

Estado actual de la resistencia de *Ischaemum rugosum* Salisb., al herbicida profoxidim en Venezuela

Current status of resistance *Ischaemum rugosum* Salisb., to herbicide profoxidim in Venezuela

A. Ortiz¹, J.P. Moreno¹, R. Matheus¹, L. López-Méndez¹, S. Torres¹,
C. Zambrano¹, Y. Quintana¹, P. Pérez¹ y A. Fischer²

Laboratorio de Malezas, Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Campus Maracay, Av. Universidad, Maracay, Estado Aragua, Venezuela, CP 2101. ²University of California, Department of Plant Science, One Shields Ave., Davis, CA, USA.

Resumen

Ischaemum rugosum Salisb., es actualmente la maleza más difícil de controlar en arrozales de Venezuela. El objetivo de este trabajo fue determinar la resistencia de *I. rugosum* a profoxidim (inhibidor de ACCasa). Se establecieron dos experimentos: (1) bioensayo de detección y (2) respuesta a dosis; en el primero se evaluaron 87 accesiones con la dosis recomendada de profoxidim (160 g i.a. ha⁻¹), comparando con un testigo susceptible (IR143G), y se estimó el porcentaje de peso fresco a los 21 días después de la aplicación. Para cuantificar la resistencia, se utilizaron las accesiones resistentes (R): IR37P, IR44P, IR75G e IR90G; y el testigo susceptible, usando 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 gi.a. ha⁻¹ de profoxidim para las accesiones R y 0; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40 y 80 g i.a. ha⁻¹ para la S. Treinta y siete accesiones de Portuguesa (P), 6 de Guárico (G), 5 de Cojedes, dos de Barinas y una de Carabobo resultaron resistentes a profoxidim (59% R). IR37P e IR44P mostraron índices de resistencia ($IR=ED_{50}R/ED_{50}S$) de 92,62 y 100,49 respectivamente, mientras que para IR75G e IR90G no fue posible estimar los elevados índices de resistencia dado que $ED_{50}R > 1280$ g i.a. ha⁻¹, demostrando la resistencia de *I. rugosum* al herbicida profoxidim.

Palabras clave: *Oryza sativa* L., paja rugosa, resistencia a herbicida, inhibidor de ACCasa

Abstract

Ischaemum rugosum Salisb., is currently the most difficult weed problem in Venezuelan rice fields. The objective of this research was to determine the resistance of *I. rugosum* to profoxydim. Two experiments were established: (1) bioassay detection and (2) *whole-plant dose-response*. In the first experiment, 87 accessions and a susceptible control (IR143G) were treated with 160 g a.i. ha⁻¹ of profoxydim (recommended rate); percentage of fresh weight was estimated 21 days after application. To quantify the resistance level, four resistant accessions: IR37P, IR44P, IR75G and IR90G, were treated with 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1280 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim, and the susceptible accession IR143G with 0, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 and 80 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim. Thirty-seven accessions from Portuguesa State, six from Guárico, six from Cojedes, two from Barinas and one from Carabobo, were found resistant to profoxidim (59% R). The resistance index (RI = ED₅₀R/ED₅₀S) of IR37P and IR44P were 92.62 and 100.49, respectively, corroborating the resistance of *I. rugosum* to profoxidim. RI values of IR75G and IR90G could not be estimated because (ED₅₀R > 1280 g i.a. ha⁻¹).

Key words: *Oryza sativa* L., *Ischaemum rugosum* Salisb., herbicide-resistant, ACCase inhibitor

Introducción

La paja rugosa es una planta con metabolismo C₄ y originaria del sures-te de Asia (Baki, 2004). En Malasia afecta los cultivos de caña de azúcar, caucho y palma aceitera (Baki y Lajili, 2003). En Venezuela es la maleza más importante del cultivo del arroz y su control es errático con la mayoría de los herbicidas postemergentes disponibles en el mercado (Ortiz *et al.*, 2012).

Las recomendaciones técnicas para el control de *I. rugosum* en el país se basan principalmente en el control químico y en la preparación del suelo en batido (Cásares y Ortiz, 2009). Entre los herbicidas postemergentes usados en Venezuela para el control de *I. rugosum* se encuentran: profoxidim, el cual ha sido ampliamente comercializado desde hace más de 15 años, propanil, bispiribac-sodio,

Introduction

Ischaemum rugosum Salisb., is a plant with C₄ metabolism and original from the Southeast of Asia (Baki, 2004). In Malaysia affects the crops of sugar cane, and oily palm (Baki and Lajili, 2003). In Venezuela, it is the most important weed in the rice fields and its control is erratic with most of the post-emerging herbicides available in the market (Ortiz *et al.*, 2012).

The technical recommendations for controlling *I. rugosum* in the country are mainly based in the chemical control and the soil preparation (Cásares and Ortiz, 2009). Among the post-emerging herbicides used in Venezuela for the control of *I. rugosum* are: profoxydim, which has been widely commercialized for more than 15 years, propanyl, bispiribac-sodium, piribenzoxim and fenoxaprop-

piribenzoxim y fenoxaprop-p-etilo; en preemergencia: butacloro, bentiocarbo, oxadiazón, pendimetalin y oxifluorfen; y en presiembra, glifosato (Ortiz, 2008).

La paja rugosa ha mostrado resistencia a bipiridilos en Malasia (Baki, 2000), a fenoxaprop-etilo en Colombia (Valverde, 2007; Rao *et al.*, 2007) y Venezuela (Rodríguez, 2013), a propanil en Sri Lanka (Sangakkara *et al.*, 2004) y Venezuela (Medina, 2012), a bispiribac-sodio en Asia (Sangakkara *et al.*, 2004), Venezuela (Zambrano y Espinoza, 2005; Apóstolo, 2009, Ortiz *et al.*, 2013) y Colombia (Hernández, 2011), a profoxidim (Araujo y Zambrano, 2008) y a clomazone (Palencia, 2012).

