



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Evaluación de la resistencia de poblaciones
de *ischaemum rugosum* salisb. a bispiribac
sodio en lotes arroceros de la zona del
Ariari, Meta**

Félix Antonio Hernández León

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía
Escuela de Posgrados
Bogotá
2011**

Evaluación de la resistencia de poblaciones de *ischaemum rugosum* salisb. a bispiribac sodio en lotes arroceros de la zona del Ariari - Meta

Félix Antonio Hernández León

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Magíster en Ciencias Agrarias
Área de énfasis: Fisiología de Cultivos**

Directores

**Guido Plaza Trujillo, I.A., Ph. D.
Bernardo Chaves Córdoba, Estadístico, M.Sc.**

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía
Escuela de Posgrados
Bogotá**

2011

(Dedicatoria o lema)

**A Dios todo poderoso
A mi esposa Sandra Monsalve
A mi hija Luisa Fernanda
A mi madre Elisa León
A mi padre Isidoro Hernández (Q.E.P.D)**

Agradecimientos

El Autor expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

A la Federación Nacional de Arroceros FEDEARROZ - FNA por su apoyo financiero y logístico.

Al profesor Guido Armando Plaza por su guía, apoyo y colaboración para el desarrollo de este trabajo.

Al profesor Bernardo Chaves, por su orientación y colaboración en el desarrollo del trabajo.

A mis compañeros de trabajo de las seccionales de Granada y Acacías, por su colaboración y apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

A los Jurados, Dr. Wilson Piedrahíta y Dr. Elkin Flores, por sus aportes al presente trabajo.

Resumen

Durante 2008 y 2009, se realizaron dos estudios encaminados a establecer las especies de arvenses asociadas a los campos de arroz en los municipios de Granada y Fuentedeoro, región del Ariari, departamento del Meta. En el estudio de 2008, el objetivo fue evaluar las especies arvenses presentes en los lotes y monitorear la eficiencia de los controles realizados. Para ello se muestrearon 79 lotes comerciales de arroz con historial de aplicación de bispiribac sodio de mínimo cinco años; se realizaron tres muestreos: antes y después del primer control y después de las aplicaciones del segundo control. Se determinó la densidad de especies mediante la utilización de un marco plástico de 50 x 50 cm. En los lotes comerciales, la especie predominante fue *Ischaemum rugosum*, la cual presentó escapes a los diferentes tratamientos químicos comerciales, que tuvieron control deficiente. El estudio de 2009 consistió en evaluar el nivel de resistencia de *I. rugosum* al herbicida bispiribac sodio. Para ello se colectaron semillas de plantas provenientes de lotes comerciales con diferentes grados de control con el herbicida bispiribac sodio. Las semillas se llevaron a bandejas de germinación bajo condiciones controladas y cuando las plántulas presentaron tres hojas fueron aplicadas con bispiribac sodio a las concentraciones de 0X, 0.5X, 1X, 2X, 5X y 10X de la dosis de uso recomendada ($X=50$ g de i.a. ha^{-1}). Para la evaluación se tuvo en cuenta el porcentaje de control y el peso seco de las plantas, medido doce días después de los tratamientos. La respuesta a la aplicación en las diferentes concentraciones permite concluir que el 65 % de las muestras presentan resistencia en diferentes grados, con índices de resistencia entre 2 y 42, lo que sugiere que de seguir con el uso repetitivo de este herbicida se continuarán seleccionando plantas resistentes e incrementando el grado de resistencia de esta arvense al herbicida en mención.

Palabras Clave: Falsa caminadora, resistencia a herbicidas, rotación de cultivos, arvenses, arroz

Abstract

In 2008 and 2009, two studies focusing on identifying weeds species associated to rice fields were carried out in the municipalities of Granada and Fuentedeoro, located at the Ariari Region, in Meta Department. The objective of the 2008 study was to evaluate weeds species present on the fields, and monitoring their control efficiency. Seventy-nine (79) samples commercial rice lots were included in the study, all having a record of bispyribac sodium applications for at least a 5-year period. Three samples were chosen: 1) before the first control; 2) after the first control; and 3) after the second weed control applications. Species density was determined using a 50 x 50 cm size plastic frame. At the commercial lots, the dominant species was *Ischaemum rugosum*, which survived the different commercial chemical treatments under poor control. The study in 2009 focused

on evaluating the resistance level of *I. rugosum* to the bispyribac sodium herbicide. Plant seeds from commercial lots having different bispyribac sodium control degrees were collected. Seeds were placed on germination trays under controlled conditions and when seedling had three leaves, the bispyribac sodium was applied at a concentration ranging 0X, 0.5X, 1X, 2X, 5X and 10X of the recommended dose ($X=50 \text{ g i.a. ha}^{-1}$). For evaluation purposes, control percentage and plant dry weight, measured 12 days after treatments, were taken into account. The result after the herbicide application leads to conclude that 65% of the samples are resistant to varying degrees, having resistant rates between 2 and 42, which means that the repetitive use of this herbicide will result in more selected resistant plants and this weed will increase its degree of resistance to the herbicide in question.

Key words: Saramollagrass, herbicide resistance, crop rotation, weeds, rice.

Contenido

	Pág.
1. Resumen	11
2. Introducción	13
3. Objetivos	15
1. Revisión de Literatura	16
1.1 Importancia del cultivo de arroz en el mundo y en Colombia	16
1.2 Arroz en la zona geográfica del Ariari	17
1.2.1 Zonas geográficas	17
1.3 Rotación de cultivos	18
1.4 Efectos de la presencia de las malezas	20
1.5 Importancia agronómica de las malezas	20
1.6 Generalidades sobre <i>Ischaemum rugosum</i>	22
1.7 Generalidades de los herbicidas	24
1.7.1 Acetolactato Sintasa	25
1.7.2 Herbicidas Inhibidores de la Acetolactato Sintasa (ALS)	25
1.8 Generalidades de bispiribac sodio	26
1.9 Resistencia de malezas a herbicidas inhibidores de ALS	27
1.10 Tipos de resistencia	30
1.11 Confirmación experimental de la resistencia	30
2. Materiales y métodos	33
2.1 Fase 1. Evaluación en campo: zona geográfica y tipo de rotación	33
2.2 Fase 2. Evaluación de resistencia	38
3. Resultados	40
3.1 Fase 1. Seguimiento en campo	40
3.1.1 Situación inicial del cultivo y nivel de enmalezamiento en la región	40

3.1.2	Efecto de la zona sobre la densidad de <i>I. rugosum</i> arroz y otras malezas	4
		3
3.1.3	Efecto del tipo de rotación dentro de zona geográfica sobre la densidad de <i>I. rugosum</i>	45
3.1.4	Cobertura inicial de <i>I. rugosum</i> , y cultivo	47
3.1.4.1	Efecto de la zona sobre la cobertura de <i>I. rugosum</i> y cultivo	47
3.1.4.2	Efecto del tipo de rotación sobre la cobertura del cultivo e <i>I. rugosum</i>	48
3.1.5	Cambios poblacionales de <i>I. rugosum</i> , por efecto de los controles	49
3.1.5.1	Efecto del primer control (evaluación dos)	49
3.1.5.2	Efecto del segundo control (evaluación tres)	51
3.2	Fase 2. Evaluación de resistencia	55
3.2.1	Análisis poblacional, a través de clúster, de la resistencia de <i>I. rugosum</i> en respuesta a la dosis de bispiribac sodio	55
3.2.2	Índice de resistencia de las poblaciones de <i>I. rugosum</i> en respuesta a las aplicaciones de bispiribac sodio en las tres zonas	56
3.2.3	Ensayos de dosis respuesta para la variable peso seco de <i>I. rugosum</i> , con bispiribac sodio	60
4.	Discusión General	62
5.	Conclusiones y recomendaciones	68
10.	Bibliografía	70

