Lo anteriormente planteado hace pensar que debe ocurrir un cambio en cuanto a las estrategias actuales utilizadas para el control de malezas. En ese sentido debe implementarse el fundamento del conocimiento teórico y práctico de todas las herramientas disponibles y compactibles entre ellas y con el ambiente para permitirle al cultivo que exprese todo su potencial genético de tal forma de crear un microambiente en el que las habilidades competitivas de las especies maleza en un momento dado no sean suficientes como para afectar significativamente el desarrollo del cultivo Zambrano, 2005.

Situación Actual de la Resistencia a Herbicidas en el Mundo

Actualmente hay 461 biotipos de malezas resistentes a herbicidas pertenecientes a 247 especies (144 dicotiledóneas y 103 monocotiledóneas), las cuales se han reportado en 86 cultivos de 66 países. Estas malezas han desarrollado resistencia a 22 de los 25 sitios de acción de los herbicidas conocidos y de 157 herbicidas diferentes (Heap, 2015).

En Venezuela, se ha detectado resistencia *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl (Ortiz et al., 2012) y *Cyperus odoratus* L. (Ortiz et al., 2014) a pirazosulfuron-etilo.

En otro orden de ideas, la tendencia de la agroindustria en años recientes ha sido la de desarrollar herbicidas similares a los ya existentes, lo cual indirectamente impone una presión de selección adicional sobre sitios de acción sujetos a dichos productos por años. El aumento en la regulación de los plaguicidas, principalmente en Europa, hace disminuir la disponibilidad de herbicidas y con ello limita las posibilidades de rotación y mezcla de herbicidas con modos de acción diferentes (Valverde y Heap, 2010).

En un afán por descubrir nuevos productos, las compañías de agroquímicos hacen ahora un mayor uso de las herramientas que provee la biotecnología y de sistemas de escrutinio de alta capacidad. De su éxito va a depender la posibilidad de que se ponga a disposición de los agricultores herbicidas con nuevos modos de acción; pero es en los agricultores en quienes recae la responsabilidad de hacer un uso racional de los productos existentes y de los nuevos que logren ingresar al mercado para no agravar aún más los problemas causados por las malezas resistentes (Valverde y Heap, 2010).

Los casos de resistencia a herbicidas en malezas asociadas al arroz comenzaron a documentarse en la literatura a principios de la década de los 90 y en la actualidad incluyen 31 especies. La resistencia a inhibidores de ALS, provocada principalmente por el uso generalizado de sulfonilureas, es la más frecuente en malezas de arroz, especialmente en Asia. Se conocen 20 especies de malezas resistentes a inhibidores de ALS; muchas de ellas son plantas acuáticas cuyo control se basó fundamentalmente en el uso de bensulfurón (Fischer y Valverde, 2010).

El monocultivo de arroz, la elevada dependencia en el control químico de malezas y el uso repetido de herbicidas con igual modo de acción o ruta metabólica de desintoxicación en la planta, han conducido a la evolución de resistencia en las poblaciones de malezas del arroz. Este uso repetido selecciona biotipos dotados de la capacidad genética para resistir aplicaciones de herbicidas que normalmente controlan a las plantas de esa especie (Valverde y Heap, 2010). Es por ello que, los modelos de predicción son un apoyo para la investigación y permiten el diseño y selección de programas de manejo integrado rentables que permitan conservar a los herbicidas como herramientas esenciales en el manejo de malezas (Valverde, 2000).

La experiencia demuestra que la adopción de medidas de prevención y manejo de resistencia por parte del productor es un proceso difícil. Mucho esfuerzo debe volcarse en la implementación de programas educativos (Valverde y Heap, 2010).

Herbicidas Inhibidores de la Acetolactato Sintetasa (ALS)

Los herbicidas que poseen este mecanismo de acción, han probado desde su entrada al mercado ser potentes inhibidores del crecimiento de malezas. Poseen características de selectividad, de baja toxicidad en mamíferos y presentan un amplio espectro de acción como inhibidores del crecimiento de las plantas a dosis tan bajas que son medidas en gramos antes que en kilogramos por hectárea. A pesar de ser químicamente diferentes, todos los ingredientes activos comparten el mismo sitio de acción, la enzima acetolactato sintetasa (ALS, también conocida como acetohidroxiácido sintasa, AHAS), clave en la biosíntesis de los aminoácidos de cadena ramificada (alifáticos) leucina, isoleucina y valina (Cobb y Reade, 2010).

La ALS es la primera enzima común en la síntesis de los aminoácidos de cadena ramificada (Stidham, 1991). Cuando esta enzima es inhibida, la mayoría de las plantas se ven afectadas directamente por la inhibición en la síntesis de los aminoácidos antes descritos (Anzalone, 2005). Estos herbicidas actúan como inhibidores del crecimiento de las malezas susceptibles. Su principal efecto es sobre la división celular (Muñoz, 2005).