El profoxidim es un herbicida perteneciente a la familia química de las ciclohexanodionas (DIMs), cuyo mecanismo de acción es inhibir a la enzima acetil coenzima A carboxilasa conocida como ACCasa (EC6.4.1.2). La ACCasa es la primera enzima común en la ruta de la biosíntesis de ácidos grasos (Walter, 2001, Délye, 2005), considerándose el sitio primario de acción de un grupo importante de herbicidas gramínicidas (Shaner, 2003) agrupados en tres familias químicas: ariloxifenoxipropianoatos (FOPs) (Secor *et al.*, 1989), ciclohexanodionas (Secor *et al.*, 1989) y fenilpirazolininas (Plaza *et al.*, 2010). El registro del profoxidim como herbicida en arroz se hizo en 1998 (Sandín-España *et al.*, 2011). Estos herbicidas inhibidores de ACCasa abarcan gran parte del mercado mundial de herbicidas ya que son eficaces para el control en postemergencia de malezas gramíneas en varios cultivos. Sin embargo, su alta

p-ethyl; in pre-emergency: butachloride, bentiocarb, oxadiazon, pendimethalin and oxifluorfen, and in pre-sowing, glyphosate (Ortiz, 2008). *Ischaemum rugosum* Salisb., has showed resistance to Bipirydylum in Malaysia (Baki, 2000) to fenoxaprop-ethyl in Colombia (Valverde, 2007; Rao *et al.*, 2007) and Venezuela (Rodríguez, 2013), to propanyl in Sri Lanka (Sangakkara *et al.*, 2004) and Venezuela (Medina, 2012), to bispiribac-sodium in Asia (Sangakkara *et al.*, 2004), Venezuela (Zambrano and Espinoza, 2005; Apóstolo, 2009, Ortiz *et al.*, 2013) and Colombia (Hernández, 2011), to profoxidim (Araujo and Zambrano, 2008) and clomazone (Palencia, 2012).

Profoxidim is an herbicide belonging to the chemical family of cyclohexanedione (DIMs), which mechanisms of action is to inhibit the acetyl enzyme, coenzyme A carboxylase known as ACCasa (EC6.4.1.2). ACCasa is the first common enzyme in the route of the biosynthesis of fatty acids (Walter, 2001; Délye, 2005), considering the primary action area of an important group of gramineae herbicides (Shaner, 2003) grouped into three chemical families: ariloxifenoxi propionates (FOPs) (Secor *et al.*, 1989), cyclohexanedione (Secor *et al.*, 1989) and phenyl-pyrazolines (Plaza *et al.*, 2010).

The register of profoxidim as herbicide in rice was done in 1998 (Sandín-España *et al.*, 2011). These inhibiting herbicides of ACCasa cover a big part of the worldwide herbicide market, since are efficient for the post-emergency control of gramineae weeds

especificidad y su uso repetido en siembras con monocultivos han presionado para seleccionar muchas malezas resistentes a estos herbicidas (Devine y Shimabukuro, 1994; Délye, 2005).

El profoxidim es uno de los principales herbicidas que se utilizan para el control de malezas en el cultivo de arroz en Venezuela, no obstante, la evolución de biotipos de malezas resistentes a este herbicida es una seria limitante para su uso.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de accesiones de *I. rugosum* provenientes de arrozales de Venezuela al herbicida profoxidim y establecer los niveles de resistencia.

Materiales y métodos

Se recolectaron durante los años 2008 a 2012, en forma masal, 700 g de racimos con semillas de cada uno de las 87 accesiones de *I. rugosum*, provenientes de arrozales en los principales estados productores de Venezuela: Portuguesa, Guárico, Cojedes y Barinas, donde los agricultores expresaron dificultad para el control de esta maleza con profoxidim. Con fines de comparación, también se cosechó semillas en otros estados del país, sin cultivo de arroz (Carabobo y Aragua) en las cuales este herbicida nunca había sido usado (cuadro 1, 2 y 3).

Los racimos de las panículas se desgranaron y las semillas maduras se almacenaron a 4°C y 65% de humedad relativa para preservar su viabilidad. Se realizaron dos tipos de experimentos: uno preliminar de detección para identificar accesiones resistentes y un segundo de respuesta a dosis para

in different crops. However, its high specificity and its repeated use in the sows with mono-crops have pressured to select many weeds resistant to these herbicides (Devine and Shimabukuro, 1994; Délye, 2005).

Profoxidim is one of the main herbicides used for controlling the weeds in rice crops in Venezuela; nevertheless, the evolution of biotypes of weeds resistant to this herbicide is a limitation for its use.

The aim of this research was to evaluate the accessions response of *I. rugosum* coming from rice fields of Venezuela to the profoxidim herbicide and to establish the resistance levels.

Materials and methods

From 2008 to 2012 were collected as a mass 700 g of branches with seeds from each of the 87 accessions of *I. rugosum*, coming from the rice fields of the main producing states of Venezuela: Portuguesa, Guárico, Cojedes and Barinas, where the agricultures expressed difficulty for controlling this weed with profoxidim. With the aim of comparing, seeds were also cropped in other states of the country, without rice crop (Carabobo and Aragua), where this herbicide had never been used (table 1, 2 and 3).

The branches of the panicles were dehusk and the ripened seeds stored at 4°C and 65% of relative humidity to preserve the viability. Two types of experiments were carried out: detection preliminary to identify the resistant accessions and a second of response to doses to confirm the resistance to profoxidim and quantify the levels.

Cuadro 1. Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar de accesiones de *I. rugosum* provenientes del estado Portuguesa (P) en respuesta a 160 g a.i. ha⁻¹ de profoxidim aplicado sobre plantas al estado de tres a cuatro hojas.

Table 1. Fresh weight as untreated witness percentage of accessions of *I. rugosum* coming from Portuguesa state (P) in response to 160 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim applied on plants in three to four leaves.

Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas		Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas	
			Este ^b	Norte ^b				Este ^b	Norte ^b
IR306P	106,23±4,10	R	476625	1011412	IR21P	62,65±8,69	R	459633	1017488
IR110P	99,77±5,59 ^a	R	466240	1024100	IR152P	62,29±16,01	R	487031	1045192
IR40P	98,92±6,65	R	484767	1022811	IR50P	62,25±8,84	R	492020	1002809
IR16P	96,77±6,09	R	494833	1007288	IR34P	61,28±8,85	R	494595	1010668
IR112P	94,47±5,15	R	494142	1043686	IR32P	42,71±8,76	R	494595	1010668
IR22P	93,98±3,49	R	456971	1043749	IR20P	37,19±5,48	R	452013	1019830
IR19P	93,61±3,99	R	459633	1017488	IR2P	26,24±2,30	R	470993	1035167
IR23P	92,21±11,52	R	488382	1043802	IR269P	25,99±25,99	R	502483	1028145
IR35P	89,98±1,10	R	493365	1014462	IR27P	21,07±10,60	R	502456	1005660
IR39P	88,33±2,66	R	484767	1022811	IR26P	19,37±8,39	S	482798	1034788
IR190P	88,10±6,80	R	472540	1039050	IR14P	9,82±7,52	S	484169	1024767
IR339P	87,65±1,54	R	486589	1060090	IR305P	9,31±4,68	S	535455	1014184
IR38P	85,88±5,70	R	492979	1016458	IR1P	8,43±0,99	S	470993	1035167
IR44P	85,13±5,50	R	484263	1021484	IR41P	7,82±0,96	S	472540	1039050
IR36P	84,69±3,12	R	492979	1016458	IR357P	6,99±0,55	S	506090	1051113
IR24P	84,19±6,31	R	488382	1043802	IR145P*	3,88±0,32	S	514757	1012506
IR45P	82,21±4,69	R	484263	1021484	IR192P	1,86±0,51	S	472540	1039050
IR309P	81,88±5,21	R	473771	1023717	IR193P	1,50±0,54	S	472540	1039050

^aError estándar. R: resistente. S: susceptible. *: Áreas no arroceras. ^bDatumRegVen, huso horario 19. Proyección de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) ^b<http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/regvenPDVSA.pdf>

Cuadro 1. Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar de accesiones de *I. rugosum* provenientes del estado Portuguesa (P) en respuesta a 160 g a.i. ha⁻¹ de profoxidim aplicado sobre plantas al estado de tres a cuatro hojas (Continuación).