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Densidad inicial del cultivo de arroz y especies malezas en lotes arroceros en la región del Ariari-Meta durante la cosecha 2008.	41
Figura 2. Cobertura de malezas en lotes de arroz en la región del Ariari del departamento del Meta durante la cosecha de 2008, primera evaluación.	42
Figura 3. Población de arroz y malezas, según zona geográfica de la región del Ariari, 2008.	44
Figura 4. Densidad de <i>I. rugosum</i> relacionada con rotación de cultivos dentro de zona geográfica en la primera evaluación de campo.	46
Figura 5. Densidad y cobertura de arroz e <i>I. rugosum</i> para las tres zonas de estudio en la primera evaluación de campo.	47
Figura 6. Cobertura inicial de <i>I. rugosum</i> relacionada con rotación de cultivos dentro de zona geográfica	48
Figura 7. Densidad y control de <i>I. rugosum</i> antes (evaluación 1) y después (evaluación 2) del primer control posemergente.	49
Figura 8. Efecto de diferentes mezclas en el primer control posemergente sobre la población y cobertura de <i>I. rugosum</i> antes (evaluación 1) y después (evaluación 2) de los tratamientos.	50
Figura 9. Efecto de diferentes mezclas en el segundo control posemergente sobre la población y cobertura de <i>I. rugosum</i> antes (evaluación 2) y después (evaluación 3) de los tratamientos.	52
Figura 10. Densidad de <i>I. rugosum</i> antes del primer tratamiento de control (evaluación 1) después del primero (evaluación 2) y después del segundo (evaluación 3).	53
Figura 11. Cobertura de <i>I. rugosum</i> antes del primer tratamiento de control (evaluación 1) después del primero (evaluación 2) y después del segundo (evaluación 3).	54
Figura 12. Similitud entre poblaciones de <i>I. rugosum</i> en respuesta a la aplicación de bispiribac sodio en las tres zonas.	56
Figura 13. RC_{50} de las poblaciones de <i>I. rugosum</i> en la región del Ariari.	57
Figura 14. Índices de resistencia de las poblaciones de <i>I. rugosum</i> a bispiribac sodio en la región de estudio.	58
Figura 15. Participación de lotes, según índices de resistencia y sistemas de rotación evaluados en la zona de estudio.	59

- Figura 16. Control y valores de IR para poblaciones de *Ischaemum rugosum* en las diferentes zonas. 59
- Figura 17. Reducción del peso seco de tres poblaciones de *I. rugosum* por efecto de la aplicación de seis dosis de bispiribac sodio. Población testigo, con resistencia intermedia (a168) y altamente resistente (a156) 61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Producción real y pérdidas estimadas en ocho cultivos, por plagas y región (Haigh, 2000).	21
Tabla 2. Clasificación de los herbicidas según su modo de acción (HRAC, 2009).	24
Tabla 3. Ubicación geográfica de los lotes, área de muestreo y cantidad de lotes muestreados en cada zona de la región del Ariari, 2008.	35
Tabla 4. Rotación (cultivo o actividad), área y cantidad de lotes correspondiente en la región del Ariari, 2008.	35
Tabla 5. Herbicidas, dosis y mezclas usadas en el primer control de malezas en la región del Ariari, 2008.	36
Tabla 6. Herbicidas, dosis y mezclas usadas en el segundo control de malezas en la región del Ariari, 2008.	37

Objetivos

General:

- Valorar la resistencia de poblaciones de *I. rugosum* al herbicida bispiribac sodio en la región del Ariari, departamento del Meta.

Específicos:

- Determinar el nivel de importancia de *Ischaemum rugosum* dentro del complejo de malezas en la región de estudio.
- Establecer el efecto de la zona geográfica y rotación de cultivos sobre las poblaciones de *I. rugosum*.
- Evaluar el nivel de control de *I. rugosum* por efecto de los tratamientos químicos realizados por los agricultores en la zona de estudio.
- Encontrar los índices de resistencia al bispiribac sodio por población evaluada, estimando la RC_{50} y usando la curva de respuesta a dosis crecientes del modelo Log-Logistic.

1. Capítulo 1 Revisión de literatura

1.1 Importancia del cultivo de arroz en el mundo y en Colombia

El arroz es un cultivo antiguo, ha formado parte de la alimentación del ser humano durante más de 10.000 años, más que ningún otro cultivo. En la actualidad es el alimento básico más importante en el mundo, pues más de 50% de la población depende del arroz para cubrir alrededor del 80% de sus necesidades alimentarias. Cerca del 95% del arroz mundial es producido y consumido en los países en vías de desarrollo, y su importancia ha ido creciendo incluso en países donde no es un alimento básico tradicional (FAO, 2004).

En Colombia, durante el año 2009, se sembraron 485.650 ha de arroz, de las cuales el 32% se ubicó en la zona de los Llanos Orientales: en la actualidad es la de mayor área de siembra en el nivel nacional y de la que hacen parte los departamentos de Arauca, Meta y Casanare. El departamento del Meta participa con el 50% del área arrocera de los Llanos Orientales, es decir, un papel primordial en la producción de arroz a nivel nacional, además, más del 80% de su área se siembra bajo el sistema de secano mecanizado, con una productividad entre 5,3 a 5,8 t. ha⁻¹ (Fedearroz, 2009). Al sur del departamento del Meta, se encuentra ubicada la región del Ariari, la cual presenta zonas representativas del cultivo de arroz donde se siembran alrededor de 20.000 ha de arroz al año y se llevan a cabo diferentes prácticas de manejo del cultivo; 90% de su área se siembra bajo el sistema de secano mecanizado mientras el 10% restante, bajo el sistema de riego.

Las condiciones climatológicas que predominan en la región del Ariari son: temperaturas mínimas que varían de 20 a 23°C, temperaturas máximas de 28 a 33°C y precipitación anual con variación de 2.400 a 2.800 mm, por lo que la oferta hídrica es suficiente para garantizar el desarrollo de un cultivo de arroz en la región (IDEAM, 2008).

1.2 Arroz en la zona geográfica del Ariari

1.2.1 Zonas geográficas

La región del Ariari se caracteriza por presentar suelos de fertilidad media a alta; además, algunas zonas están influenciadas por inundaciones provocadas por desbordamientos del río Ariari en época de invierno. En esta región, se distinguen tres

zonas geográficas en las cuales se desarrollan los cultivos de arroz, que se referencian de la siguiente manera:

Zona uno

Esta zona se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Ariari; comprende una altura de 0 a 5 m. con respecto a la cota del río, presenta menor altitud que las otras, por tal motivo en época de invierno es la zona más expuesta a recibir inundaciones temporales por desbordamiento del río; su topografía es generalmente plana y comprende niveles bajos de terraza, donde el río ha delimitado su cauce. Los suelos presentan un promedio de pH de 5,6 predominan las texturas franco arenosas y su drenaje es generalmente bueno (Vanegas *et al.*, 1998).

