

ALTERNATIVAS AL FENOXAPROP-ETIL PARA EL CONTROL DEL ZACATE JOHNSON (*Sorghum halepense*) EN ARROZ DE RIEGO

Alternatives to fenoxaprop-ethyl to control Johnson Grass (*Sorghum halepense*) in irrigated rice

¹*Valentín A. Esqueda-Esquivel, ¹Diana Uresti-Durán, ²Leonardo Hernández-Aragón

¹Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 34.5 carretera Veracruz-Córdoba, CP. 94270, Municipio de Medellín, Veracruz, México.

*esqueda.valentin@inifap.gob.mx

²Campo Experimental Zacatepec. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Artículo científico recibido: 13 de julio de 2014, **aceptado:** 16 de enero de 2015

RESUMEN. En enero de 2013 se estableció un experimento en el Campo Experimental Cotaxtla ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, con el objetivo de determinar la efectividad de diferentes tratamientos herbicidas en el control del zacate Johnson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), la selectividad al arroz y el efecto en el rendimiento de grano. Se sembró la variedad Milagro Filipino a densidad de 125 kg ha⁻¹. Se evaluaron 10 tratamientos en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron fenoxaprop-etil a 45 y 67.5 g ha⁻¹, bispiribac-sodio a 22.4 y 30 g ha⁻¹, cihalofop-butilo a 270 y 360 g ha⁻¹, nicosulfurón a 40 y 60 g ha⁻¹, propanil a 4 320 g ha⁻¹ y un testigo sin aplicación. Al momento de la aplicación, la densidad de población de *S. halepense* era de 875 000 plantas ha⁻¹. El control de *S. halepense* y la toxicidad al arroz se evaluó a los 15, 30, 45 y 60 d después de la aplicación (dda). A los 60 dda se tuvieron controles superiores a 95 % con las dos dosis de nicosulfurón y la más alta de bispiribac-sodio. El fenoxaprop-etil en sus dos dosis ocasionó ligera toxicidad al arroz, la cual desapareció entre los 15 y 30 dda con la dosis baja, y a los 30 y 45 dda con la dosis alta. Los mayores rendimientos de arroz se obtuvieron con las mayores dosis de bispiribac-sodio y nicosulfurón, los cuales oscilaron entre 4 509 y 4 630 kg ha⁻¹.

Palabras clave: Efectividad, herbicidas, rendimiento de grano, toxicidad, zacate perenne

ABSTRACT. In January 2013, an experiment was established at the Cotaxtla Experiment Station located in the municipality of Medellín, Veracruz, aimed at determining the effectiveness of different herbicide treatments in the control of Johnson grass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), the selectivity to rice and the effect on grain yield. The Milagro Philipino rice variety was planted at a density of 125 kg ha⁻¹. A total of ten treatments were evaluated in an experimental randomized block design with four replications. The treatments were fenoxaprop-ethyl at 45 and 67.5 g ha⁻¹, bispyribac-sodium at 22.4 and 30 g ha⁻¹, cyhalofop-butyl at 270 and 360 g ha⁻¹, nicosulfuron at 40 and 60 g ha⁻¹, propanil at 4 320 g ha⁻¹ and an untreated control. At the time of treatment, the population density of *S. halepense* was of 875 000 plants ha⁻¹. The control of *S. halepense* and the toxicity for rice were evaluated at 15, 30, 45 and 60 d and after the day of application (da). After 60 d, control of over 95 % were observed with both nicosulfuron doses and the highest bispyribac-sodium dose. Fenoxaprop-ethyl at both doses caused a light toxicity in rice, which disappeared between the 15 and 30 da, with the lower dose and at the 30 and 45 da with the highest dose. The highest yields of rice were obtained with the highest doses of bispyribac-sodium and nicosulfuron, ranging between 4 509 and 4 630 kg ha⁻¹.

Key words: Effectiveness, herbicide, grain yield, toxicity, perennial grass

INTRODUCCIÓN

El zacate Johnson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) es la principal maleza del cultivo del arroz en México, que se puede presentar en siembras de riego y temporal (Esqueda-Esquivel 2000a), y es de difícil control (Akkari et al. 1986). Además, produce sustancias alelopáticas que inhiben la germinación y el desarrollo de las plántulas, lo que favorece su dispersión y colonización (Vasilakoglou et al. 2005, Liu et al. 2011).