Table 1. Fresh weight as untreated witness percentage of accessions of *I. rugosum* coming from Portuguesa state (P) in response to 160 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim applied on plants in three to four leaves (Continuation).

Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas		Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas	
			Este ^b	Norte ^b				Este ^b	Norte ^b
IR15P	80,76±2,33	R	486200	1020257	IR347P	0,93±0,31	S	487793	1057681
IR52P	79,52±3,19	R	487031	1045192	IR123P*	0,59±0,15	S	514738	1012493
IR37P	75,70±3,57	R	492979	1016458	IR273P	0	S	484263	1021484
IR31P	71,13±14,03	R	445673	1013573	IR265P	0	S	484263	1021484
IR122P	71,07±11,08	R	4944171	1010582	IR264P	0	S	484263	1021484
IR43P	70,89±4,80	R	486374	1061035	IR234P	0	S	544610	1047774
IR25P	66,81±2,35	R	483930	1020934	IR232P	0	S	521497	1047754
IR42P	63,80±7,23	R	473299	1027099	IR190P	0	S	472540	1039050
IR275P	63,75±18,65	R	488328	1041263	IR120P*	0	S	514738	1012493

^aError estándar. R: resistente. S: susceptible. *: Áreas no arroceras. ^bDatumRegVen, huso horario 19. Proyección de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) ^b<http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/regvenPDVSA.pdf>

Cuadro 2. Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar de accesiones de *I. rugosum* provenientes del estado Guárico (G) en respuesta a 160 g a.i. ha⁻¹ de profoxidim aplicado sobre plantas al estado de tres a cuatro hojas.

Table 2. Fresh weight as percentage in untreated witness of *I. rugosum* coming from Guarico state (G) in response to 160 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim applied on plants in three to four leaves.

Accesiones	Peso fresco (%)	Coordenadas		Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas		R ó S	Coordenadas	
		Este ^b	Norte ^b				Este ^b	Norte ^b		Este ^b	Norte ^b
IR75G	92,46±5,09 ^a	660382	972316	IR83G	3,13±0,49	S	662756	975345	S	662756	975345
IR90G	88,33±13,25	659157	957125	IR81G	3,11±0,45	S	660382	972316	S	660382	972316
IR105G	68,88±5,25	660382	972316	IR64G	2,61±0,32	S	667753	986486	S	667753	986486
IR312G	59,73±7,62	667500	989200	IR10P	2,42±0,28	S	660382	972316	S	660382	972316
IR311G	22,54±8,32	667500	989200	IR109G	2,41±0,63	S	659157	957125	S	659157	957125
IR66G	22,06±4,23	663651	966262	IR57G	2,32±0,81	S	667986	986441	S	667986	986441
IR106G	5,07±0,80	620823	953445	IR111G	2,00±1,10	S	646003	971051	S	646003	971051
IR310G	5,03 ± 1,73	667500	989200	IR152G	0,89±0,11	S	658023	978615	S	658023	978615
IR12G	4,32±0,84	658023	978615	IR7G	0,59±0,25	S	658023	978615	S	658023	978615
IR82G	3,89±0,14	660382	972316	IR143G*	0,50±0,21	S	663651	966262	S	663651	966262
IR78G	3,64±1,51	660382	972316	IR76G	0,00±0,00	S	667753	986486	S	667753	986486
IR13G	3,50±0,36	667753	986486								

^aError estándar. R: resistente. S: susceptible. *: Áreas no arroceras. ^bDatumRegVen, huso horario 19. Proyección de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/regven/PDVSA.pdf>

Cuadro 3. Peso fresco como porcentaje del testigo sin tratar de accesiones de *I. rugosum* provenientes del estado Carabobo (C), Cojedes (CO) y Barinas (B) en respuesta a 160 g a.i. ha⁻¹ de profoxidim aplicado sobre plantas al estado de tres a cuatro hojas.

Table 3. Fresh weight as percentage in untreated witness of accessions of *I. rugosum* coming from Carabobo (C), Cojedes (CO) and Barinas (B) states in response to 160 g a.i. ha⁻¹ of profoxidim applied on plants in three to four leaves.

Accesiones	Peso fresco (%)	R ó S	Coordenadas Este ^b	Coordenadas Norte ^b
IR117C*	91,68±11,55	R	571515	1126929
IR150CO	97,75±6,56	R	521998	1058698
IR6CO	79,06±7,63	R	509497	1048632
IR304CO	63,69±3,80	R	520395	1061972
IR303CO	60,93±8,73	R	520395	1059036
IR301CO	60,55±4,62	R	520395	1061972
IR348B	78,88±3,97	R	471096	891760
IR349B	77,50±6,25	R	471085	891817
IR355B	2,75±0,55	S	472606	892425
IR353B	0,81±0,54	S	471738	892134

^aError estándar. R: resistente. S: susceptible. *: Áreas no arroceras. ^bDatumRegVen, huso horario 19. Proyección de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/regvenPDVSA.pdf>

confirmar la resistencia a profoxidim y cuantificar sus niveles.

Experimento preliminar de detección

Plántulas de las 87 accesiones recolectadas en los estados: Portuguesa (54), Guárico (23), Cojedes (5), Barinas (4) y Carabobo (1) se trataron, cuando tenían entre tres a cuatro hojas, con 160 g i.a. ha⁻¹ de profoxidim, dosis comercial recomendada en la etiqueta del herbicida profoxidim y se contó con un tratamiento testigo sin aplicación de herbicida, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con cinco repeticiones. El herbicida se aplicó utilizando una cámara de aspersion (Devries

Preliminary detection experiment

Seedlings of the 87 accessions recollected in the states: Portuguesa (54), Guárico (23), Cojedes (5), Barinas (4) and Carabobo (1) and treated when had from three to four leaves with 160 g i.a. ha⁻¹ of profoxidim, commercial dose recommended in the label of the profoxidim herbicide with a witness treatment without application of herbicide, with a completely randomized design with five replications.