La eficacia y la potencia de los herbicidas inhibidores de ALS ha asegurado su continuo éxito, a tal punto que han logrado cambiar e incluso en algunos casos reemplazar productos tradicionales especialmente en cultivos de cereales (Cobb y Reade, 2010). Actualmente, se conocen alrededor de 51 ingredientes activos con acción herbicida bajo este mecanismo de acción. Se encuentran clasificados en el grupo B de la clasificación por sitio de acción (Heap, 2015). Las familias químicas que integran este grupo de herbicidas son la sulfonilurea, imidazolinona, triazolopirimidina, pirimidinil tiobenzato y la sulfonilaminocarboniltriaolinona (HRAC, 2013).

Los herbicidas inhibidores de la ALS incluyen un grupo de familias químicas de herbicidas muy importante y son ampliamente utilizados en los principales cultivos agrícolas. Las sulfonilureas, imidazolinonas y pirimidilthiobenzatos son herbicidas promisorios para el control de especies de importancia económica en el cultivo del arroz, entre otros (Anzalone, 2005). A este grupo pertenecen los siguientes ingredientes activos: azimsulfuron, etoxisulfuron, metsulfuron-metil y pirazosulfuron-etilo (Clavijo, 2010).

En general, los herbicidas inhibidores de ALS se aplican en postemergencia, aunque algunos se pueden recomendar en preemergencia para el control selectivo de malezas de hoja ancha y de ciperáceas (Clavijo, 2010). Las hojas y las raíces de las malezas los absorben fácilmente y el xilema los transporta cuando la absorción es radical. El transporte se realiza por el floema cuando la absorción es foliar. Las sulfonilureas se acumulan en los tejidos meristemáticos (Clavijo, 2010).

Síntomas en las Plantas de los Herbicidas Inhibidores de ALS

El crecimiento de las plantas se inhibe pocas horas después de su aplicación; aunque los síntomas de fitotoxicidad aparecen de una a dos semanas más tarde. Estos síntomas son, principalmente: clorosis de las áreas meristemáticas y de las hojas jóvenes, malformación de las hojas, aumento de la síntesis de antocianinas y muerte de tejidos (necrosis) (Clavijo, 2010). No afecta la germinación, pero poco tiempo después, interfieren severamente en el crecimiento de raíces y tallos (Muñoz, 2005).

La degradación de los herbicidas inhibidores de ALS tales como la sulfonilurea en la planta, son metabolizadas por hidroxilación del anillo bencénico en el carbono 4, seguida de conjugación con glucosa. Mientras que en el suelo se degradan por hidroxilación y por acción microbiana. La persistencia de estos herbicidas varía de pocos a 40 días (Clavijo, 2010).

Características de los Herbicidas Sulfonilurea

Estos herbicidas desarrollados durante los años ochenta inhiben la acetolactato sintetasa y tienen dosis de aplicación muy bajas: de 2 a 75 g i.a/ha. Se ha detectado selectividad basada en una rápida inactivación metabólica en varios cultivos, como trigo, cebada, maíz, arroz, soya y colza. Las sulfonilureas tienen muy baja toxicidad para los mamíferos, bajo riesgo al ambiente, se hidrolizan y se degradan por los microorganismos del suelo. Estos herbicidas son ácidos débiles y se ionizan a pH alto; la forma neutra es más lipofílica y menos soluble en agua que la forma amónica. A pH bajo tienden a fijarse más fuertemente a los coloides del suelo y a ser menos móviles. La hidrólisis de estos herbicidas es mucho más rápida a pH bajo que a pH alto. Así, la degradación microbiana es más importante a pH neutro y alcalino (Caseley y Parker, 1996).

Características Generales del Herbicida pirazosulfuron-etilo

Nombre de IUPAC: Dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl del etilo 5 (4, 6) - 1-methylpyrazole-4-carboxylate (SATA, 2009). El nombre químico del pirazosulfuron-etilo es etil-5-(4,6 dimetoxipirimidin-2-il-carbamoil sulfamoil)-1-metil pirazole-4-carboxilato, pertenece al grupo químico sulfonilurea cuyo mecanismo de acción es la inhibición de la acetolactato sintetasa (ALS) o acetohidroxiácido (AHAS). Posee una solubilidad en agua de 14,5 mg/L, pKa no disponible, presión de vapor de 14,63 ipa (20°C) y el log KOW de 1,3 (Vencill, 2002). Ingrediente activo: pirazosulfuron-etil. Grupo químico: sulfonilurea. Nombres comerciales: Sirius, Agropyra, Maphtor, Noweed, Panius, Pilarice, Pirazosulfuron Etil, Sideral, Sirius, Siperus, Sistemin. Fórmula: C₁₄H₁₈N₆O₇S; (IRET, 2015).

Descripción Botánica de *C. iria* L.