Zona dos

Esta zona también se ubica en la margen izquierda del río Ariari, después de la zona uno; presenta una altura de 6 a 10 m con respecto a la cota del río, tiene menor susceptibilidad a inundaciones durante la época lluviosa y se caracteriza por tener un relieve con pendiente inferior al 3%, aunque posee buen drenaje; además, en esta zona circulan algunos caños que disminuyen su caudal en época de verano. Presenta un promedio de pH de 5,0 y predominan las texturas arenosas. Los cultivos que más se siembran son: arroz, soya, maíz, plátano, yuca y algunos frutales (Vanegas *et al.*, 1998).

Zona tres

Está ubicada sobre la margen derecha del río Ariari, tiene pocas posibilidades de inundación y está rodeada de pequeños caños, como el Guanayas, Urichare y Caño Venado. Se encuentra a una altura de 2 a 35 m con respecto a la cota del río. Tiene potencial para la agricultura comercial e industrial y está cubierta por vegas de fertilidad media. El suelo presenta un promedio de pH de 4,9 prevalecen las texturas franco arcillosas y el drenaje de los suelos es generalmente bueno. Se encuentra surcada por valles pequeños y estrechos que se alargan con franjas angostas de bosques de galería que se denominan localmente “morichales”. En la zona se ha desarrollado una agricultura comercial basada en cultivos de palma africana, arroz, maíz, soya y frutales (Rippstein *et al.*, 2001).

1.3 Rotación de cultivos

Los cultivos por lo general tienen una flora típica de malezas asociadas a ellos, por lo tanto, su rotación modifica la composición de las especies de las comunidades de malezas (Hyvönen y Salonen, 2002). La producción intensiva en sistemas de monocultivo selecciona la flora de las malezas altamente compatibles con el sistema de producción específico; por lo general, estas malezas también son muy competitivas y difíciles de eliminar. La rotación de cultivos implica cambios en los modelos de siembra, en los ciclos de vida, en las características de competitividad y en el manejo de las malezas que alteran los nichos de regeneración de esas especies y finalmente previenen el aumento de aquellas altamente adaptadas (Buhler, 2002). En la India, donde la secuencia de siembra arroz-trigo fue interrumpida por la rotación con otros cultivos, la incidencia de la especie *Phalaris minor* resistente a isoproturón fue menor (Malik y Singh, 1995).

En un estudio llevado a cabo en Francia, Chauvel *et al.* (2009) evaluaron el efecto de varias prácticas seleccionadas de manejo, incluyendo la rotación de cultivos, sobre una población de la gramínea *Alopecurus myosuroides* que evolucionó resistencia a fenoxaprop y clodinafop. La población exhibió resistencia cruzada al herbicida SFU flupysulfuron, que nunca había sido usado en ese campo. El porcentaje de las plantas resistentes al ACCasa no cambió durante los tres años de la rotación, sin embargo, la rotación de cultivos redujo la densidad del pasto negro, especialmente cuando los cultivos de primavera fueron introducidos en el esquema de la rotación.

En campos de arroz del norte de Irán, Filizadeh *et al.* (2007), al comparar el sistema de rotación arroz-soya con arroz-arroz por un periodo de dos años, encontraron una reducción de 63 y 80% en la densidad y biomasa de malezas, además de obtener incrementos entre 17% y 21% en la producción de arroz cuando se efectuaba rotación con soya.

En un estudio realizado en la zona agrícola de Villavicencio, Meta, Bastidas y Gómez (2004) evaluaron el efecto de rotación de cultivos sobre las poblaciones de malezas en arroz de secano y encontraron que cuando el lote se dejaba en descanso en el segundo semestre, la población de *I. rugosum* se incrementaba 30% en el primer año y 50% en el segundo. En las áreas donde se hizo rotación con soya, la reducción de la población de *I. rugosum* fue de 7% en el primer año y 35% en el segundo. Para lotes donde la rotación se efectuó con crotalaria, la reducción en población de *I. rugosum* fue de 12% para el primer año y de 67,7% para el segundo, lo que muestra que la práctica de rotación con leguminosas es una herramienta eficaz en la reducción de la población de malezas.

En una investigación desarrollada en dos zonas del departamento del Meta, Delgado *et al.* (2009) evaluaron el efecto de barbechos mejorados con leguminosas sobre la población de arvenses. Los resultados señalaron que los tratamientos provenientes de la rotación con *Mucuna deeringianum* (Bort) y *Crotalaria ochroleuca* presentaron las poblaciones de malezas más bajas, con 140 y 199 individuos m² respectivamente, y con diferencia significativa con respecto al barbecho nativo, el cual presentó 420 malezas m². Esto indica una reducción de más del 50% en las poblaciones de malezas, lo que confirma uno de los beneficios de la práctica de rotación de cultivos con leguminosas en estas zonas.

En la región del Ariari, después de la cosecha de arroz del primer semestre, los agricultores ejecutan las siguientes alternativas de manejo de los lotes:

- 1) Lotes en descanso (arroz- descanso-arroz): se refiere a lotes donde sólo se siembra arroz durante el primer semestre del año, mientras en el segundo permanece sin cultivo hasta el siguiente año, cuando se inicia el periodo de preparación de suelos.
- 2) Rotación con soya (arroz-soya-arroz): después de la cosecha de arroz se siembra esta leguminosa en el segundo semestre, entre los meses de agosto a octubre, y se recolecta en el periodo que va de diciembre a febrero del siguiente año.
- 3) Sin rotación (arroz-arroz-arroz): se siembra continuamente arroz tanto en el primer semestre como en el segundo.
- 4) Rotación con plátano (arroz-plátano-arroz): después del cultivo de arroz, se efectúa la siembra de cultivos anuales, como plátano o yuca para luego continuar con la siembra de arroz.
- 5) Pastoreo con ganado (arroz-pastoreo-arroz): después de la cosecha de arroz, durante el segundo semestre se introduce ganado al lote el cual consume constantemente la

vegetación e interrumpe drásticamente la producción de semillas de malezas durante este ciclo, luego se continua con la siembra de arroz durante el primer semestre.

1.4 Efectos de la presencia de las malezas

En cuanto a las condiciones de producción de cultivos, los mayores efectos de las malezas corresponden a la disminución de los rendimientos, la cual está considerada en promedio entre 30% y 50 % (Oerke y Steiner, 1996). García-Torres y Fernández-Quintanilla (1991) describen así los efectos directos e indirectos de las arvenses en los cultivos:

Efectos directos

- Reducción de producción, ya que las malezas son altamente eficientes en la captura de recursos disponibles para el cultivo.
- Interferencias en la recolección, causada por la falta de sincronía en la etapa de maduración de la arvense en relación con el cultivo.
- Incremento de los costos de producción, como pueden ser labores mecánicas suplementarias, utilización de herbicidas u otros medios de control.
- Reducción del valor del producto, debido a causas como: incrementos en los niveles de humedad e impurezas transferidos al producto cosechado o descarte de lotes de multiplicación para semilla certificada.

Efectos indirectos

- Reducción del valor de la tierra infestada, debido a la presencia de plantas que producen sustancias tóxicas, o producen sabores y olores desagradables y efectos secundarios en el ganado.
- Hospedaje de plagas y enfermedades, ya que algunas especies de arvenses son huéspedes de insectos y microorganismos potencialmente dañinos.