En México, el control de malezas en el cultivo de arroz se realiza con la aplicación de herbicidas (Esqueda-Esquivel et al. 2010). Durante más de 50 años, el propanil, se ha utilizado de forma extensiva en el control de las gramíneas anuales en arroz en el estado de Veracruz (Esqueda-Esquivel y Tosquy-Valle 2013); debido a que *S. halepense* se reproduce por semilla y rizomas, el herbicida tiene un efecto limitado en su control (Esqueda-Esquivel et al. 2010). Otra opción disponible para controlar *S. halepense* es el fenoxaprop-etil, un herbicida de la familia de los ariloxifenoxipropiónicos, que inhibe la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACCasa) (Volenberg y Stoltenberg 2002). Éste causa toxicidad al arroz, cuando se aplica antes de que desarrollen las primeras cuatro hojas o después de la formación de macollos, lo que afecta el rendimiento (Griffin y Baker 1990, Valverde-Elías et al. 2000, Esqueda-Esquivel et al. 2010).

La dependencia de un herbicida o de un grupo de herbicidas con el mismo modo de acción para el control de una o varias especies de malezas, contribuye a generar presión de selección, lo que favorece la aparición de biotipos con resistencia (Valverde-Elías et al. 2000). Al respecto, se ha detectado resistencia a fenoxaprop-etil en malezas de los géneros *Echinochloa* y *Leptochloa* (Kim et al. 2000, Pornprom et al. 2006, Bakkali et al. 2007, Valverde-Elías 2007). Así como biotipos de *S. halepense* resistentes a diversos herbicidas no utilizados en arroz, que tienen el mismo modo de acción que fenoxaprop-etil (Burke et al. 2006, Kaloumenos y Eleftherohorinos 2009). Por lo anterior, la probabilidad de aparición de biotipos de

S. halepense resistentes a fenoxaprop-etil es alta, más si el herbicida se utiliza como única opción. Para minimizar o disminuir el riesgo de la aparición de biotipos resistentes, se requiere contar con tratamientos alternativos basados en herbicidas con acción diferente a fenoxaprop-etil, para implementar programas de control de *S. halepense* (Valverde-Elías et al. 2000). Uno de los herbicidas, con modo de acción diferente al fenoxaprop-etil es bispiribac-sodio, de la familia química de los pirimidiltiobenzos, que actúa como inhibidor de la enzima acetolactato sintasa (ALS) (Fischer et al. 2000, Damalas et al. 2008, Clavijo 2010). En la actualidad, se emplea en México para el control del zacate anual pata de pichichi (*Echinochloa colona* (L.) Link) en el cultivo del arroz (Esqueda-Esquivel y Tosquy-Valle 2012). En estudios de invernadero con este herbicida se obtuvieron controles del 94 y 98 % en plántulas de *S. halepense* provenientes de semilla (Quintana et al. 2013).

Otro herbicida inhibidor de la ALS, es el nicosulfurón de la familia química de las sulfonilureas (Hernández-Labrador et al. 2000, Stefanović et al. 2005). Este último herbicida no se encuentra registrado para el cultivo de arroz, aunque se utiliza para el control selectivo del arroz rojo (*Oryza* spp.) (Webster y Masson 2001, Fontana et al. 2007a, Fontana et al. 2007b). En adición a lo anterior, Carvalho et al. (2010) indican que para evitar daños tóxicos, el arroz se puede sembrar 60 d después de la aplicación de nicosulfurón. Sin embargo, Esqueda-Esquivel (2000b) encontró que con la dosis de 40 g ha⁻¹, la toxicidad es baja, cuando se aplica 10 d después de la emergencia.

El herbicida cihalofop-butilo es un compuesto ariloxifenoxipropiónico con el mismo modo de acción que el fenoxaprop-etil (Mallory-Smith y Retzinger 2003), que se utiliza para controlar *E. colona* y otras gramíneas anuales en el arroz, y tiene una mayor selectividad que fenoxaprop-etil (Kim et al. 2005). No existen estudios de la efectividad de este herbicida en el control de *S. halepense*, aunque la empresa fabricante indica que solamente tiene efecto en plantas originadas de semilla (PLM 2011). Por lo anterior, la presente investigación tuvo el objetivo

de determinar la efectividad de diferentes herbicidas en el control de *S. halepense*, y su efecto en el rendimiento y la toxicidad en arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que se localiza en el municipio de Medellín, Veracruz, entre los 18° 50' de LN y 96° 10' de LO, a una altitud de 15 msnm; con clima cálido subhúmedo *Aw (w)(g)*, que corresponde a los subtipos menos húmedos de los cálidos subhúmedos (García 1987). La temperatura media anual es de 25.4 °C, máxima de 42.5 °C y mínima de 7 °C; y precipitación pluvial anual de 1 400 mm. El suelo del lote experimental es de textura migajón-arcillosa, con pH de 6.43; su contenido de materia orgánica es de 2.14 %, de nitrógeno de 0.11 %, de potasio de 160 ppm y fósforo de 37.3 ppm.