C. iria L., es una planta anual moderadamente cespitosa, es decir, se refiere a especies de gramíneas, o gramínoideas perennes, que amacollan mucho, formando matas o mechones, o que creciendo muy próximas, llegan a cubrir el terreno formando céspedes; son de porte mediano, toda con olor a menta. Su sistema radical es subterráneo, estolonífera, constituido por raíces fasciculadas, sin rizomas ni tubérculos. El tallo es fino, trígono, glabros, de coloración verde amarillenta, de 30 a 50 cm largos. Las hojas son lineales, lanceoladas, pocas, generalmente más cortas que el tallo, de 3 a 6 mm anchas, lisas y glabras, con márgenes ásperos hacia la parte apical. Su inflorescencia es en umbela de espigas, de tamaño variable, divergente, abierta, espigas alargadas, de 1 a 3 cm largas, 3 a 7 brácteas involucrales, desiguales; espiguillas pediceladas y densamente agrupadas, en racimos orientadas en forma ascendente a lo largo del raquis, de 5 a 15 espiguillas por racimo; espiguillas de forma lineal elíptica, de 5 a 8 mm largos por 1,5 a 2 mm anchas, color amarillo oro, con 6 a 15 flores cada una. Las flores poseen 3 estigmas; glumas distanciadas entre sí, oblongas, elípticas, de ápice obtuso, cortamente apiculadas o no apiculadas, de 1 a 1,5 mm largas y de 1 mm anchas, de color amarillo, quilla prominente de color verde, con 3 nervadas hacia el centro de la gluma. Su fruto es un aquenio, ovado, trígono, 1 mm largo, de color castaño y de superficie reticulada (Fuentes *et al.*, 1999).

Esta maleza se propaga por semillas, que pueden ser latentes, pero pueden germinar unos 75 días después de su dispersión en el suelo. Es un prolífico productor de semillas y se propaga rápidamente, *C. iria* L., crece bien en suelos húmedos en cultivos anuales y de plantaciones. Es una de las malezas más comunes en los campos de arroz y otros cultivos bajo inundación. Se encuentra en casi todas partes en los campos de arroz de regadío (Pinto, 2015). La distribución global de *C. iria* L., es en los trópicos y subtropicos y su distribución en Venezuela es en los Estados Cojedes, Guárico, Monagas, Portuguesa, Sucre y Zulia, habitando en zonas de desborde de caños y en pequeñas lagunas temporales durante la temporada de lluvias. Es una especie abundante y florece en aguas altas entre los meses de julio y agosto (Rial y Fedón, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN

Los experimentos se llevaron a cabo durante el periodo evaluado del mes de marzo a julio de 2015, bajo condiciones controladas en el Invernadero y Laboratorio de Malezas del Departamento de Agronomía, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Central de Venezuela (FAGRO-UCV).

Las condiciones de crecimiento en el invernadero que se presentaron fueron: 30 a 35 °C, 80 % humedad relativa y fotoperiodo de 12 h bajo irradiación natural y la muestra de suelo recolectada es en la formación Las Brisas (Campo Experimental Facultad de Agronomía U.C.V.), correspondiente a la serie Maracay de textura franca y pH = 6.4.

MATERIAL VEGETAL

Se realizó un experimento de detección y dosis respuesta con tres accesiones de *C. iria* L., recolectadas del proyecto de Manejo Integrado de Malezas en Arroz (MIMA) provenientes de tres zonas productivas de arroz en el Estado Guárico, Venezuela, tal como se ilustra en el siguiente cuadro 1.

Cuadro 1. Accesiones de *C. iria* L. y ubicación geográfica de las fincas donde se recolectaron sus semillas en el Estado Guárico de Venezuela; utilizadas en esta investigación.

Accesiones	Finca	Coordenada Oeste Longitud	Coordenada Norte Latitud
CI463G	Finca la Lora. Guárico	64,8439°(64°50'38,04'')	9,62781°(9°37'40,116'')
CI466G	Parcela 16-B. Guárico	66,4342°(66°26'31,2'')	9,86893°(9°52'8,148'')
CI468G	Parcela 221. Guárico	66,2078°(66°12'28,08'')	9,72445°(9°43'28,02'')

BIOENSAYO DE DETECCIÓN

Se realizó un experimento de detección de resistencia de las accesiones **CI463G**, **CI466G** y **CI468G** de la maleza *C. iria L.*, al herbicida pirazosulfuron-etilo, para ello se colocaron las semillas de cada una de las accesiones sobre la superficie del suelo contenidas en maceteros de 10cm X 10cm de alto y diámetro, sumergidas en piscinas que tienen una lámina de agua constante de 10 cm de alto, la cual no sobrepasaba la superficie del suelo, manteniendo el suelo saturado.

Una vez emergidas las plántulas en el estado fenológico de cinco hojas, se hizo un raleo y se dejaron cinco plantas por macetero, luego se realizó la aplicación del herbicida pirazosulfuron-etilo a la dosis de 25 g i.a. ha⁻¹, dejando un tratamiento testigo sin herbicida. A su vez se aplicó el surfactante Agrotin® a razón de 2500 µL·L⁻¹.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cinco repeticiones, los maceteros se rotaron cada 3 días dentro de las piscinas en el invernadero.

Las aplicaciones de los herbicidas se realizaron con una cámara de aspersion de plaguicidas electrónica (<http://www.devriesmfg.com/features.html>), la cual se calibró con una descarga de 140 L ha⁻¹, con una boquilla de abanico plano TeeJet 8002E.

A los tres días de la aplicación del herbicida, se asperjó un abono foliar (Energy®, Sefloarca, <http://www.sefloarca.com/agencias.htm>) a razón de 0,75 ml de solución diluida en 500 ml de agua corriente.