1.5 Importancia agronómica de las malezas

Las arvenses causan pérdidas considerables en los sistemas de producción de cultivos en todo el mundo (Tabla 1). Aunque las pérdidas son significativas en países con sistemas de producción agrícola altamente desarrollados (Europa, Estados Unidos y Australia), los costos de manejar esa problemática en los países menos desarrollados son mayores (Haigh, 2000).

Teniendo en cuenta los efectos tanto directos como indirectos que causa la presencia de arvenses en los sistemas de producción de cultivos, su manejo y control es de vital importancia. Hay que entender por manejo todo un plan de acciones que incluye diferentes estrategias y métodos de control, así como los tratamientos y la aplicación de métodos específicos de afección sobre la población de arvenses.

Tabla 1. Producción real y pérdidas estimadas en ocho cultivos, por plagas y región (Haigh, 2000).

Región	Pérdidas debidas a				
	Producción Potencial	Patógenos	Insectos	Malas hierbas	TOTAL
(10³ Millones de dólares)					
África	13.3	4.1	4.4	4.3	12.8
Norte América	50.5	7.1	7.5	8.4	22.9
Latinoamérica	30.7	7.1	7.6	7.0	21.7
Asia	162.9	43.8	57.6	43.8	145.2
Europa	42.6	5.8	6.1	4.9	16.8
Oceanía	3.3	0.8	0.6	0.5	1.9

Booth y Swanton (2002) argumentan que la teoría ecológica conocida como “asamblea de la comunidad” puede ser aplicada a las malezas. Esta teoría explica en un ámbito ecológico cómo se relacionan las comunidades mientras siguen trayectorias a través del tiempo. La trayectoria es controlada por factores bióticos o abióticos que actúan a diferentes escalas e intervienen removiendo especies que carecen de cualidades específicas para adaptarse a las condiciones impuestas. Así, la comunidad de malezas cambia su estructura debido a la restricción ejercida por prácticas tales como la labranza y la rotación de cultivos.

Légere y Samson (2004) realizaron un estudio para determinar la influencia relativa de la rotación de cultivos, labranza y manejo de malezas, sobre las asociaciones de estas en cultivos de cebada de verano. Encontraron que las malezas perennes prosperan mejor en suelos sin labranza. Sin embargo, la correspondencia entre los esquemas de clasificación y los factores de manejo sugieren que otros aspectos de la biología de malezas, tales como el tamaño de la semilla, la dispersión, la producción, los requerimientos de germinación y la longevidad del banco de semillas, deben ser considerados con el fin de encontrar una explicación a la presencia y dominancia de ciertas especies de malezas en determinados ambientes agrícolas.

Por su parte, Puentes (2003), al evaluar la presencia de malezas del cultivo de arroz en el departamento del Tolima, encontró que las malezas gramíneas más importantes fueron *Echinochloa colona* (presente en 87% de los lotes), seguida por el complejo *Digitaria* (75%) y por el complejo *Leptochloa* (56%). Al comparar estos resultados con los reportados por BASF en 1998, se encuentra que en el Tolima *Digitaria* spp. y *Leptochloa* spp. Fueron más abundantes que las caminadoras (*Ischaemum rugosum* y *Rotboellia cochinchinensis*), las cuales presentan una mayor colonización en los Llanos Orientales, por estar mejor adaptadas al sistema de siembra de arroz de seco.

Bastidas y Ordoñez (2001) evaluaron la presencia de gramíneas en lotes arroceros de los departamentos del Meta y Casanare y encontraron que, en un periodo de tres años (1996 - 1999), *I. rugosum* presentó en promedio un incremento del 20% en su población con un rango entre 200 y 650 plantas m⁻²; además sugirieron que una de las posibles causas de estos incrementos podía ser el alto uso de semilla paddy como material de siembra.

Fischer (1995) evaluó la respuesta de siete biotipos de *Echinochloa colona*, procedentes de lotes de arroz de la zona del Tolima, a la aplicación de dosis crecientes de propanil: tres biotipos fueron colectados en áreas donde el herbicida ha sido usado en forma esporádica, mientras los otros cuatro provenían de áreas continuamente tratadas con propanil. En los tratamientos de dosis respuesta encontró que en los tres primeros biotipos se necesitaron 2 L de i.a. ha⁻¹ de propanil para reducir 50% de su peso seco, mientras que los otros cuatro necesitaron de 2,3 hasta 5,5 veces esa cantidad. De esta forma, se evidenció un problema de resistencia de cuatro biotipos de *Echinochloa colona* al herbicida propanil en la zona del Tolima.

Esto puede explicar el hecho de que una maleza predomine con respecto a otras dentro de un mismo agroecosistema, aspecto que se debe a manejos culturales propios de cada cultivo, los cuales favorecen o desfavorecen la permanencia de una especie de maleza en una región. La presión de selección que se genera sobre las malezas por el uso repetitivo de herbicidas produce una rápida evolución hacia poblaciones de malezas resistentes (Maxwell y Mortimer, 1994).

1.6 Generalidades sobre *Ischaemum rugosum*

Ischaemum rugosum Salisbury es una gramínea anual, nativa del Asia tropical, que crece desde el nivel del mar hasta los 2.400 m de altitud. Su distribución geográfica presupone una mejor adaptabilidad en las regiones húmedas cerca del Ecuador (Holm *et al.*, 1977). En Malasia, *Ischaemum rugosum* es considerada una de las malezas de mayor competitividad, característica que reduce los rendimientos en cultivos de arroz, caña de azúcar y palma de aceite (Bakar y Ahmed, 2003). En Colombia se le conoce, como ya se ha dicho, con el nombre de “falsa caminadora”, y es considerada la gramínea más competitiva en la zona de los Llanos Orientales, tanto por su rápido crecimiento como por su alta producción de semillas, germinación escalonada y adaptación a sitios de alta pluviosidad (Pabón, 1982). Estudios de libre competencia de esta arvense con interferencia en el cultivo de arroz han indicado reducciones entre 68% y 90% del rendimiento (Pabón, 1982; Hernández *et al.*, 1.999).

I. rugosum es una poácea de tallo decumbente en la base, con una altura entre 30 cm a 130 cm; las vainas de las hojas poseen lígula y sus hojas pueden tener de 5cm a 30 cm de largo, su ancho varía entre 3 mm y 15 mm. La inflorescencia está compuesta por dos racimos apareados y adheridos de 3 a 8 cm de largo, que se separan en la madurez; las espiguillas son aristadas y sésiles, y el fruto es una cariósida de 2,5 mm de largo de forma triangular a oblonga (Holm *et al.*, 1977; Clayton *et al.*, 2005; Fuentes *et al.*, 2010).

Trabajos desarrollados por Bakar y Ahmed (2003) indican que la semilla de *I. rugosum* se comporta como una especie fotoblástica, ya que depende de la luz para su germinación. En este sentido, Hill *et al.* (1989) informan que la profundidad a la que se ubiquen las semillas tiene un papel determinante en la germinación, ya que la pobre calidad de luz recibida por semillas enterradas induce una dormancia forzada. Torres *et al.* (2003) reportaron que cuando se colocan semillas de esta especie por debajo de 8 cm de profundidad, los porcentajes de germinación se reducen a cero.