El lote de siembra tenía una población natural de *S. halepense* proveniente en 80 % de semilla y el resto de rizoma. El siete de enero de 2013 se chapeó la parte aérea de las plantas de *S. halepense*, y el terreno se barbechó y rastreó en dos ocasiones. Posteriormente se trazaron surcos a 30 cm de separación y canales para conducir el agua de riego.

La siembra se efectuó de forma manual a chorrillo el 30 de enero, con semilla de la variedad Milagro Filipino, a densidad de 125 kg ha⁻¹. Antes de la siembra se aplicó al voleo superfosfato de calcio triple, en dosis de 60 kg ha⁻¹. Después de la siembra, se dio un riego pesado de germinación; para mantener la humedad adecuada para el desarrollo del arroz, en el transcurso del ciclo del cultivo se proporcionaron 18 riegos de 4 cm de lámina, cada cinco o siete días, de acuerdo a las condiciones ambientales.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por 10 surcos de 6 m de longitud. Los herbicidas y dosis de ingrediente activo fueron fenoxaprop-etil a 45 y

67.5 g ha⁻¹, bispiribac-sodio a 22.4 y 30 g ha⁻¹, cihalofop-butilo a 270 y 360 g ha⁻¹, nicosulfurón a 40 y 60 g ha⁻¹, propanil a 4 320 g ha⁻¹ y un testigo sin aplicación.

Los tratamientos de herbicidas se aplicaron el 28 de marzo, cuando las plantas de arroz tenían entre cuatro y seis hojas, con altura promedio de 14.60 cm, mientras que las plantas de *S. halepense* tenían entre cuatro y siete hojas, con altura promedio de 26.53 cm. Se utilizó un aspersor motorizado de mochila, equipado con un aguilón y cuatro boquillas de abanico plano 8003, que proporcionaron un gasto de agua de 447 L ha⁻¹. Sólo se aplicó el tratamiento a los ocho surcos centrales de cada unidad experimental, dejando sin aplicar los surcos de las orillas, los cuales se utilizaron como testigos laterales al momento de las evaluaciones. A todos los tratamientos se les agregó el surfactante Inex-A en dosis de 250 mL por 100 L de agua, con excepción de bispiribac-sodio, en el que se utilizó Kinetic a la misma dosis.

Antes de aplicar los tratamientos, se cuantificó una densidad de población de *S. halepense* de 827 500 plantas ha⁻¹ mediante muestreos al azar realizados con un cuadro de 1 m x 1 m en las parcelas de los testigos sin aplicación (Ntanos et al. 2000). El cuatro de abril y el cuatro de mayo se aplicaron al voleo 90 kg ha⁻¹ de nitrógeno, utilizando como fuente urea. Para controlar una infestación de chicharritas (*Empoasca* sp.) se aplicó la mezcla de carbaril + malatión en dosis de 400 + 1 000 g ha⁻¹, respectivamente.

El control de *S. halepense* y la toxicidad al arroz se evaluó a los 15, 30, 45 y 60 d después de la aplicación (dda) de los tratamientos. Para ambas evaluaciones se utilizó el método visual, utilizando en los dos casos la escala de 0 a 100 %, en donde 0 indicó que no existía ningún efecto en *S. halepense* o el arroz, y 100, cuando *S. halepense* y el arroz fueron eliminados (Esqueda-Esquivel y Tosquy-Valle 2009). El 24 de julio se cosecharon de forma manual los seis surcos centrales de cada unidad experimental. El grano se limpió de impurezas, se pesó y se ajustó al 14 % de humedad para calcular el rendimiento de arroz palay en kg ha⁻¹.

Antes de efectuar los análisis estadísticos, para homogenizar las varianzas, los datos de control de *S. halepense* se transformaron a arco seno x raíz cuadrada del porcentaje, y los de toxicidad al arroz a su equivalente de raíz cuadrada del porcentaje (Gomez y Gomez 1984). Los análisis de varianza se efectuaron con el paquete estadístico de diseños experimentales versión 2.5 de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares-Sáenz 1994). Para determinar la diferencia entre medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). Además se efectuó un análisis de correlación entre los porcentajes de control de cada una de las fechas de evaluación y el rendimiento de grano obtenidos con los tratamientos, para determinar si el grado de control afectaba el rendimiento de arroz palay.