A los 21 días después de la aplicación del respectivo herbicida, se procedió a cortar la parte de aérea de las plantas al ras del suelo y se midió el peso fresco en una balanza digital. El peso fresco fue expresado como porcentaje de crecimiento (peso fresco del tratamiento con herbicida expresado como porcentaje del promedio del tratamiento control sin herbicida). Se considera resistente una accesión que tenga más del 20% de peso fresco (Ortiz *et al.*, 2012).

BIOENSAYO DE RESPUESTA A DOSIS

Del experimento anterior se seleccionaron dos accesiones de *C. iria* L., **CI466G** la cual mostró marcado nivel de resistencia (R) y otra **CI463G** altamente susceptible (S), a fin de comparar las respuestas de ambas accesiones a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo, y así poder calcular la dosis del efecto medio (ED50, dosis del herbicidas en la cual se reduce el crecimiento de las plantas en un 50%).

Las accesiones R y S se sometieron a diferentes ámbitos de dosis, las cuales se muestran en el Cuadro 2. Los tratamientos se ubicaron bajo un diseño completamente aleatorio con cinco replicas y se repitió el bioensayo para su validación. La aplicación de cada tratamiento de herbicida se hizo sobre plantas al estado fenológico de cinco hojas (altura de 15 cm).

Tanto la aplicación del herbicida como la cosecha se realizaron de la misma manera que en el experimento anterior y los datos de peso fresco se expresaron como porcentaje de crecimiento.

Cuadro 2. Dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo aplicados en las accesiones **CI466G** (R) y **CI463** (S) de *C. iria* L., en estado fenológico de cinco hojas utilizando una cámara de aplicación de plaguicidas.

Dosis	CI466G -Resistente		Dosis	CI463G -Susceptible	
	Dosis en X	Dosis (g i.a. ha ⁻¹)		Dosis en X	Dosis (g i.a. ha ⁻¹)
D1	0X	0	D1	0X	0
D2	1/16X	1,56	D2	1/256X	0,10
D3	1/8X	3,13	D3	1/128X	0,20
D4	1/4X	6,25	D4	1/64X	0,39
D5	1/2X	12,50	D5	1/32X	0,78
D6	X	25,00	D6	1/16X	1,56
D7	2X	50,00	D7	1/8X	3,13
D8	4X	100,00	D8	1/4X	6,25
			D9	1/2X	12,50

D: número de tratamiento. X: es la dosis comercial del producto. g i.a.: gramos de ingrediente activo.

Variables evaluadas

1. **Peso fresco de la parte aérea (g):** Se determinó el peso fresco de las plantas, 21 días después de la aplicación del herbicida. Los datos de peso fresco se expresaron como porcentaje de crecimiento con respecto al testigo sin tratar.
2. **Determinación de la dosis de efecto medio (ED50):** Los valores de la dosis del herbicida que inhibió el 50% del crecimiento se calculó con base al modelo estadístico que se ajustó a la respuesta a dosis usando el modelo logístico descrito por Streibig *et al.*, 1993.
3. **El índice de resistencia (IR):** se determinó dividiendo el ED50 de la accesión resistente *CI466G* (R) entre la accesión susceptible *CI463G* (S). Si el IR es mayor o igual a dos, se considera que la accesión evaluada es resistente al herbicida (Valverde *et al.*, 2000).

Análisis Estadísticos

Los datos del experimento de detección se presentan como promedios y su desviación estándar en los Cuadros 1, 2 y 3. Los datos de respuesta a dosis provenientes de experimentos repetidos se juntaron para su análisis al no detectarse interacción ($P > 0.05$) entre experimentos y tratamientos y se sometieron al análisis de regresión ajustando modelos que describían adecuadamente las tendencias y minimizaban el cuadrado medio del error. A los datos de peso fresco de la accesión *CI463G* se les ajustó un modelo de regresión no lineal log-logístico de cuatro parámetros [ec. 1], mientras que para *CI466G* se ajustó el modelo lineal [ec. 2] (Streibig *et al.*, 1993):

$$Y = c + (d - c) / [1 + (x / ED_{50})^b] \quad [\text{ec. 1}]$$

$$Y = a + bx \quad [\text{ec. 2}]$$

Donde Y es el porcentaje de crecimiento, c es la respuesta media cuando la dosis de herbicida tiende a valores muy elevados, d es la respuesta media cuando la dosis de herbicida tiende a cero, b es la pendiente de la curva, a es el intercepto, ED_{50} es la dosis de herbicida en el punto de inflexión y x es la dosis de herbicida. A la accesión **CI466G** no se les pudo determinar su ED_{50} pues ésta correspondería a una dosis mayor que la dosis más alta ensayada (>100 g i.a.ha⁻¹) y así quedaría ubicada fuera del ámbito de observaciones. El análisis de regresión se realizó utilizando el programa Sigma Plot (versión 12.0, Systat Software, Inc., CA, EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

BIOENSAYO DE DETECCIÓN

De las tres accesiones de *C. iria L.*, recolectadas en fincas arroceras del Estado Guárico, que fueron evaluadas en el ensayo de detección; se encontró que **CI466G** y **CI468G** resultaron resistente a pirazosulfuron-etilo debido a que su peso fresco como porcentaje sobre el testigo sin herbicida estuvo por encima de 80%, capaces de producir semillas viables (datos no publicados en este estudio), mientras que **CI463G** fue controlada eficazmente por el pirazosulfuron-etilo, considerándose como susceptible (Cuadro 3).