The herbicide was applied using an aspersion chamber (Devries Manufacturing, MN, EE.UU) with a discharge of 100 L.ha⁻¹, under pressure

Manufacturing, MN, EE.UU) con una descarga de $100 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, bajo una presión de 250 kPa y empleando una boquilla de abanico plano 8002E (Bellspray, Inc., LA, EE.UU). A la solución con herbicida se añadió el adyuvante Dash® con 99% de solventes orgánicos, surfactantes no iónicos y con regulador de pH a razón de $200 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$.

Las condiciones de crecimiento en invernadero fueron: 30 a 35°C , 80% humedad relativa y fotoperiodo de 12 horas bajo irradiancia natural de $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. A las semillas se les rompió latencia colocándolas en matraces con una solución de nitrato de potasio al 0,25% e inyección de aire a través de una bomba para peceras; luego de tres días, las semillas germinadas se trasplantaron sobre la superficie de 500 g de suelo húmedo (serie Maracay, Fluventic haplustolls, Francosa gruesa isohipertérmico, formación Mercedes; textura franca y $\text{pH} = 6,54$) contenido en potes de $638,39 \text{ cm}^3$.

Después de la emergencia y antes de la aplicación del herbicida, se raleó a cuatro plántulas iguales, espaciadas equidistantemente. Los potes se ubicaron en una piscina con una lámina de agua constante de 10 cm de profundidad, la cual no sobrepasaba la superficie del suelo en los potes, manteniendo el suelo saturado. Los experimentos se fertilizaron 72 horas después de la aplicación del herbicida con fórmula completa (Energy®), cuyo contenido fue de 180; 100; 40; 12,20; 16,50; 0,21; 0,32; 2,30; 1,35; 2,70; 7,80; 0,09 y $0,03 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de N, P_2O_5 , K_2O , MgO , S, CaO, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo y Co, respectivamente. La dosis utilizada fue de 50 mL en 10 L de agua.

of 250 kPa and employing a flat nozzle ream 8002E (Bellspray, Inc., L.A. EE.UU). Dash® was added to the solution with herbicide with 99% of organic solvents, surfacting, non-ionic and with pH regulator at a reason of $200 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$.

The growing conditions in greenhouse were: 30 to 35°C , relative humidity and photo-period of 12 hours under natural irradiance of $1600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The latency of the seeds was broken putting them in flasks with a potassium nitrate solution at 0.25% and air injection through a bomb for fish tanks; after three days, germinated seeds were transplanted on the surface of 500 g of the humid soil (Maracay series, Fluventic haplustolls, thick isohyperthermal loamy, Mercedes formation, loamy texture and $\text{pH} = 6.54$) in jars of 638.39 cm^3 . After the emergency and before the application of the herbicide, four seedlings were thinned and spaced equally. The jars were located in a pool with constant water lamina of 10 cm of depth, which did not exceed the soil surface in the jars; keeping the soil saturated. The experiments were fertilized 72 hours after the application of the herbicide with complete formulas (Energy® which content was 180; 100; 40; 12.20; 16.50; 0.21; 0.32; 2.30; 1.35; 2.70; 7.80; 0.09 and $0.03 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of N, P_2O_5 , K_2O , MgO , S, CaO, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo and Co, respectively. The dose used was of 50 mL in 10 L of water.

Twenty one days after the application (DDA), the aerial part of the plant was harvested on each jar and the fresh weight was measured immediately after cutting each plant. The data of fresh weight was

A los 21 días después de la aplicación (DDA), se cosechó la parte aérea de las plantas en cada pote y se midió el peso fresco inmediatamente después de cortar cada planta. Los datos de peso fresco se expresaron como porcentaje de crecimiento (peso fresco del tratamiento con herbicida/peso fresco promedio del tratamiento control sin herbicida $\times 100$). En este experimento, se consideró como resistente a aquellas accesiones que presentaron un peso fresco mayor al 20% del tratamiento testigo sin herbicida cuando fueron tratadas con la dosis comercial recomendada de profoxidim (160g i.a. ha⁻¹), debido a que con esta biomasa *I. rugosum* es capaz de completar su ciclo de crecimiento y producir semillas viables (datos no mostrados en este artículo).

Experimento de respuesta a dosis

Del experimento anterior, se seleccionaron cinco accesiones que mostraron resistencia (R): IR37P, IR44P, IR75G e IR90G, y otra susceptible (S): IR143G, cuya mortalidad fue de casi 100% para la misma dosis de herbicida (cuadros 1, 2 y 3). Las dosis de profoxidim utilizadas para las accesiones R fueron: 0; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 1280 g i.a. ha⁻¹, mientras que para la S se usaron: 0; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40 y 80 g a.i. ha⁻¹. Los tratamientos se ubicaron bajo un diseño completamente aleatorizado y se replicaron cinco veces; el experimento se repitió para su validación. Las aplicaciones se efectuaron sobre plantas al estado de tres a cuatro hojas. Tanto las condiciones de crecimiento, la aplicación del herbicida, como la cosecha fueron como en el experimento anterior. Con los datos de

expressed as growing percentage (fresh weight of the treatment with herbicide/ average fresh weight of the control treatment without herbicide $\times 100$).

In this experiment, it was considered as resistant those accessions that presented a fresh weight higher to 20% of the witness treatment without herbicide, when were treated with the recommended commercial dose of profoxidim (160g i.a. ha⁻¹), since this biomass *I. rugosum* is able to complete its growing cycle and produce viable seeds (data not presented in this article).

Response experiment at dose

From the previous experiment five accessions were selected, which showed resistance (R): IR37P, IR44P, IR75G and IR90G, and other sensitive (S): IR143G, which mortality was almost 100% for the same dose of herbicide (table 1, 2 and 3). The dose of profoxidim used for the accessions R were: 0; 20; 40; 80; 160; 320; 640; 1280 g i.a. ha⁻¹; meanwhile for the S were used: 0; 1.25; 2.5; 5; 10; 20; 40 and 80 g a.i. ha⁻¹. The treatments were located on a completely randomized design and replicated five times; the experiment was repeated for its validation. The applications were done on plants with three to four leaves. The growing conditions, the herbicide application, and the harvest were as in the previous experiment. With the data of fresh weight expressed as growing percentage regarding the average of the witness without herbicide, the dose of the mean effect was calculated (ED₅₀, doses, for which is reduced the growing of plants treated at 50% of

peso fresco expresados como porcentaje de crecimiento respecto al promedio del testigo sin herbicida, se calculó la dosis de efecto medio (ED_{50} , dosis para la cual se reduce el crecimiento de plantas tratadas a un 50% del de plantas no tratadas) para cada accesión y el correspondiente índice de resistencia ($IR = ED_{50}R/ED_{50}S$).