RESULTADOS

Control de *S. halepense*

En la primera evaluación, el mayor control de *S. halepense*, se obtuvo con las dos dosis de fenoxaprop-etil, bispiribac-sodio y nicosulfurón, las cuales fueron estadísticamente iguales y variaron entre 94 y 97 %. El control del propanil fue significativamente menor al de los tratamientos anteriores, aunque superó al cihalofop-butilo entre 20 y 25 %. A los 30 dda, los dos tratamientos de nicosulfurón y de bispiribac-sodio mantenían controles superiores a 95 %, siendo la dosis baja de bispiribac-sodio estadísticamente igual al control de fenoxaprop-etil, que fue ligeramente menor a 90 %. Con propanil, también se observó una reducción en el control, sin embargo, ésta no fue tan marcada como la que se tuvo con las dosis de cihalofop-butilo. A los 45 y 60 dda, con nicosulfurón se tuvieron controles de *S. halepense* superiores a 98 %, siendo los tratamientos de mayor efectividad, aun cuando el control fue similar estadísticamente al de la dosis alta de bispiribac-sodio.

La dosis baja de bispiribac-sodio tuvo un control semejante de *S. halepense* al de la dosis baja de nicosulfurón. A los 45 y 60 dda, se redujo el control con fenoxaprop-etil, aunque éste fue semejante en cualquiera de sus dosis evaluadas. El control con

propanil fue ligeramente inferior a 70 %, pero mayor al de cihalofop-butilo, que en la última evaluación tuvo un control inferior a 30 % en ambas dosis evaluadas (Tabla 1).

Toxicidad al arroz

Fenoxaprop-etil fue el único herbicida que ocasionó toxicidad a las plantas de arroz; a los 15 dda con la dosis alta, la toxicidad promedio fue ligeramente superior a 10 %, mientras que en la dosis baja su valor fue cercano a 6 %, los cuales fueron diferentes de forma estadística. A los 30 DDA, solamente se observaron daños ligeros en el arroz con la dosis alta, y desaparecieron antes de los 45 dda (Tabla 2).

Rendimiento

En los tratamientos de bispiribac-sodio a 22.4 y 30 g ha⁻¹ y nicosulfurón a 40 y 60 g ha⁻¹ se obtuvieron los mayores rendimientos de arroz palay, los cuales fueron superiores a 4 500 kg ha⁻¹. El rendimiento de estos cuatro tratamientos fue igual entre ellos, y superior al resto de los tratamientos, lo que refleja un buen control de *S. halepense* y alta selectividad al arroz. Con fenoxaprop-etil a 67.5 g ha⁻¹ se obtuvo un rendimiento superior a los 3 300 kg ha⁻¹, que fue mayor al obtenido con el mismo herbicida a 45 g ha⁻¹, que produjo 2 586 kg ha⁻¹. La reducción en rendimiento que se observó con este herbicida, puede deberse a que el control del *S. halepense* fue menor al de los otros tratamientos, y es el único herbicida que no es completamente selectivo. Los controles decrecientes entre una evaluación y la siguiente con propanil, se reflejan en un bajo rendimiento de arroz palay, aunque fue estadísticamente superior al rendimiento de los tratamientos con cihalofop-butilo, en los cuales el deficiente control del herbicida ocasionó que no se produjera arroz (Tabla 2). Los coeficientes de correlación (r) determinados a los 15, 30, 45 y 60 dda, fueron de 0.8012, 0.8916, 0.9426 y 0.9535, respectivamente; estos valores indican que en todas las épocas de evaluación, el grado de control de *S. halepense* afectó de forma significativa el rendimiento de arroz palay, y que

Tabla 1. Efecto de tratamientos herbicidas en el control de Zacate Johnson (%) en arroz de riego a los 15, 30, 45 y 60 d después de la aplicación (dda).

Table 1. Effect of herbicide treatments in the control of Johnson grass (%) in irrigated rice at 15, 30, 45 and 60 d of application (daa).