Cuadro 3. Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar, de accesiones de *C. iria L.*, resistentes y susceptibles provenientes de las fincas donde se recolectaron sus semillas en el Estado Guárico de Venezuela, en respuesta a 25 g i.a.ha⁻¹ de pirazosulfuron-etilo aplicado sobre plantas al estado de 5 hojas.

Accesiones	Peso fresco (%)
CI463G	0.04 ± 0.04
CI466G	87.03 ± 6.37
CI468G	100.26 ± 4.92

BIOENSAYO DE RESPUESTA A DOSIS

El bioensayo sobre respuesta a dosis corroboró la resistencia de la accesión **CI466G** al herbicida pirazosulfuron-etilo, por cuanto ni siquiera con la dosis más alta de 100 g i.a. ha⁻¹ (4 veces la dosis comercial) no se pudo calcular la dosis media de herbicida para reducir el 50% del crecimiento de las plantas (ED₅₀%), por ende el índice de resistencia no se pudo calcular (Cuadro 4, Figura 1). Lo

que indica que posiblemente esta accesión de *C. iria* L., tenga un mecanismo de resistencia por alteración del sitio de acción, tal como ha sido señalado por diferentes autores en otras malezas, en *F. miliacea* a pirazosulfuron-etilo (Ortiz *et al.*, 2012), sin embargo faltaría hacer los estudios adecuados para definir el mecanismo de resistencia en esta especie.

En fincas arroceras de Arkansas (EE.UU) se ha detectado resistencia de *C. iria* L., a bispiribac-sodio, halosulfuron-metil, imazamox, imazetapyr y penoxsulam (Heap, 2015).

En el país se ha encontrado en *F. miliacea* (Ortiz *et al.*, 2012), *C. odoratus* (Ortiz *et al.*, 2014) y *C. iria* L., resistencia a pirazosulfuron-etilo (sulfonilurea, inhibidor de ALS), que aunado a la resistencia mostrada por *Ischaemum rugosum* Salisb. y *Echinochloa colona* (L.) Link., a bispiribac-sodio (pirimidinil-tiobenzoato, inhibidor de ALS), limita prácticamente el uso de herbicidas de estos dos importantes grupos químicos en el cultivo de arroz, los cuales tienen más de 15 años utilizándose en el cultivo y muestran una alta selectividad.

La prevención o retraso de la evolución de resistencia se basa en reducir la presión de selección ejercida por el uso repetido de ciertos herbicidas, por lo cual se hace necesario combinar técnicas de manejo de malezas para controlar los biotipos resistentes y proteger así la vida útil de herbicidas útiles (Fischer y Valverde, 2010). La integración de prácticas tales como la rotación de cultivos, que causan cambios de la flora de malezas, el uso de otros herbicidas con diferentes mecanismos de acción, la implementación de prácticas de control cultural en sistemas alternativos de implantación de arroz, el uso genotipos de cultivos competitivos y las quemas químicas en falsa siembra son técnicas que han dado resultados positivos en el manejo de la resistencia a herbicidas en malezas, incluyendo las del de arroz (HRAC, 2011; Fischer y Valverde, 2010).

Asimismo, se evidencia en el país que se han encontrado en *F. miliacea* (Ortiz *et al.*, 2012), *C. odoratus* (Ortiz *et al.*, 2014) resistencia a pirazosulfuron-etilo (sulfonilurea, inhibidor de ALS), que aunado a la resistencia mostrada por *Ischaemum rugosum* Salisb., y *Echinochloa colona* (L.) Link., a bispiribac-sodio (pirimidinil-tiobenzoato, inhibidor de ALS), limita prácticamente el uso de herbicidas de estos dos importantes grupos químicos en el cultivo de arroz; lo que implica que se han presentados fallas en el control de otras especies de ciperáceas con pirazosulfuron-etilo, y en

este caso específicamente con *C. iria* L., en algunas localidades del Estado Guárico, Venezuela; ya que el uso frecuente y reiterado de este mismo herbicida ocasiona la selección de biotipos con resistencia, en una población de malezas que inicialmente es de importancia secundaria y en consecuencia, pudiera convertirse de importancia primaria en el cultivo del arroz; es por ello, que se deben probar otros herbicidas con mecanismo de acción diferentes para retrasar la evolución de resistencia a estos herbicidas inhibidores de la ALS.

Cuadro 4. Parámetros de las ecuaciones de regresión utilizadas para estimar la dosis de pirazosulfuron-etilo requerida para reducir al 50 % (ED₅₀) la biomasa de plantas de *C. iria* L., susceptibles y resistentes a este herbicida, coeficientes de regresión e índices de resistencia.