La adaptación de *I. rugosum* a diferentes hábitats del trópico de América y Asia, tales como suelos inundados o secos, ha sido reportada por Baki (1992). Asimismo, Nabi

(1999) indica que la falsa caminadora es una planta de metabolismo C-4, condición que le ha permitido adaptarse a ambientes calurosos, secos, húmedos y de alta intensidad lumínica, especialmente en los trópicos.

Bakar y Ahmed (2003) reportaron que *I. rugosum* es una especie altamente prolífica, pues llega a generar hasta 18.000 semillas por planta al año. Esta producción puede prolongarse hasta por diez semanas después de la aparición de la primera espiga.

Finalmente, cuando la planta llega a su madurez, la inflorescencia formada por artículos (diásporas) se separa progresivamente del ápice hacia la base, lo cual se constituye en la verdadera unidad de dispersión, de tal manera que, en un terreno cultivado, la falsa caminadora en su etapa reproductiva supe constantemente al suelo de artículos que dan como resultado un aumento escalonado de su población (Pabón, 1982).

1.7 Generalidades de los herbicidas

El Comité de Acción contra la Resistencia a Herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés) propone a través de la tabla de clasificación de los herbicidas, según su modo de acción (Tabla 2), una herramienta que ayuda a agricultores, técnicos e investigadores a la elección de herbicidas para planificar mezclas o rotaciones de materias activas tendientes a minimizar el riesgo de resistencia.

Tabla 2. Clasificación de los herbicidas según su modo de acción (HRAC, 2010)

Grupo	Modo de acción	Familia química
A	Inhibición de la acetil CoA carboxilasa (ACCase)	Ariloxifenoxipropionatos "FOPs", ciclohexanodionas "DIMs" Fenil pirazolina "DEN"
B	Inhibición de la acetolactato sintasa (ALS)	Imidazolinonas, sulfonamidas, sulfonilureas, triazolopirimidinas, pirimidiniltiobenzoatos, Sulfonil aminocarbonil triazolinona
C1	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazinas, triazinonas, uracilos, piridazinona, fenil-carbonatos Triazolinonas
C2	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Ureas, amida
C3	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Nitrilos, benzotiadiazol, fenil-piridazina
D	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos,
E	Inhibición del protoporfirinógeno oxidasa (PPO)	Difeniléteres, N-fenil-ftalamidas, tiadiazoles, oxadiazol, triazolinona, Fenil pirazol, Oxasoldimediona, Pirimidin diona, otros
F1	Decoloración: inhibición de la síntesis de carotenoides a nivel de la fitoeno desaturasa (PDS)	Piridazinona, piridina carboxamida, otros
F2	Decoloración: inhibición de la 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa	Trikenona, ixosazol, pirazol, otro

	(4-HPPD)	
F3	Decoloración: inhibición de la síntesis de carotenoides (punto desconocido)	Triazol, isoxazolidinona, urea, Difenil éter
F4	Inhibición de 1-oxy-dxylulosa5-fosfato sintasa (DOXP sintasa)	Isoxazolidinona
G	Inhibición de la EPSP sintetasa	Glicinas
H	Inhibición de la glutamino sintetasa	Acido fosfínico
I	Inhibición del DHP (dihidropterato) sintetasa	Carbamato
K1	Inhibición de la unión de los microtúbulos de la mitosis	Dinitroanilinas, fosforoamidatos, piridina, ácido benzoico, Benzamida
K2	Inhibición de la mitosis	Carbamatos, benzileter
K3	Inhibición de la división celular	Cloroacetamidas, acetamida, benzamida, oxiacetamida, tetrazolinona, otros
L	Inhibición de la síntesis de la pared celular (celulosa)	Nitrilos, benzamida, triazolocarboxamida, triazolcarboxamida, ácido quinolin carboxílico
M	Desacopladores (alteración de la membrana)	Dinitrofenoles
N	Inhibición de la síntesis de los lípidos (no ACCasa)	Tiocarbamatos, fosforoditioato, benzofurano, ácidos clorocarbónicos
O	Auxinas sintéticas (como la acción del ácido indolacético, AIA)	Acidos fenoxi-carboxílicos, ácido benzoico, ácido piridin-carboxílico, ácido quinolin carboxílico, otros
zoP	Inhibición del AIA	Ftalamato semicarboxona,
R/S/T/Z	Desconocido	Acido arilamino propiónico, organoarsenicales, pyrazolio, otros

1.7.1 Acetolactato sintasa

La acetolactato sintasa (ALS, acetohidroxiácido sintasa, AHAS, E.C. 4.1.3.18) es la enzima que cataliza el primer paso común en la biosíntesis de los aminoácidos alifáticos de cadena lateral: valina, leucina e isoleucina en plantas y microorganismos (Saari y Mauvais, 1996). El estudio de esta ruta de biosíntesis en plantas es importante por dos razones: primero, por ser la ruta donde se catalizan tres de los diez aminoácidos esenciales y, en consecuencia, presentan un valor nutricional importante; segundo, por ser precursores de metabolitos secundarios, como glucosinolatos y glicósidos. En esta ruta existen varios pasos paralelos en los que están involucradas cuatro enzimas: ALS, acetohidroxiácido isomero-reductasa, dihidroxiácido dehidratasa y aminotransferasa.

1.7.2 Herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS)

Estos herbicidas presentan como mecanismo de acción la inhibición de síntesis de aminoácidos alifáticos: valina, leucina e isoleucina. La vía biosintética de estos tres

aminoácidos tiene en común el uso de la enzima ALS, la cual participa en la fase inicial del proceso metabólico catalizando una reacción de condensación (Christoffoleti, 2002).

En la actualidad se conocen unos veinte sitios de acción de los herbicidas, pero los del grupo B son los que interesan al presente trabajo; ellos son denominados herbicidas inhibidores de la enzima acetolactato sintasa, ALS (imidazolinonas, sulfonanilidas, sulfonilureas, triazolopirimidinas, pirimidiniltiobenzoatos). A mediados de los años setenta, científicos de Dupont describieron las sulfonilureas como potentes inhibidores de la ALS (Levitt, 1978). Desde entonces, cientos de compuestos han sido identificados como inhibidores de esta enzima. En la década del ochenta, American Cyanamid desarrolló una serie de herbicidas con estructura de imidazolinona que también inhibían la ALS (Shaner *et al*, 1984). En la actualidad se sabe que esta enzima es el sitio de acción de varias familias de herbicidas, reconocidas como miembros del grupo B en la clasificación del HRAC, de gran importancia en la agricultura (HRAC, 2010).

Los herbicidas que inhiben la ALS han tenido éxito en la agricultura moderna, no solo por su alta eficacia, sino también por su baja toxicidad en mamíferos y bajo impacto ambiental, así como por la amplia selectividad de cultivos y gran número de formulaciones de uso en pre y post-emergencia. De hecho, en la actualidad este grupo presenta el mayor número de ventas en el mercado mundial (Heap, 2010).