Tratamiento	15 dda	30 dda	45 dda	60 dda
Fenoxaprop-etil (45 g ha ⁻¹)	94.00 ^a	88.25 ^c	80.75 ^{de}	79.50 ^c
Fenoxaprop-etil (67.5 g ha ⁻¹)	95.50 ^a	89.50 ^c	83.50 ^{cd}	82.50 ^c
Bispiribac-sodio (22.4 g ha ⁻¹)	96.50 ^a	95.50 ^{bc}	93.25 ^{bc}	93.00 ^b
Bispiribac-sodio (30 g ha ⁻¹)	97.00 ^a	97.50 ^{ab}	95.50 ^{ab}	95.50 ^{ab}
Cihalofop-butil (270 g ha ⁻¹)	56.25 ^c	43.75 ^e	32.50 ^f	26.25 ^d
Cihalofop-butil (360 g ha ⁻¹)	62.50 ^c	48.75 ^e	33.75 ^f	28.75 ^d
Nicosulfurón (40 g ha ⁻¹)	96.00 ^a	98.50 ^{ab}	98.25 ^{ab}	98.50 ^{ab}
Nicosulfurón (60 g ha ⁻¹)	96.75 ^a	99.50 ^a	99.50 ^a	99.50 ^a
Propanil (4 320 g ha ⁻¹)	82.00 ^b	74.50 ^d	68.75 ^e	68.75 ^c
Testigo sin aplicación	0.00 ^d	0.00 ^f	0.00 ^g	0.00 ^e

Las letras a la derecha representan la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes. La comparación es entre tratamientos para cada fecha de evaluación.

Tabla 2. Efecto de tratamientos herbicidas en la toxicidad al arroz de riego (%) a los 15, 30, 45 y 60 d después de la aplicación (dda) y el rendimiento de arroz palay.

Table 2. Effect of herbicide treatments in irrigated rice toxicity (%) at 15, 30, 45 and 60 d after application (daa) and paddy rice yield.

Tratamiento	15 dda	30 dda	45 dda	60 dda	Rendimiento de arroz palay (kg ha ⁻¹)
Fenoxaprop-etil (45 g ha ⁻¹)	5.75 ^b	0.00 ^b	0.00	0.00	2 586 ^c
Fenoxaprop-etil (67.5 g ha ⁻¹)	10.75 ^a	3.50 ^a	0.00	0.00	3 329 ^b
Bispiribac-sodio (22.4 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	4 509 ^a
Bispiribac-sodio (30 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	4 630 ^a
Cihalofop-butil (270 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	0 ^e
Cihalofop-butil (360 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	0 ^e
Nicosulfurón (40 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	4 520 ^a
Nicosulfurón (60 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	4 541 ^a
Propanil (4 320 g ha ⁻¹)	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	1 807 ^d
Testigo sin aplicación	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00	0.00	0 ^e

Las letras a la derecha representan la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Para los datos de toxicidad, la comparación es entre tratamientos para cada fecha de evaluación.

los tratamientos con mayor control se obtienen los mayores rendimientos.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el herbicida bispiribac-sodio, es una opción para el control de *S. halepense*. En este trabajo se documenta el efecto de bispiribac-sodio sobre *S. halepense* en condiciones de campo, ya que sólo se tienen reportes

bajo condiciones de invernadero (Quintana et al. 2013). Con la aplicación de bispiribac-sodio, el control promedio de *S. halepense* fue 13 % mayor que con fenoxaprop-etil, con efecto en plantas provenientes de semilla y de rizoma, lo cual es importante si se quiere reducir la tasa de colonización de *S. halepense* en campo (Liu et al. 2011). Es importante añadir el surfactante Kinetic cuando se aplica bispiribac-sodio, ya que con otros surfactantes su efectividad puede reducirse (Koger et al. 2007).

El herbicida nicosulfurón puede ser una alternativa para el control de *S. halepense* en arroz (Tabla 1). Aunque, este herbicida está autorizado sólo para su uso en maíz, ya se tienen reportes de su evaluación en arroz (Esqueda-Esquivel 2000b); todavía se tienen que realizar estudios para determinar la época de aplicación y dosis adecuada para que no ocasione daños al cultivo. De llegar a utilizarse, tendría que formar parte de un programa de manejo, que contemple la rotación de herbicidas, ya que se han encontrado biotipos de *S. halepense* resistentes a nicosulfurón en Estados Unidos de América, Italia, Serbia y Montenegro, Chile, México y Venezuela (Bozic et al. 2007, Heap 2014).