Accesión	Ecuación	Parámetros de regresión							
		a	b	c	d	ED ₅₀ (g a.i. ha ⁻¹)	R ²	P	R/S
CI463G	$Y = c + (d - c) / [1 + (x / ED_{50})^b]$		-2.3852	0.9166	99.8243	0.1148	0.9336	<0.0001	
CI466G	$Y = a + b^x$	101.58	-0.2442			>100	0.9643	<0.0001	*No calculable

†Y es el peso fresco expresado como porcentaje sobre el control (no tratado), x es la variable independiente, c y d son los coeficientes correspondientes a la asíntota inferior y superior, a es el intercepto, b es la pendiente de la línea, ED₅₀ es la dosis de herbicida que se requiere para reducir el 50% del crecimiento (Streibiget *et al.*, 1993), R² es una estimación del coeficiente de determinación (Schabenberger *et al.*, 1999), P es el nivel de significancia, e IR es el índice de resistencia (ED₅₀ R/ED₅₀ S).

° Como las ED₅₀ de la accesión CI466G se encuentran fuera del rango de dosis estudiadas (> 100 g·ha⁻¹i.a.), el IR tiende a un valor muy elevado que no puede ser calculado.

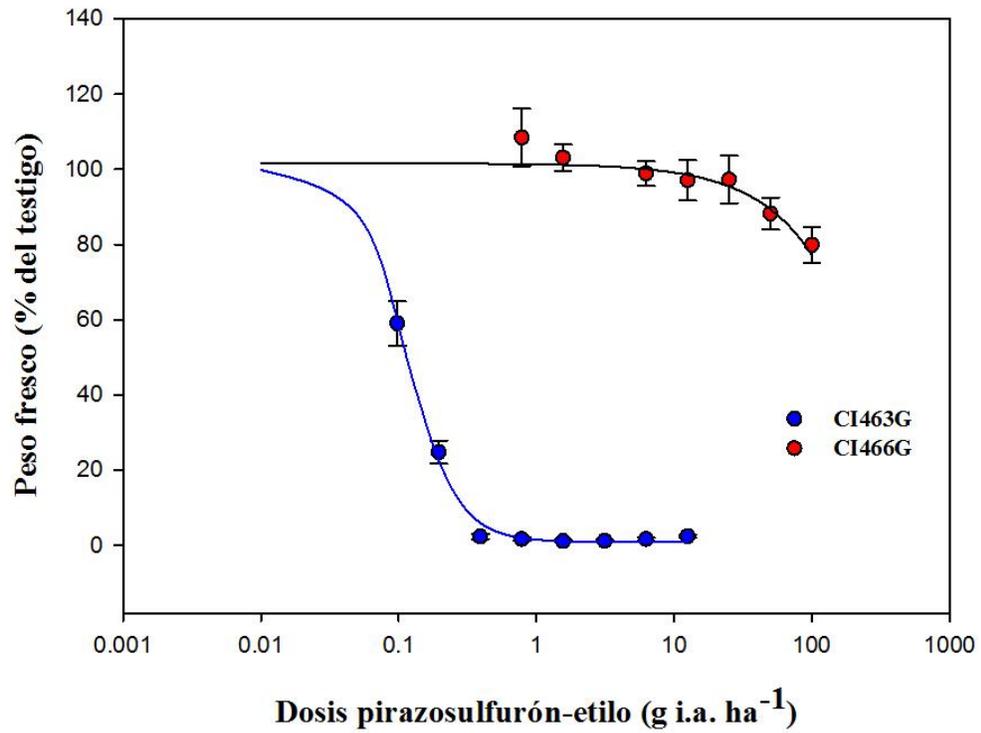


Figura 1. Peso fresco de accesiones de *C. iria* L., como porcentaje del testigo sin herbicida, en respuesta a dosis crecientes de pirazosulfurón-etilo. Las barras representan el error estándar (n = 10). Los parámetros de las regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 4.

CONCLUSIONES

Con base en este trabajo de investigación se puede concluir que:

1. las accesiones *CI466G* y *CI468G* son resistentes a pirazosulfuron-etilo y *CI463G* susceptible al mismo herbicida.
2. Se corroboró que la accesión *CI466G* tiene un alto nivel de resistencia a pirazosulfuron-etilo, lo cual constituye el primer reporte de esta naturaleza en el país.
3. Esta investigación es una aporte al conocimiento por cuanto es la primera vez que se reporta la resistencia de *C. iria L.*, en Venezuela, adicionalmente que siendo una maleza secundaria en el arroz una vez que ha alcanzado el estatus de resistente pasa a ser una mala hierba de importancia económica en los arrozales y que amerita cambios en las estrategias de control (mitigación).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, E.; A. Gutiérrez; H. Fontana, R. Cartay, L. E. Molina, A. Kesteren y M. Guillory. 1993. La Agricultura. Componente básico del sistema alimentario venezolano. Fundación Polar. Caracas-Venezuela. 500 p.

Anzalone, A. 2005. Herbicidas Modos y Mecanismo de Acción en Plantas. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Decanato de Agronomía. Dpto. de Fitotecnia. Cátedra de Control de Malezas. Estado Lara Venezuela. 53 p.

Caseley, y J. Parker C. 1996. Capítulo 10. Herbicidas. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Cuadernos técnicos de la FAO. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal Vol. 120. Roma. 34 p.