Entre los herbicidas inhibidores de ALS frecuentemente usados en arroz en Colombia, se encuentran las sulfonilureas, las imidazolinonas y los pirimidiniltiobenzoatos. De las sulfonilureas, el metsulfuron-metil se ha utilizado para control de hojas anchas y el pyrasozulfuron-etil, para ciperáceas. En el grupo de las imidazolinonas, el imazapir, imazapic e imazamox se han utilizado para controlar el arroz rojo dentro del sistema de cultivo de arroz Clearfield. Dentro del grupo de los pirimidiniltiobenzoatos se ha usado ampliamente el bispiribac sodio para control de gramíneas como *I. rugosum*, *Echinochloa colona*, algunas ciperáceas y commelináceas.

1.8 Generalidades de bispiribac sodio

El bispiribac sodio es un herbicida posemergente de acción sistémica del grupo de los pirimidiniltiobenzoatos, que inhiben la enzima ALS (Acetolactato sintetasa) y la subsiguiente biosíntesis de los aminoácidos de cadena ramificada (valina, leucina e isoleucina). Las malezas sensibles al herbicida suspenden su crecimiento, se tornan cloróticas, sus tejidos se necrosan y finalmente la planta muere.

Esta es la información general ofrecida *Pesticide Properties Database* (PPDB, 2009).

Tipo de pesticida	Herbicida
Grupo químico	Compuesto Pyrimidinyl carboxy
Modo de acción	Selectivo, de acción sistémica absorbido por follaje y raíz. Inhibidor de la enzima ALS
Fórmula química	C ₁₉ H ₁₇ N ₄ NaO ₈

Identificación internacional	InChI=1/C19H18N4O8.Na/c1-26-12-8-13(27-2)21-18(20-12)30-10-6-5-7-11(16(10)17(24)25)31-19-22-14(28-3)9-15(23-19)29-4;/h5-9H,1-4H3,(H,24,25);/q;+1/p-1/fC19H17N4O8.Na/q-1;m
Masa molecular (g mol ⁻¹)	452.36
Nombre	sodium 2,6-bis(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yloxy)benzoate
Clasificación de Herbicida (HRAC)	B

1.9 Resistencia de malezas a herbicidas inhibidores de ALS

Durante los últimos 50 años, el método de control de malezas que ha predominado en la mayoría de los sistemas de cultivo en el mundo, especialmente en naciones industrializadas, ha sido el uso de herbicidas. Dadas las ventajas y el éxito que ha tenido su práctica constante, era inevitable que se llegara a presentar alguna respuesta de tipo biológico por parte de las especies sometidas a su acción. Dicha repercusión ha sido la selección de genes dentro de las poblaciones de malezas que confieren resistencia a los herbicidas. La resistencia ha sido considerada por el HRAC como la habilidad heredable de una planta de sobrevivir y reproducirse después de estar expuesta a una dosis de herbicida, la cual en condiciones normales sería letal para el tipo silvestre (HRAC, 2010).

El factor más importante que gobierna la evolución de la resistencia de una especie arvense a un herbicida es la presión de selección que impone el herbicida (Jasienuk *et al.*, 1996). La mayor presión de selección se ejerce cuando se usan altas dosis de herbicidas de compuestos altamente efectivos o persistentes y de aplicación frecuente. A medida que se incrementa la tasa de mortalidad también aumenta la tasa de la presión de selección que se impone con el herbicida. Por lo tanto, las poblaciones de malezas resistentes pueden ser consideradas como un caso de rápida evolución (Reznick y Cameron, 2001).

Teniendo en cuenta que la presión de selección es el elemento fundamental para el desarrollo de la resistencia, las tácticas que disminuyen esa presión de selección impuesta sobre la población son las que deberían ser favorecidas. La dosis de los herbicidas, la eficacia y la frecuencia de sus aplicaciones determinan en gran medida la presión de selección. El monocultivo, el uso intensivo de herbicidas con el mismo modo de acción y una limitación de las labores culturales caracterizan por lo general los sistemas en los que ha evolucionado la resistencia de malezas a herbicidas (Mortensen *et al.*, 2000).

Las sulfonilureas, los pirimidiniltiobenzoatos e imidazolinonas poseen alta eficacia, baja toxicidad en mamíferos, amplio espectro de selectividad y sus dosis son relativamente bajas. Debido a estas características su empleo está muy extendido y, como consecuencia de ello, la resistencia a herbicidas pertenecientes a estos grupos se ha constituido en los últimos años en un serio problema. La selección de biotipos resistentes

a estos herbicidas puede ocurrir en períodos relativamente cortos, de tres a siete años (Saari *et al.*, 1994; Lovell *et al.*, 1996). El biotipo ha sido definido por Kissmann (2003) como un grupo de individuos con carga genética similar, pero poco diferentes de la mayoría de los individuos de la población; para el caso de malezas resistentes a herbicidas es caracterizado, normalmente, sólo por la diferenciación genética que confiere la característica de resistencia.

En el mundo ya hay confirmados 358 biotipos resistentes a herbicidas pertenecientes a 197 especies (115 dicotiledóneas y 82 monocotiledóneas). Dos grupos de herbicidas cuyos modos de acción son relativamente nuevos, es decir, aquellos que inhiben la enzima ALS y los inhibidores de la acetil coenzima-A carboxilasa (ACCase) han contribuido a intensificar el problema. Actualmente, existen 109 especies resistentes a herbicidas inhibidores de ALS y 40 especies resistentes a herbicidas inhibidores ACCase (Heap, 2011). Ambos grupos de herbicidas se emplean en arroz.

En el cultivo del arroz, la resistencia a herbicidas se ha presentado en prácticamente todos los agroecosistemas de importancia económica (Valverde e Itoh, 2001). Los casos de resistencia a herbicidas en malezas asociadas al arroz comenzaron a documentarse en la literatura a principios de la década de los noventa y ya hoy incluyen 31 especies, entre las cuales se encuentra *I. rugosum*, la cual se reporta como resistente al herbicida fenoxaprop-P-ethyl (Valverde, 2000).

La resistencia a inhibidores de ALS, provocada principalmente por el uso generalizado de sulfonilureas, es la más frecuente en malezas del arroz, especialmente en Asia. Se conocen veinte especies de malezas resistentes a inhibidores de ALS, muchas de ellas son especies acuáticas, y su control se basó fundamentalmente en el uso de bensulfurón (Fischer y Valverde, 2006).

En Malasia, *I. rugosum* evolucionó resistencia a herbicidas del grupo D/22, conocidos como bipiridilos; la investigación mostró que estos biotipos fueron resistentes al paraquat y pueden tener resistencia cruzada con otro grupo. En ese estudio se estimó que las poblaciones de *I. rugosum*, resistentes a los herbicidas del grupo D/22, habían infestado diez regiones. El mecanismo de resistencia para estos biotipos es desconocido y no ha sido reportado aún (Bakar 2009).

Valverde (2007) reportó ante el HRAC, en el año 2000, biotipos de *I. rugosum* procedentes de campos de arroz de Colombia, con resistencia al herbicida fenoxaprop-p-etil, del grupo de las ACCase. El mecanismo de resistencia para estos biotipos es aún desconocido.

Giratá (2001) evaluó técnicas de detección de resistencia de *Echinochloa colona* e *Ischaemum rugosum* con el herbicida fenoxaprop-p-etil. Los resultados que obtuvo mostraron que, con el tratamiento de plántulas en estado de tres hojas, pudo establecer claras diferencias de respuesta entre los biotipos susceptibles y resistentes, tanto de *E. colona* como de *I. rugosum*. Con base en la medición de peso fresco, los índices de resistencia calculados para el biotipo resistente de *E. colona* fue 15,7 veces más alto que el susceptible, mientras el del biotipo resistente de *I. rugosum* fue 3.800 veces más alto que el susceptible.