Aunque el cihalofop-butilo pertenece a la misma familia química que el fenoxaprop-etil, su efecto sobre *S. halepense* fue deficiente. Aunque cuando la empresa fabricante del herbicida recomienda su uso para el control de *S. halepense* proveniente de semilla (PLM 2011), los resultados obtenidos no respaldan esta recomendación, lo que podría deberse a que se tenían plantas provenientes de semilla y de rizoma; de forma adicional, el tamaño de las malezas podría afectar la efectividad del herbicida. En trabajos realizados por Jha et al. (2010) se encontró que cihalofop-butilo controló de forma eficiente las plántulas de *E. crus-galli*, pero su efecto se redujo al aplicarlo con plantas de mayor tamaño. En el mismo sentido, Hernández-Chávez y Herrera-Murillo (2005) determinaron que el herbicida tuvo control superior al 90 % en *Brachiaria brizantha* y *B. decumbens*, cuando se aplicó en plantas que tenían entre tres y cinco hojas de desarrollo, mientras que al aplicarlo al inicio del amacollamiento, el control fue menor a 20 %. Lo anterior explicaría su efecto deficiente en *S. halepense*, cuya altura promedio en la aplicación era de 26.53 cm. Debido a que propanil es un herbicida de contacto, y que no tiene la capacidad de trasladarse para afectar los rizomas de *S. halepense*, su mayor efecto ocurrió sobre plantas originadas de semilla. Además, se tienen reportes que indican que propanil actúa mejor sobre malezas pequeñas (Leah et al. 1995).

Con relación a la toxicidad a la variedad de

arroz Milagro Filipino, los reportes que indican que bispiribac-sodio, cihalofop-butilo y propanil son altamente selectivos al cultivo (Esqueda-Esquivel y Tosquy-Valle 2009, 2012, 2013, 2014). Por lo general fenoxaprop-etil ocasiona toxicidad al arroz, y es mayor cuando se aplica sobre plantas de entre tres y cuatro hojas (Esqueda-Esquivel et al. 2010), momento en que el arroz es más sensible al herbicida (Vallejos y Soto 1995); por lo anterior, la toxicidad observada en este experimento se considera baja y se puede asociar a que la aplicación del fenoxaprop-etil se realizó después de que el arroz tenía más de cuatro hojas y antes de que llegara a la etapa reproductiva.

En general, los rendimientos de grano fueron bajos, debido a que durante el ciclo del cultivo se presentaron temperaturas más bajas de lo común (16.9 a 17.8 °C), que alargaron el ciclo del cultivo y afectaron el desarrollo de las plantas (Cruz 2010, Ghadirnezhad y Fallah 2014). Bajo estas condiciones, el rendimiento mayor de grano con nicosulfurón y bispiribac-sodio es un indicador del control eficiente sobre *S. halepense* y de alta selectividad al arroz. Al estar registrado para su uso en el cultivo de arroz, bispiribac-sodio podría utilizarse sin problemas para controlar *S. halepense*, mientras que nicosulfurón debería pasar un proceso de evaluación y registro, para poder ser considerado como alternativa para el control de *S. halepense*.

CONCLUSIONES

Bispiribac-sodio a dosis de 22.4 g ha⁻¹ puede utilizarse como alternativa al Fenoxaprop-etil, para controlar de forma eficiente y selectiva a *S. halepense*. Además, el tratamiento con bispiribac-sodio es más barato, y con este herbicida se obtienen rendimientos superiores a los obtenidos con fenoxaprop-etil. Para el uso de nicosulfurón se requieren estudios que confirmen su selectividad al arroz.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por

el financiamiento del proyecto: "Evaluación de materiales genéticos de arroz de grano largo delgado