Clavijo, J. 2010. Capítulo 23. Acción de los Herbicidas en un Arrozal: Modo y Mecanismo. En: Degiovanni, V., Martínez, C., Motta F. V. Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Universidad de Córdoba. Departamento de Córdoba. Colombia. 435-437 p.

Cobb, A. H. y Reade, J. 2010. Herbicides and plant physiology. Second Edition. Editorial John Wiley and Sons. Oxford. 277 p.

FAOSTAT. 2004. Anuario estadístico de la FAO 2004. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Roma. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. (Consultado: 15/07/2015).

FAOSTAT. 2013. Anuario estadístico de la FAO 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S> (consultado el 11/10/2015).

Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2013. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp> y www.fedeagro.org/consumo/cereales.asp (consultado: 15/07/2015).

Fischer, A. y B. Valverde. 2000. Evolución de Resistencia a Herbicidas, Diagnóstico y Manejo en Malezas del Arroz. Disponible en: http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/fischeralbert.pdf.

Fischer, A. y B. Valverde. 2006. Evolución de Resistencia a Herbicidas, Diagnóstico y Manejo de Malezas del Arroz. Plants Sciences Departement, Davis, CA, USA. 21p.

Fischer, A. y B. Valverde. 2010. Capítulo 7. Estrategias de Prevención, Detección y Manejo de la Resistencia a Herbicidas con Énfasis en el Cultivo del Arroz. En: Domínguez, V., Medina, P., Resistencia de Plantas a Herbicidas. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 78p.

Fischer, A. y B. Valverde. 2010. Capítulo 24. Resistencia a Herbicidas en Malezas Asociadas con Arroz. En: Martínez, C., Motta F. V. Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Universidad de Córdoba. Departamento de Córdoba Colombia. 447-484p.

Fuentes, C. L.; O. Almario y F. Cifuentes. 1999. Malezas Ciperáceas Asociadas con el Cultivo del Arroz en Colombia. AgrEvo, Bogotá, Colombia. 198 p.

Heap, I. 2015. View Recent Additions, Site of Action Summary, or the Herbicide Classification System. Disponible en: <http://weedsience.org>. (Consultado: 15-07-2015).

Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). 2016. *Guideline to the Management of Herbicide Resistance*. Disponible en: <http://www.hracglobal.com/pages/managementofherbicideresistance.aspx> [Consulta: Enero 2016]

Hill, A. 1965. Botánica Económica. Plantas Útiles y Productos Vegetales. Ediciones Omega, Barcelona-España. 616p.

Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). 2013. Classification of Herbicides According to Site of Action. Disponible en: <http://www.hracglobal.com/Publications/ClassificationofHerbicideSiteofAction/tabid/222/Default.aspx>; (consultado: 10-07-2015).

Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET). 2015. Manual de Plaguicidas de Centroamérica. Disponible en: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/453-pirazosulfuron-etil> (consultado el 11/10/2015).

Muñoz J., 2005. Experiencias con el Uso de Herbicidas del Grupo Químico “Sulfonilureas” en Venezuela. El Malezólogo. Vol.1. Sociedad Venezolana para el Combate de Malezas (SOVECOM). Venezuela. 10p.

Ortiz, A. 2011. Informe de avance sobre el proyecto manejo integrado de malezas en arroz (MIMA). Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 61 p.

Ortiz, A.; L. Villarreal; S. Torres; M. Osuna; L. López; R. Figueroa y A. Fischer. 2012. Resistencia de *Fimbristylis miliacea* al Herbicida Pirazosulfuron-etilo en Campos de Arroz del Estado Guárico-Venezuela. Interciencia 37(3):209-214.

Ortiz, A., S. Torres, Y. Quintana y López A. 2014. Primer Reporte de Resistencia de *Cyperus odoratus* L. al Herbicida Pirazosulfuron-Etilo. Bioagro 27(1): 45-50.

Páez, O.; G. Rico y L. Velásquez. 2004. El Cultivo de Arroz en Venezuela. En: Serie Manuales de Cultivo. Alfredo Romero (Ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). (1). 202 p.

Pinto H., 2015. Base de Datos de Especies de Malezas en Cultivos y Países. Proyectos y Actividades de la FAO. Venezuela.

Rao, V. 2002. Principles of Weed Science. Second edition reprinted. Science publishers, Inc. U.S.A. 555 pp.

Rial, A. y I. Fedón. 1999. Nuevos Registros de Ciperáceas para el Estado Apure, Llanos Inundables del Orinoco. Memoria Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Tomo LIX, Venezuela. No. 152.

SATA (Guía para la protección y nutrición vegetal) 2009. Disponible en: http://laguiasata.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=339:pirazosulfuron-etil&catid=45:principios-activos&Itemid=57 (consultado el 11/10/2015).

Stidham, M. 1991. Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase. *Weed Science*, 39: 425-434.

Streibig, J., M. Rudemo y J. Jensen. 1993. Dose-response curves and statistical models. *In*: J.C. Streibig y P. Kudsk (eds.). *Herbicide Bioassays*. CRC, Boca Raton, FL. 29-55p.

Uno, G.; R. Storey and A. Moore. 2001. *Principles of Botany*. Mc Graw Hill. USA. p. 552.