Análisis estadístico. 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 las accesiones IR37P; IR44P e IR143G se les ajustó un modelo de regresión no lineal log-logístico de cuatro parámetros [ec. 1], mientras que para IR75G e IR90G se ajustó el modelo con tres parámetros [ec. 2] (Streibig *et al.*, 1993):

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

$$Y = d / [1 + (x / ED_{50})^b] \quad [\text{ec. 2}]$$

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, ED_{50} es la dosis de herbicida en el punto de inflexión y x es la dosis de herbicida. A las accesiones IR75G e IR90G no se les pudo determinar su

untreated plants), for each accession and the corresponding resistance index ($IR = ED_{50}R/ED_{50}S$).

Statistical analysis. The data of the detection experiment is presented as average and standard deviations in tables 1, 2 and 3. The response data to doses coming from repeated experiments were collected for their analyses when interaction was not detected ($P > 0.05$) among experiments and treatments, and were submitted to the regression analysis adjusting the models that described adequately the tendencies the mean squared of the error. The data of the fresh weight of accessions IR37P; IR44P and IR143G was adjusted a non-linear log-logistic regression model of four parameters [ec. 1], meanwhile for IR75G and IR90G the model adjusted with three parameters [ec. 2] (Streibig *et al.*, 1993):

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

$$Y = d / [1 + (x / ED_{50})^b] \quad [\text{ec. 2}]$$

Where Y is the growing percentage, c is the mean response when the herbicide dose tends to have high values, d is the mean response when the herbicide dose tends to be zero, b is the steep slope, ED_{50} is the herbicide dose in the inflexion point and x is the herbicide dose. Accessions IR75G and IR90G were not determined their ED_{50} since it would correspond to a higher dose than the highest essayed dose and would be out of observations. The regression analysis was done using the Sigma Plot program (version 11.0, Systat Software, Inc., CA, EEUU).

ED₅₀ pues ésta correspondería a una dosis mayor que la dosis más alta ensayada y así quedaría ubicada fuera del ámbito de observaciones. El análisis de regresión se realizó utilizando el programa Sigma Plot (versión 11.0, Systat Software, Inc., CA, EE.UU.).

Resultados y discusión

De las 54 accesiones de *I. rugosum* recolectadas en el estado Portuguesa, 37 (69%) mostraron pesos frescos superiores al 20% de las plantas no tratadas, por lo que se consideraron como R (cuadro 1). De la misma manera se consideraron R: 6 accesiones de Guárico (26%) (cuadro 2), 5 de Cojedes (100%), 2 de Barinas (50%) y 1 de Carabobo (cuadro 3).

Las coordenadas en los Cuadros 1 y 2 revelan que hubo casos en que en una misma finca se encontraron accesiones R y S a profoxidim, lo cual refleja estados intermedios de selección poblacional por el uso repetido de profoxidim o de herbicidas con igual modo de acción o mecanismo de detoxificación en esos campos de arroz. Tal sería el caso de la accesión IR190P R recolectada en el estado Portuguesa, en un lote donde también se hallaron cinco accesiones S: IR141P, IR192P, IR193P, IR190P e IR1P (cuadro 1). Esta misma situación también pudo observarse en Guárico con las accesiones IR312G e IR311G R e IR310G S y también en otra parcela de la misma zona se encontraron: IR66G R con IR57G e IR152G S (cuadro 2). Por otro lado, en Portuguesa se encontró una mayor proporción de accesiones de *I. rugosum* R comparado con Guárico (cuadro 1 y 2).

Results and discussion

Out of the 54 accessions of *I. rugosum*, collected in Portuguesa state, 37 (69%) showed fresh weight higher than 20% of non treated plants; thus, were considered as R (table 1). Likewise, were also considered R: 6 accessions from Guárico (26%) (table 2), 5 from Cojedes (100%), 2 from Barinas (50%) and 1 from Carabobo (table 3).

The coordinates in tables 1 and 2 reveal that there were cases where in the same farm were found accessions R and S of profoxidim, which proves intermediate phases of population selection for the repeated use of profoxidim or herbicide with the same action or detox mechanisms in rice fields. The same happened in the accession IR190P R collected in Portuguesa, in a plot where there were found five accessions S: IR141P, IR192P, IR193P, IR190P and IR1P (table 1). The same situation was observed in Guárico with the accessions IR312G and IR311G R and IR310G S, and in other plot of the area was also found: IR66G R with IR57G and IR152G S (table 2). On the other hand, in Portuguesa was observed a higher proportion of accessions of *I. rugosum* R compared to Guárico (table 1 and 2).

The resistance towards herbicide is the result of an evolutive process that involves selection events that cause high mortality as happen when applying herbicides on big weed populations and some weird biotypes that get to survive and reproduce. The resistant biotypes propagate their resistant genes and perpetuate in the seeds on the soil. The fastness of the

La resistencia a herbicidas resulta de un proceso evolutivo que involucra eventos de selección que causan mortalidad elevada como sucede cuando se aplican herbicidas sobre grandes poblaciones de malezas y algunos biotipos raros logran sobrevivir y reproducirse. Los biotipos resistentes propagan sus genes de resistencia y logran perpetuarse en los bancos de semillas del suelo. La rapidez de la evolución de la resistencia dependerá de la genética de la maleza, de su biología, de la eficacia del herbicida y de las técnicas de manejo de las malezas empleadas en el sistema de cultivo (Powles y Yu, 2010). Consistente con este concepto, las accesiones IR143G, IR145P, IR123P e IR120P se comportaron como S a profoxidim (cuadro 1 y 2) y provenían de áreas sin siembra de arroz donde no se había usado profoxidim. Sin embargo, la accesión IR117C, recolectada en una siembra de pimentón en Agua de Obispo, Bejuma, estado Carabobo, resultó R a profoxidim, lo que demuestra que en este caso esta maleza no evolucionó en resistencia en este campo hortícola sino más bien llegó allí a través de la cascarilla de arroz que se usa como sustrato de los cepellones (dispersión). Otro caso de dispersión puede señalarse para las accesiones de *I. rugosum*: IR348B e IR349B R de Puerto Nutrias (Barinas) donde por primera vez se sembró arroz y la maleza es resistente a profoxidim. En este caso la dispersión fue probablemente a través de la semilla de arroz empleada.

La dosis de profoxidim requerida para inhibir el 50% del crecimiento (ED_{50}) de *I. rugosum* en el experimento de respuesta a dosis en plantas com-

evolution of the resistance will depend on the genetic of the weed, its biology, efficiency of the herbicide and the handling techniques of weeds employed in the cropping system (Powles and Yu, 2010). Consistent to this concept, accessions IR143G, IR145P, IR123P and IR120P behaved as S in profoxidim (table 1 and 2) and came from non-planted areas of rice where profoxidim was being used. However, accession IR117C, collected in a pepper sow in Agua de Obispo, Bejuma, Carabobo state, resulted R to profoxidim, which proves that in this case, this weed did not have any resistant evolution in this horticulture field, but instead, arrived there through the rice husk used as a substrate of root balls (dispersion). Another dispersion case might be mentioned for the accessions of *I. rugosum*: IR348B and IR349B R of Puerto Nutrias (Barinas), where rice was sowed for the first time and the weed is resistant to profoxidim. In this case the dispersion was probably through the rice seed employed.