para las regiones productoras de México", del cual forma parte este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Akkari KH, Talbert RE, Ferguson JA, Gilmour JT, Khodayari K (1986) Herbicides and seeding rate effects on sprinkler-irrigated rice. *Agronomy Journal* 78: 927-929.
- Bakkali Y, Ruiz-Santaella JP, Osuna MD, Wagner J, Fischer AJ, De Prado R (2007) Late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*): Mechanisms involved in the resistance to fenoxaprop-p-ethyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 4052-4058.
- Bozic D, Vrbnicanin S, Barac M, Stefanovic L (2007) Determination of Johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] level of sensibility to nicosulfuron. *Maydica* 52: 271-275.
- Burke IC, Thomas WE, Burton JD, Spears JF, Wilcut JW (2006) A seedling assay to screen aryloxyphenoxypropionic acid and cyclohexanedione resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Technology* 20: 950-955.
- Carvalho FT de, Breda-Moretti T, Alves de Souza P (2010) Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine sobre culturas agrícolas subsequentes. *Revista Brasileira de Herbicidas* 9: 26-34.
- Clavijo J (2010) Acción de los herbicidas en un arrozal: modo y mecanismo. In: Degiovanni-Beltramo V, Martínez-Racines CP, Motta OF (eds.). *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Publicación CIAT No. 365. Tomo I. CIAT. FLAR. UNICORDOBA. Cali, Colombia. pp: 431-446.
- Cruz M (2010) Tolerancia del arroz a la temperatura baja. En: Degiovanni-Beltramo V, Martínez-Racines CP, Motta OF (eds.). *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Publicación CIAT No. 365. Tomo I. CIAT. FLAR. UNICORDOBA. Cali, Colombia. pp: 180-190.
- Damalas CA, Dhima KV, Eleftherohorinos IG (2008) Bispyribac-sodium efficacy on early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) and late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) as affected by coapplication of selected rice herbicides and insecticides. *Weed Technology* 22: 622-627.
- Esqueda-Esquivel VA (2000a) Las malezas del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en México. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza* Núm. Especial: 63-81.
- Esqueda-Esquivel VA (2000b) Toxicidad del herbicida nicosulfurón aplicado en cuatro etapas de desarrollo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11: 109-113.
- Esqueda-Esquivel VA, Tosquy-Valle OH (2009) Alternativas al propanil para controlar *Echinochloa colona* (L.) Link en arroz de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 20: 111-119.
- Esqueda-Esquivel VA, Tosquy-Valle OH (2012) Validación de bispiribac-sodio + clomazone, nueva alternativa de control químico de malezas en arroz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1115-1128.
- Esqueda-Esquivel VA, Tosquy-Valle OH (2013) Control químico de *Echinochloa colona* (L.) Link resistente al propanil y *Cyperus iria* L. en arroz (*Oryza sativa* L.) de temporal en Tres Valles, Veracruz. *Universidad y Ciencia* 29: 113-121.
- Esqueda-Esquivel VA, Tosquy-Valle OH (2014) Validación de cihalofop-butilo + clomazone para el control de malezas en arroz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 741-751.

- Esqueda-Esquivel VA, Tosquy-Valle OH, Flores-Morales DS (2010) Control de malezas en el cultivo de arroz de temporal en Veracruz. Folleto Técnico Núm. 53. INIFAP. CIR Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz, México. 41p.
- Fischer AJ, Bayer DE, Carriere MD, Ateh CM, Yim K (2000) Mechanisms of resistance to bispyribac-sodium in an *Echinochloa phyllopogon* accession. Pesticide Biochemistry and Physiology 68: 156-165.
- Fontana LC, Agostinetto D, Pinto JJO, Rigoli RP, Figueredo SS, Rosenthal MD (2007a) Tolerância de cultivares de arroz irrigado (*Oryza sativa*) ao herbicida nicosulfuron e à mistura formulada de imazethapyr + imazapic. Planta Daninha 25: 791-798.
- Fontana LC, Agostinetto D, Pinto JJO, Rosenthal MD, Rigoli RP, Figueredo SS (2007b) Controle de arroz-vermelho (*Oryza sp.*) com o herbicida nicosulfuron ou a mistura formulada de imazethapyr + imazapic. Planta Daninha 25: 783-790.
- Ghadirnezhad R, Fallah A (2014) Temperature effect on yield and yield components of different rice cultivars in flowering stage. International Journal of Agronomy 2014: 1-4.
- García E (1987) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4^{ta}. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 130p.
- Gomez KA, Gomez AA (1984) Statistical procedures for agricultural research. 2nd. ed. J. Wiley & Sons. New York, USA. 680p.
- Griffin JL, Baker JB (1990) Tolerance of rice (*Oryza sativa*) cultivars to fenoxaprop, sethoxydim, and haloxyfop. Weed Science 38: 528-531.
- Heap I (2014) The international survey of herbicide resistant weeds. Weeds resistant to ALS inhibitors (B/2) by species and country <http://www.weedscience.org/Summary/MOA.aspx?MOAID=3> . Fecha de consulta 26 de mayo de 2014.
- Hernández-Chavez M, Herrera-Murillo F (2005) Respuesta de los pastos *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha* y *B. decumbens* a herbicidas posemergentes con acción graminicida. Revista de Agricultura Tropical 35: 15-25.
- Hernández-Labrador MM, Mejía-Arreaza J, Lazo-Ariza JV (2000) Evaluación de nicosulfuron (4 % SC) en el control de malezas en maíz (*Zea mays* L.). Revista de la Facultad de Agronomía 26: 1-13.
- Jha P, Norsworthy JK, Scott RC (2010) Cyhalofop application timing and adjuvant selection for *Echinochloa crus-galli* control in rice. Crop Protection 29: 820-823.
- Kaloumenos NS, Eleftherohorinos IG (2009) Identification of a Johnson grass (*Sorghum halepense*) biotype resistant to ACCase-inhibiting herbicides in Northern Greece. Weed Technology 23: 470-476.
- Kim D-S, Caseley JC, Brain P, Riches CR, Valverde EB (2000) Rapid detection of propanil and fenoxaprop resistance in *Echinochloa colona*. Weed Science 48: 695-700.
- Kim JS, Oh JI, Kim TJ, Jong YP, Kwang YC (2005) Physiological basis of differential phytotoxic activity between fenoxaprop-P-ethyl and cyhalofop-butyl-treated barnyardgrass. Weed Biology and Management 5: 39-45.
- Koger CH, Dodds DM, Reynolds DB (2007) Effect of adjuvants and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). I. Efficacy, rainfastness, and soil moisture. Weed Science 55: 399-405.