Valverde, B. 2000. Respuestas de la Población de Malezas al Uso Continuo de Herbicidas. En: *Curso de actualización en biología y combate de malezas*. Maracaibo. 75-95 p.

Valverde, B. 2009. Capítulo 4. *Curso de actualización en metodologías de investigación y el desarrollo tecnológico en el manejo de malezas*. En: Anzalone, A.; Ortíz, A. *Bioanálisis en la Ciencia de las Malezas: Conceptos importantes y experiencia práctica*. *El Malezólogo*. Sociedad Venezolana para el Combate de Malezas (SOVECOM). Venezuela, p. 52-76.

Valverde, B., y Heap I. 2010. Capítulo 3. Situación Actual de la Resistencia a Herbicidas en el Mundo. En: Domínguez, V., Medina, P., Resistencia de Plantas a Herbicidas. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. p. 25.

Vencill, W. 2002. Herbicide Handbook (No. Ed. 8). Weed Science Society of America. 492 p.

Zambrano C. 2005. Resistencia de Malezas a Herbicidas, Un Problema Real y Nuestro. El Malezólogo. Vol.1. Sociedad Venezolana para el Combate de Malezas (SOVECOM). Venezuela. p. 7-8.

ANEXOS



Anexo 1. Accesiones de *C. iria* L., pertenecientes al bioensayo de detección en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.



Anexo 2. Presentación del producto comercial SIRIUS® de pirazosulfuron-etilo y del surfactante Agrotin®, utilizados en el bioensayo de detección y de dosis respuesta.



Anexo 3. Ámbito de dosis de bioensayos sobre respuestas a dosis con el herbicida pirazosulfuron-etilo.



Anexo 4. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de *C. iria L.*, El biotipo **CI463G** es susceptible a la aplicación de dosis comercial de 25 g .i.a. ha⁻¹ de pirazosulfurón-etilo.



Anexo 5. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de *C. iria* L., El biotipo **CI466G** resistente no se logró controlar con pirazosulfuron-etilo en dosis comercial de 25 g .i.a. ha⁻¹.



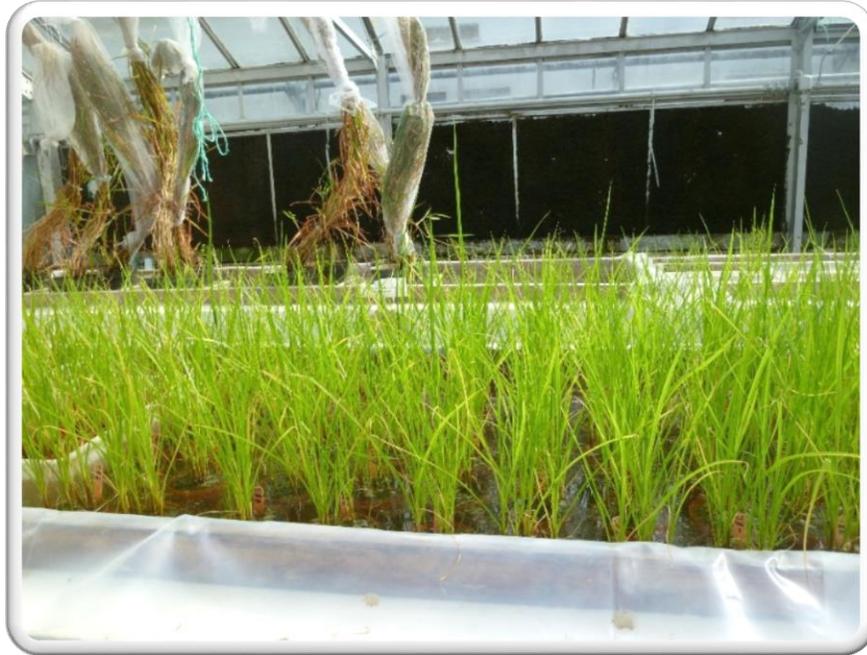
Anexo 6. Testigo sin herbicida, en bioensayo de detección de pirazosulfuron-etilo con plantas de *C. iria* L., El biotipo **CI468G** resistente no se logró controlar con pirazosulfuron-etilo en dosis comercial de 25 g .i.a. ha⁻¹.



Anexo 7. Aplicación del herbicida pirazosulfuron-etilo, a las plantas de *C. iria L.*, en la cámara de aplicación electrónica de herbicidas.



Anexo 8. Balanza digital utilizada para medir el peso fresco de la parte aérea de las plantas de *C. iria L.*, a 21 días después de la aplicación del herbicida.



Anexo 9. Accesiones de *C. iria* L., **CI466G** pertenecientes al bioensayo de respuesta a dosis en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.



Anexo 10. Accesiones de *C. iria* L., **CI463G** pertenecientes al bioensayo de respuesta a dosis en el estado fenológico de 5 hojas, después de la aplicación del herbicida a los 21 días.



Anexo 11. Bioensayo de respuesta de la accesión **CI466G** de *C. iria L.*, a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo, donde la dosis comercial X: 25,00 g .i.a. ha⁻¹.



Anexo 12. Bioensayo de respuesta de la accesión **CI463G** de *C. iria L.*, a dosis crecientes de pirazosulfuron-etilo.