The dose of profoxidim required to inhibit 50% of the growing (ED_{50}) of *I. rugosum* in the response experiment to doses in completed plants and the equation parameters used to estimate this dose are presented in table 4. It is then proved that accessions IR37P and IR44P collected in Portuguesa, as well as IR75G and IR90G collected in Guárico, were resistant to profoxidim (figure 1). The doses relation for the medium effect (ED_{50}) revealed that accessions IR37P and IR44P showed clear resistant levels with IR values of 92.62 and 100.49, respectively; meanwhile, in IR75G and IR90G it was not possible to estimate the ED_{50} in the

pletas y los parámetros de las ecuaciones usados para estimar esta dosis se presentan en el cuadro 4. Se comprueba así que las accesiones IR37P e IR44P recolectadas en Portuguesa, así como IR75G e IR90G recolectadas en Guárico, fueron resistentes a profoxidim (figura 1). La relación de dosis para efecto medio (ED_{50}) reveló que las accesiones IR37P e IR44P mostraron claros niveles de resistencia con valores IR de 92,62 y 100,49 respectivamente, mientras que para IR75G e IR90G no fue posible estimar la ED_{50} dentro del rango de datos (> 1280 g i.a. ha^{-1}) (cuadro 4). Por otra parte, con una dosis de tan sólo 10 g i.a. ha^{-1} , se suprimió completamente el crecimiento de plantas de la accesión IR143G, confirmando su susceptibilidad (figura 1).

Las accesiones IR75G e IR90G presentan resistencia a herbicidas *inhibidores de ALS*: bispiribac-sodio (pirimidiniltiobenzoato, PTB), piribenzoxim (PTB), nicosulfuron (sulfonilureas, SU) e imazapir+imazetapir (imidazolinonas, IMI), *inhibidores de ACCasa*: profoxidim (DIMs) y fenoxaprop-p-etilo (FOPs), *inhibidor del transporte de electrones en el fotosistema II* (propanil) e *inhibidor de la síntesis de carotenoides* (clomazone), así como también susceptibilidad a un inhibidor de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO) (oxadiazón) (Palencia, 2012; Ortiz *et al.*, 2013; Rodríguez, 2013), por lo que se infiere que a nivel poblacional existe resistencia cruzada involucrando a varios herbicidas (Ortiz *et al.*, 2013).

Las accesiones IR75G, IR90G, IR37P e IR44P, analizadas en este estudio presentan resistencia a múltiples herbicidas (Ortiz *et al.*, 2013). No se

data rank (> 1280 g i.a. ha^{-1}) (table 4). On the other hand, with a dose of 10 g i.a. ha^{-1} , the growth of the plants of the accession IR143G suppressed, confirming its susceptibility (figure 1).

Accessions IR75G and IR90G, present resistant towards inhibitor herbicides of ALS: bispiribac-sodium (pyrimidinyl benzoate, PTB), pyribenzoxim (PTB), nicosulfuron (sulfonilureas, SU) e imazapir+imazetapir (imidazolinones, IMI), *inhibitors of ACCasa*: profoxidim (DIMs) and fenoxaprop-p-ethyl (FOPs), inhibitors of electron transport in the photo-system II (propanil) and inhibitor of the carotenoid synthesis (clomazone), as well as susceptibility to an inhibitor of protoporphyrinogen oxidase (PPO) (oxadiazon) (Palencia, 2012; Ortiz *et al.*, 2013; Rodríguez, 2013); thus, it is inferred that at the population level, there is crossed resistance involving different herbicides (Ortiz *et al.*, 2013).

Accessions IR75G, IR90G, IR37P and IR44P, analyzed in this research are resistant to multiple herbicides (Ortiz *et al.*, 2013). It can not speculate about the acting resistant mechanisms in the evaluated accessions in these experiments. When working with potentially genetically heterogeneous accessions and not with pure lines, it is unknown if the resistant to different herbicides emerges from the mix of individuals with different resistances inside the same population, or if, individually, the plants are resistant to different herbicides. It is also unknown if this involves the same gen (crossed resistance) or different genes or selection processes (multiple resistance) (Hall *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Parámetros de las ecuaciones de regresión utilizadas para estimar la dosis de profoxidim requerida para reducir al 50% (ED₅₀) la biomasa de plantas de *I. rugosum* susceptibles y resistentes a este herbicida, coeficientes de regresión e índices de resistencia.

Table 4. Parameters of the regression equations used to estimate the profoxidim dose required to reduce at 50% (ED₅₀) the biomass of *I. rugosum* plants sensitive and resistant to this herbicide, regression coefficients and resistant indexes.

Accesión	Ecuación [†]	Parámetros de regresión						IR
		b	c	d	ED ₅₀ (g a.i. ha ⁻¹)	R ²	P	
IR143P(S)	$Y = c + (d-c) / [1 + (x/EC_{50})^b]$	-4,96	2,39	91,86	3,70	0,94	<0,0001	
IR37P(R)	$Y = c + (d-c) / [1 + (x/EC_{50})^b]$	-2,93	24,79	91,19	342,71	0,82	<0,0001	92,62
IR44P(R)	$Y = c + (d-c) / [1 + (x/EC_{50})^b]$	-3,34	1,89	97,48	371,81	0,93	<0,0001	100,49
IR75G(R)	$Y = d / [1 + (x/ED_{50})^b]$	2,86		97,55	> 1280	0,40	<0,0001	No calculable
IR90G(R)	$Y = d / [1 + (x/ED50)b]$	1,17		102,14	> 1280	0,65	<0,001	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, b es la pendiente de la línea, ED50 es la dosis de herbicida que se requiere para reducir el 50% del crecimiento (Streibig 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 las accesiones R IR75G e IR90G se encuentran fuera del rango de dosis estudiadas (> 1280 g.ha⁻¹.i.a.), el IR tiende a un valor muy elevado que no puede ser calculado.