En campos de arroz de Venezuela en el estado de Portuguesa y Guárico, Zambrano *et al* (2004) evaluaron poblaciones de *I. rugosum* recolectadas en fincas arroceras donde se tenía un historial de cuatro años de aplicación con el herbicida bispiribac sodio. Los autores encontraron que los biotipos identificados como AG001 y AG002 mostraron resistencia a este herbicida.

Finalmente, en poblaciones de *I. rugosum* procedentes de lotes de arroz de Sri Lanka, Sangakkara *et al.* (2004) adelantaron estudios de resistencia a las aplicaciones del herbicida bispiribac sodio y encontraron que de veinticinco poblaciones evaluadas, el 36% presentó resistencia a las aplicaciones de bispiribac sodio con índices de resistencia entre 6,5 y 10,6.

1.10 Tipos de resistencia

Resistencia cruzada. Es la que desarrolla un biotipo de una maleza a dos o más herbicidas que tienen el mismo sitio de acción. Ocurre debido a cambios en el sitio molecular de acción del herbicida, tal como es frecuente en poblaciones de malezas resistentes a sulfonilureas, las cuales pueden ser resistentes a otras familias químicas de herbicidas con el mismo sitio de acción, es decir que inhiben la enzima ALS, como las imidazolinonas, triazolopiriminidas y piridinilbenzoatos. También se dan casos de resistencia cruzada no asociada a cambios en el sitio de acción del herbicida, la cual ocurre cuando herbicidas de varias familias pueden ser degradados dentro de la planta por sistemas metabólicos comunes (Valverde, 1999; Powles y Holtum, 1994).

Resistencia múltiple. Es la que presenta un biotipo a dos o más herbicidas como resultado de la existencia de dos o más mecanismos de resistencia, los cuales confieren resistencia a varios herbicidas de distintos grupos químicos y modos de acción. Este es el caso de *Lolium rigidum* en Australia, donde se presentan poblaciones con resistencia a ariloxi-fenoxipropanoatos, ciclo exanodionas, sulfonilureas, triazinas, ureas sustituidas y otros grupos, como resultado de la presencia conjunta de al menos cuatro mecanismos de resistencia (Powles y Holtum, 1994; Valverde, 2007).

1.11 Confirmación experimental de la resistencia

Valverde *et al.* (2000) exponen el procedimiento para la detección de malezas resistentes a herbicidas. Afirman que si únicamente se desea verificar que la población es resistente, puede realizarse una aplicación en un área limitada del campo utilizando la dosis comercial, y una o dos dosis superiores (por ejemplo, el doble y cuádruplo), más un testigo sin tratar. Una vez que los síntomas de toxicidad se desarrollan, se realiza una evaluación visual del daño. Si en esta prueba no se observan daños severos con la dosis comercial ni con las dosis altas, se puede tener una sospecha de que la población evolucionó resistencia. Una prueba de este tipo tiene la ventaja práctica de cambiar la decisión y permitir la aplicación oportuna de un herbicida alternativo, así como la suspensión de la aplicación del producto en otros predios donde se sospeche que las malezas puedan ser resistentes.

Los análisis más rigurosos requieren de la recolección de semilla de plantas sospechosas de ser resistentes, así como de otras que se sabe son susceptibles y que sirven de comparador de referencia (Fischer y Valverde, 2006). Con la semilla recolectada se procede a realizar bioanálisis en el invernadero (con plantas enteras) o en el laboratorio (con plántulas, tejidos, orgánulos o sistemas enzimáticos) (Valverde *et al.*, 2000). El diagnóstico agronómico estándar se basa en bioanálisis con plantas enteras tratadas con dosis crecientes del herbicida, siguiendo un diseño experimental apropiado con un número razonable de dosis (preferiblemente cinco o más, incluyendo el testigo sin herbicida) y repeticiones. Las comparaciones se hacen entre poblaciones susceptibles de referencia y aquellas de las que se sospecha resistencia. Una vez aplicado el herbicida bajo condiciones controladas y que los síntomas de fitotoxicidad se desarrollan, se procede a valorar la respuesta a dosis crecientes del producto (las dosis deben incrementarse según un multiplicador común). La medición que se emplea con más frecuencia es la del peso fresco o peso seco.

Luego, utilizando un modelo de regresión que usa la curva de respuesta a dosis creciente basado en el modelo logístico (Streibig *et al.*, 1993) se procede a calcular la dosis del herbicida que causa una reducción del crecimiento equivalente a un 50%. A este valor se le denomina “dosis de reducción media del crecimiento” (RC_{50}). Para verificar si la población en duda es resistente, se calcula la relación entre la RC_{50} de la población sospechosa y la de referencia. Al valor obtenido se le denomina “índice de resistencia” (IR). Cuando el IR es mayor de 2,0 se confirma que la población en estudio es resistente. El procedimiento de regresión puede realizarse con distintos paquetes estadísticos. Ritz y Streibig (2005) desarrollaron un protocolo para este tipo de análisis, denominado DRC (*dose response curve*), utilizando un programa de cómputo que se puede obtener en internet (Fischer y Valverde, 2006). Cualquiera que sea el método utilizado para diagnosticar la resistencia, lo importante es tener un testigo o biotipo de referencia que sirva de comparador.

Como consecuencia de la presión de selección impuesta por la aplicación continuada de herbicidas, que caracteriza a los modernos sistemas de producción agrícola, es posible el desarrollo de biotipos de malezas que dejan de ser controlados por un determinado herbicida al que previamente eran susceptibles. Esta respuesta se conoce generalmente como resistencia, la cual es una característica adquirida por una población (biotipo) de una especie que carecía de ella (De Prado y Ruiz, 2005). A diferencia de las plantas tolerantes, las resistentes suelen sobrevivir no sólo a las dosis de aplicación agrícola del herbicida sino a otras bastante superiores (De Prado *et al.*, 1996).

Ahora bien, para determinar la resistencia de las malezas con aplicaciones de concentraciones crecientes de un herbicida, la RC_{50} se estima usando la curva de respuesta a dosis crecientes de Streibig (1988) y Seefeldt *et al.* (1995), la cual está basada en el modelo logístico:

$$Y=f(x) = (C) + \frac{D - C}{1 + \exp[b (\log(x) - \log(RC_{50}))]}$$

Donde C = límite inferior de la respuesta; D = límite superior; b = pendiente y RC_{50} = la dosis que produce un 50% de la respuesta. En este caso la respuesta “ x ” es el peso seco

de las plantas. Este modelo tiene como ventaja que cada uno de los parámetros posee un significado biológico: el límite superior corresponde a la respuesta media del control (plantas sin aplicación de herbicida); el límite inferior, a la media de la respuesta a dosis muy altas del herbicida, y el parámetro b corresponde a la pendiente de la curva en el segmento cercano al punto RC_{50} . La metodología descrita recomienda utilizar un gradiente de dosis de: 0, 0.5X, X, 2X, 5X, y 10X; siendo "X" la dosis comercial del producto evaluado.