- Leah JM, Caseley JC, Riches CR, Valverde-Elías B (1995) Age-related mechanisms of propanil tolerance in jungle rice, *Echinochloa colona*. Pesticide Science 43: 347-354.
- Liu Y, Zhang C, Wei S, Cui H, Huang H (2011) Compounds from the subterranean part of Johnson grass and their allelopathic potential. Weed Biology and Management 11: 160-166.
- Mallory-Smith CA, Retzinger EJ Jr (2003) Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. Weed Technology 17: 605-619.
- Ntanos DA, Koutroubas SD, Mavrotas C (2000) Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in water-seeded rice (*Oryza sativa*) with cyhalofop butyl. Weed Technology 14: 383-388.
- Olivares-Sáenz E (1994) Paquete estadístico de diseños experimentales (programa de cómputo) versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.
- PLM (2011) Diccionario de Especialidades Agroquímicas. 21 edición PLM de México. México, DF. 1521p.
- Pornprom T, Mahatamnuchoke P, Usui K (2006) The role of altered acetyl-CoA carboxylase in conferring resistance to fenoxaprop-P-ethyl in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees). Pest Management Science 62: 1109-1115.
- Quintana Y, Ortiz A, Pérez P, Fischer A (2013) Control químico de dos accesiones de *Sorghum halepense* L. Pers., resistentes a nicosulfuron y foramsulfuron+iodosulfuron. En: Bojórquez-Bojórquez GA, Esqueda-Esquivel VA, Balbuena-Melgarejo A, Rosales-Robles E, Sánchez-Nava S, Santillanes-Navidad R, et al. Manejo y control de malezas en Latinoamérica. Asociación Latinoamericana de Malezas. ASOMECEMA A.C. Universidad Autónoma de Sinaloa. Universidad Autónoma del Estado de México. Culiacán, Sinaloa, México. pp: 926-932.
- Stefanović L, Simić M, Pajić Z (2005) Effects of nicosulfuron application timing on weeds and sweet maize crop. Acta Herbologica 14: 23-32.
- Vallejos E, Soto A (1995) Influencia del estado de desarrollo del arroz sobre su tolerancia al fenoxaprop-etilo y sobre la interferencia de la maleza *Ischaemun rugosum*. Agronomía Costarricense 19: 67-73.
- Valverde-Elías B (2007) Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin America. Weed Technology 21: 310-323.
- Valverde-Elías B, Riches CR, Caseley JC (2000) Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: Experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. Cámara de Insumos Agropecuarios. San José, Costa Rica. 135p.
- Vasilakoglou I, Dhima K, Eleftherohorinos I (2005) Allelopathic potential of Bermudagrass and Johnsongrass and their interference with cotton and corn. Agronomy Journal 97: 303-313.
- Volenberg DS, Stoltenberg DE (2002) Giant foxtail (*Setaria faberi*) outcrossing and inheritance of resistance to acetylcoenzyme A carboxylase inhibitors. Weed Science 50: 622-627.
- Webster EP, Masson JA (2001) Acetolactate synthase-inhibiting herbicides on imidazolinone-tolerant rice. Weed Science 49: 652-657.