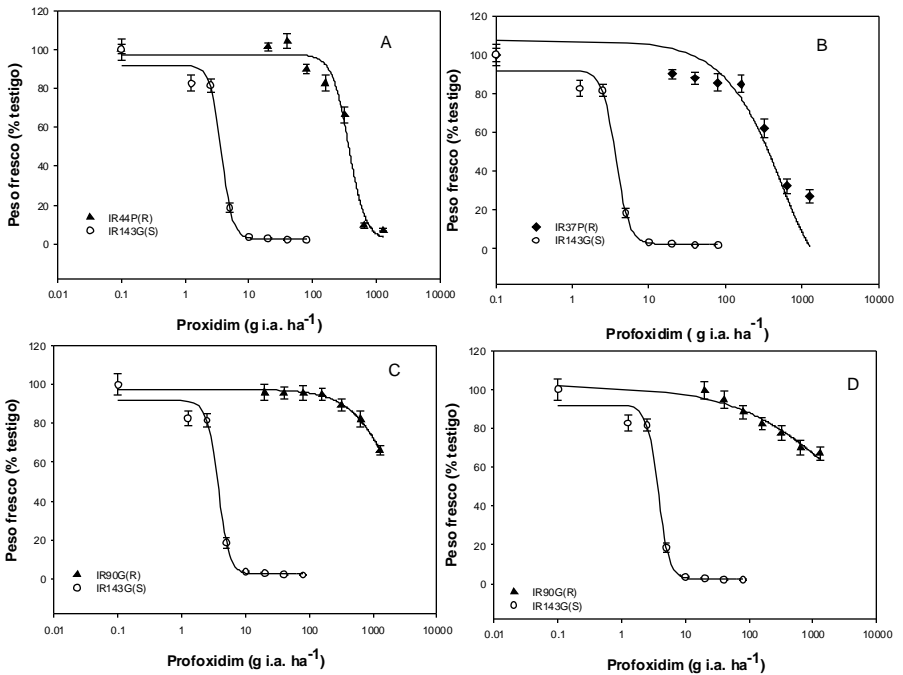


Figura 1. Respuesta de las accesiones de *I. rugosum* (A) IR44P (R) e IR143G(S); (B) IR37P e IR143G(S); (C) IR75G e IR143G(S) e (D) IR90G en relación con IR143G(S) a dosis crecientes de proflin. Cada punto es la media y la desviación estándar de diez observaciones provenientes de dos experimentos. El herbicida fue aplicado cuando las plantas tenían de tres a cuatro hojas y el peso fresco fue determinado a los 21 días después de la aplicación. La dosis comercial de proflin fue 160 g i.a. ha⁻¹. Parámetros de las regresiones ajustadas se presentan en el cuadro 4.

Figure 1. Accessions response of *I. rugosum* (A) IR44P (R) and IR143G(S); (B) IR37P and IR143G(S); (C) IR75G and IR143G(S) and (D) IR90G in relation to IR143G(S) at growing doses of proflin. Each point is the mean and the standard deviation of ten observations coming from two experiments. The herbicide was applied when the plants had from three to four leaves and the fresh weight was determined 21 days after the application. The commercial dose of proflin was 160 g i.a. ha⁻¹. The adjusted regression parameters are presented in table 4.

puede especular sobre el o los mecanismos de resistencia actuantes en las accesiones evaluadas en estos experimentos. Al trabajar con accesiones potencialmente genéticamente heterogéneas y no con líneas puras, no sabemos si la resistencia a varios herbicidas surge de la mezcla de individuos con diferentes resistencias dentro de una misma población o si, a nivel individual, las plantas son resistentes a varios herbicidas. Tampoco se sabe si esto involucra un mismo gen (resistencia cruzada) o diferentes genes o procesos de selección (resistencia múltiple) (Hall *et al.*, 1994).

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 múltiples herbicidas en malezas, incluyendo las del de arroz (HRAC, 2011, Fischer y Valverde, 2010; Linquist *et al.*, 2007; Pittelkow *et al.*, 2012). La resistencia a múltiples herbicidas en una población de malezas es poco predecible y complica mucho la elección de nuevos

The prevention or delay of the resistant evolution is based in reducing the selection pressure acted by the repeated use of some herbicides; thus, it is necessary to combine handling techniques of weeds to control resistant biotypes and protect the useful life of herbicides (Fischer and Valverde, 2010).

The integration of practices such as the cropping rotation that cause flora changes of weeds, the use of other herbicides with different action mechanisms, the implementation of cultural control practices in alternative implantation systems of rice, the use of genotypes of competitive crops and the chemical burnings in fake sowings are technique with positive results in the resistant handling to multiple herbicides in weeds, including rice (HRAC, 2011, Fischer and Valverde, 2010; Linquist *et al.*, 2007; Pittelkow *et al.*, 2012). The resistant to multiple herbicides in a weed population is not too predictable and complicates the election of new herbicides to be used. For this reason, it represents a serious threat to the sustainability of the chemical control and the productive system.

Conclusions

It can be concluded that 59% of the accessions collected in rice fields in Venezuela are resistant to profloridim (inhibitor herbicide of ACCasa).

Consistently to the resistant evolution concept, it was proved that there were clear resistant levels with values grading of IR in the accessions IR37P, IR44P, IR75G and IR90G

herbicidas a emplearse. Por esto, representa una seria amenaza a la sustentabilidad del control químico y del sistema productivo en cuestión.

Conclusiones

Con base en este trabajo de investigación se puede concluir que el 59% de las accesiones recolectadas en campos de arroz en Venezuela presentan resistencia a profoxidim (herbicida inhibidor de ACCasa).

Consistente con el concepto de evolución de la resistencia se comprobó que hubo claros niveles de resistencia con una gradación de los valores del IR en las accesiones IR37P, IR44P, IR75G e IR90G provenientes de fincas donde usaron profoxidim por muchos ciclos de monocultivo del arroz

En este estudio se detectó que pudo haber dispersión de diásporas de *I. rugosum* resistente a profoxidim a través de la cascarilla de arroz usada en los cepellones para producir plántulas de pimentón en la finca de hortalizas La Huerta ubicada en Miranda, estado Carabobo (IR117C) y a través de la semilla usada para la siembra de arroz por primera vez en dos parcelas de Puerto Nutrias, municipio Sosa, Barinas (IR348B e IR349), lo cual representa una amenaza de contaminación de áreas agrícolas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto UCV-Sociedad PSU003-2008: Manejo Integrado de Malezas en Arroz (MIMA) del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-

coming from farms where profoxidim was used in many cycles of rice monocropping.

In this research it was detected that there might had been diaspores dispersion of *I. rugosum* resistant to profoxidim through the rice husk used in root balls for producing pepper seedlings in the vegetable farm "La Huerta" located in Miranda, Carabobo state (IR117C) and through the seed used for sowing rice for the first time in two plots of Puerto Nutrias, Sosa parish, Barinas (IR348B and IR349), which represents a pollution threat of agricultural areas.

Acknowledgement

The authors thank the Project UCV-Sociedad PSU003-2008: Integrated handle of weeds in rice (MIMA) of the Scientific and Humanistic Board of the Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), as well as the enterprises AGROISLEÑA and AGROTEBOR (Aportes LOCTI) by the economic support in this research.

End of english version

UCV), así como a las empresas AGROISLEÑA y AGROTEBOR (Aportes LOCTI) por el financiamiento de esta investigación.

Literatura citada

Apóstolo, G. 2009. Evaluación de la resistencia de una población de *Ischaemum rugosum* Salisb., provenientes de campos de arroz (*Oryza sativa* L.) al herbicida bispiribac-sodio. Trabajo de Grado.

- Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 35 p.
- Araujo, M. y C. Zambrano. 2008. Evaluación de la resistencia de accesiones de *Ischaemum rugosum Salisb* al herbicida profloridim en arroz. XII Congreso SOVECOM. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Aragua. CD-ROOM.
- Baki B. 2000. Group D/22 Resistant Saramolla (*Ischaemum rugosum*) Malaysia. Disponible en <http://www.weedscience.org/Case/Case.asp?ResistID=139>. [Consulta: marzo 2012]
- Baki, H.B. 2004. Invasive Weed Species in Malaysian Agro-Ecosystems: Species, Impacts and Management. *Malaysian Journal of Science* 23:1-42
- Baki H.B. and N.A. Lajili. 2003. Seed germination, seedling establishment and growth patterns of wrinklegrass (*Ischaemum rugosum* Salisb.). *Weed Biology and Management*: 8–14.
- Cásares M. y A. Ortiz, 2009. Evolución en el uso de herbicidas pre y post emergentes en control de malezas en arroz en Venezuela: (1996-2000-2007). En: *Herbología y biodiversidades numa agricultura sustentável*. Editores: E. Sousa, I. Calha, I. Monteiro. L.
- Délye, C. 2005. Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Science*, 53:728–746.
- Devine, M. D. and R. H. Shimabukuro. 1994. Resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibiting herbicides. In S. B. Powles and J.A.M. Holtum, eds. *Herbicide Resistance in Plants*. Boca Raton. 141-169
- Fischer, A.J. y B.V. Valverde. 2010. Resistencia a herbicidas en malezas asociadas con arroz. In: V. Degiovanny, C.P. Martínez y F. Motta (eds.). *Producción Eco-eficiente del Arroz en América Latina*, Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 447-487p.
- Hall, L., J.A. Holtum, S.B. Powles. 1994. Mechanisms responsible for cross-resistance and multiple resistance. In Powles, S.B.; Holtum, J.A.M., ed. *Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry*. Boca Raton: Lewis. 243-261p.
- Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). 2011. *Guideline to the Management of Herbicide Resistance*. Disponible en: <http://www.hracglobal.com/Publications/ManagementofHerbicideResistance/tabid/225/Default.aspx>. [Consulta: Enero 2013]
- Hernández, F. 2011. Evaluación de la resistencia de poblaciones de *Ischaemum rugosum* Salisb., a bispiribac-sodio en lotes arroceros de la zona del Ariari, Meta. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Escuela de Posgrados. Bogotá. 96 p.
- Linquist B.A., A.J. Fischer, L. Godfrey, C. Greer, J. Hill, K. Koffler, M. Moeching, R. Mutters, C. and Van Kessel. 2007. Minimum tillage could benefit California rice farmers. *California Agriculture* 62:24-29
- Medina. B. 2012. Evaluación de la resistencia de *Ischaemum rugosum* Salisb., al herbicida propanil utilizado en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en Venezuela. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad central de Venezuela. 36p.
- Ortiz, A. 2008. Herbicidas usados en el cultivo de arroz en Venezuela. *El Malezologo* 2:17-19
- Ortiz A., S. Blanco, G. Arana, L. López, S. Torres, Y. Quintana, P. Pérez, C. Zambrano y A. Fischer. 2013. Estado actual de la resistencia de *Ischaemum rugosum* Salisb., al herbicida bispiribac-sodio en Venezuela. *Bioagro* 25(2):79-89.
- Palencia, D. 2012. Evaluación de la resistencia de algunas accesiones de *Ischaemum rugosum* Salisb., al herbicida Clomazone recolectadas en arrozales de Venezuela. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 36p.
- Pittelkow C.M., A.J. Fischer, M.J. Moechnig, J.E. Hill, K.B. Koffler, R.G. Mutters,

- C.A. Greer, Y.S. Cho, C. Van Kessel, B.A. Linqvist. 2012. Agronomic productivity and nitrogen requirements of alternative tillage and crop establishment systems for improved weed control in direct-seeded rice. *Field Crops Research* 130:128-137.
- Plaza, F., J. Cantus, E. Ansede, Iniesta, L. y A. Gorrochategui. 2010. Pinoxaden, una nueva herramienta para el control de gramíneas en el cereal. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal* 222: 67-69.
- Powles S. B. and Q. Yu. 2010. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61:317-347.
- Rao, A. N, Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha, J. K. and Mortimer, A. M. 2007. Weed management in direct seeded rice. In: *Advances in Agronomy* 93:153-255.
- Rodríguez, J. 2013. Evaluación del control con el herbicida fenoxaprop-p-etil de algunas accesiones de *Ischaemum rugosum* *Salisb.*, provenientes de arrozales de Venezuela. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 45p.
- Sandín-España P., B. Sevilla-Morán, J.L. Alonso-Prados, and I. Santín-Montanyá. 2011. Chemical Behaviour and Herbicidal Activity of Cyclohexanedione Oxime Herbicides. In: *Herbicides – Properties, Synthesis and Control of Weeds.* (Ed.)M. N. Hasaneen. 75-100p
- Schabenberger O., B.E. Tharp, J.J. Kells, D. Penner. 1999. Statistical tests for hormesis and effective dosages in herbicide dose response. *Agron. J.* 91:713-721.
- Shaner D. L. 2003. Herbicide safety relative to common targets in plants and mammals. *Pest.Manag. Sci.* 60, 17-24
- Sangakkara, U., S. Nissanka, B. Marambe, K. Hurtle and B. Rubin. 2004. Weeds, herbicide use and resistance in rice fields of Sri Lanka. In *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress: New directions for a diverse planet,* Brisbane, Australia, www.cropscience.org.
- Secor, J., C. Cseke, and J. W. Owen. 1989. The discovery of the selective inhibition of acetyl-coenzyme a carboxylase activity by two classes of graminicides. *Brighton Crop Prot. Conf. Weeds* 3B:145–154.
- 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.
- Valverde, B. 2007. Status and Management of Grass-Weed Herbicide Resistance in Latin America. *Weed Technology* 2007 21: 310–323.
- Walter, H. 2001. Profoxydim: development of a herbicide from laboratory to field. In: Prado, R.D. & Jorrín, J.V. (Eds.), *Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI.* Servicio Publicaciones Universidad de Córdoba, Córdoba (Spain). 19-30p