2. Capítulo 2 Materiales y Métodos

El presente trabajo se desarrolló durante los años 2008 y 2009 en la región del Ariari, situada al sur del departamento del Meta, donde se siembran anualmente alrededor de 20.000 ha de arroz. Para el estudio se escogieron los municipios de Granada (3°32'42" N y 73°42'33" W), altitud 332 msnm y Fuentedeoro (3°28'7" N y 73°36'54" W), altitud 293 msnm, la temperatura anual promedio de estas localidades es de 25°C, y precipitación anual de 2.600 mm. Estos municipios son representativos de la zona arrocerá donde se llevan a cabo diferentes prácticas de manejo de cultivo, pues participan con el 70% del área sembrada en la región.

El trabajo se desarrolló en dos fases: la primera consistió en evaluaciones de campo en lotes sembrados con arroz, donde se registró la frecuencia, la densidad y la cobertura de arroz, de *I. rugosum* y de otras arvenses antes del primer tratamiento posemergente de herbicidas (evaluación uno), después de la primera aplicación (evaluación dos) y nuevamente después de la segunda aplicación (evaluación tres). En esta primera fase también se registró el tipo de rotación de cultivos que se realizaba en cada lote y la zona a la que pertenecía, según la clasificación en la región del Ariari. La segunda fase consistió en la evaluación de la resistencia de poblaciones de *I. rugosum* al herbicida bispiribac sodio con semilla proveniente de lotes con historial de aplicación de al menos seis años y su relación con la zona geográfica y el tipo de rotación.

2.1 Fase 1. Evaluación en campo: zona geográfica y tipo de rotación

La planificación y la obtención de la información de lotes se basó en la información de los resultados del Tercer Censo Nacional Arrocerá realizado por Fedearroz en el año 2007 (Fedearroz, 2007). Para el presente estudio, el tamaño de la muestra de los lotes se estimó mediante la siguiente ecuación matemática:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

N = tamaño de la población (444 lotes de acuerdo con el Censo)

$Z_{\alpha}^2 = 1.96^2$ (confiabilidad del 95%)

p = proporción esperada (0.5)

q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5)

d = precisión (en este caso deseamos un 10%).

Al aplicar la ecuación, teniendo en cuenta una confiabilidad del 95% y precisión deseada del 10%, se encontró un tamaño de muestra representativo de 79 lotes. Se procedió a identificarlos y se registraron los datos de ubicación georreferenciada, municipio y área (Anexo 1). Para cada lote se registraron también (Anexo 2): sistema de rotación de cultivos, manejo químico de arvenses y la ubicación según la clasificación de las tres zonas en las cuales está dividida la región en estudio. Finalmente, se registró (Anexo 3) la información de población y cobertura de cultivo y malezas en las tres evaluaciones realizadas.

La distribución de lotes en este estudio se hizo teniendo en cuenta la zona geográfica y el tipo de rotación.

Zona geográfica

En la región del Ariari se distinguen tres zonas geográficas diferenciadas entre sí por su ubicación con respecto al río Ariari. Según la información geográfica de la región donde se realizó el estudio, esta se dividió en:

1. Zona uno: (lotes bajos con alto riesgo de inundación temporal), predomina la textura franco arenosa.
2. Zona dos: (lotes intermedios con poca probabilidad de inundación), predomina la textura franco arenosa.
3. Zona tres: (lotes altos con baja probabilidad de inundación), predomina la textura franco arcillosa.

La cantidad de lotes muestreados por zona se distribuyó de acuerdo con el porcentaje de área que tiene cada una de ellas en la región (Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación geográfica de los lotes, área de muestreo y cantidad de lotes muestreados en cada zona de la región del Ariari, 2008.

Zona de muestreo	Area (%)	Cantidad de lotes (Nº)
1	16,6	13
2	12,6	10
3	70,8	56
Total	100	79

Rotación de cultivos

En el formato de recolección de información en campo (Anexo 2) se registró el tipo de rotación de cultivos que se practica en cada uno de los lotes del estudio. Con base en esta información se determinó el porcentaje de área y la cantidad de lotes por sistema de rotación (Tabla 4). En esa tabla se aprecian los modelos de manejo que existen en la zona: 56% de los lotes presenta una verdadera actividad de rotación, de las que destaca el cultivo de la soya (28,9%); le siguen pastoreo con ganado (24%) y cultivo de plátano (2,2%). En predios donde no se practica rotación, la mayoría corresponden a lotes dejados en descanso (36,3%), los cuales permanecen en esta condición hasta el año siguiente, cuando se inicia la temporada de preparación de suelos para la siembra de cultivos del primer semestre.

Tabla 4. Rotación (cultivo o actividad), área y cantidad de lotes correspondiente en la región del Ariari, 2008.

Rotación	Cultivo o Actividad	Area (%)	Cantidad de lotes (Nº)
1	Arroz-Descanso-Arroz	36,3	28
2	Arroz-Soya-Arroz	28,9	19
3	Arroz-Arroz-Arroz	8	8
4	Arroz-Plátano-Arroz	2,2	6
5	Arroz-Pastoreo-Arroz	24,4	18

El muestreo de campo se desarrolló durante la temporada de siembra del año 2008 y en cada lote se ubicó un área representativa de aproximadamente una hectárea. Allí se establecieron tres sitios de muestreo al azar en cuadros de 0,25 m² en los cuales se realizaron las siguientes evaluaciones:

Primera evaluación

El objetivo de la primera evaluación fue conocer la presencia inicial del cultivo, la presión de *I. rugosum* y otras malezas, y relacionarla con zona geográfica y tipo de rotación.

Momento: Antes del primer tratamiento posemergente de herbicidas (15 a 22 dds, días después de la siembra).

Unidad de muestreo: tres marcos de 0,25m² dentro del área seleccionada en cada lote.

Variables: densidad y cobertura por especie (Anexo 3).

Segunda evaluación

El objetivo de la segunda evaluación fue conocer el efecto del primer control químico posemergente sobre la población de cultivo e *I. rugosum*.

Momento: Después de la primera aplicación posemergente de arvenses (30 a 38 dds).

Unidad de muestreo: tres marcos de 0,25m² dentro de la hectárea seleccionada en cada lote.

Variables: densidad y cobertura de arroz e *I. rugosum* (Anexo 3).

Tercera evaluación

El objetivo de la tercera evaluación fue conocer el efecto del segundo control químico posemergente sobre la población de cultivo e *I. rugosum*.

Momento: Luego del segundo control de arvenses (45 a 52 dds).

Unidad de muestreo: tres marcos de 0,25m² dentro de la hectárea seleccionada en cada lote.

Variables: densidad y cobertura de arroz e *I. rugosum* (Anexo 3).

Manejo químico de malezas

El manejo de malezas que los agricultores practican en la región consta en su mayoría de dos aplicaciones posemergentes: una primera aplicación o posemergencia temprana de 10 a 15 ddg (días después de germinación) del cultivo y una segunda aplicación de 30 a 40 ddg. En la primera los agricultores utilizan el herbicida propanil solo o en mezcla con otros herbicidas, originando tres opciones de mezcla (Tabla 5).

Tabla 5. Herbicidas, dosis y mezclas usadas en el primer control de malezas en la región del Ariari, 2008

OPCIÓN DE MEZCLA	HERBICIDA (L ha ⁻¹)		
	1	2	3
1	Propanil (6,0-7,0)	Pendimetalina (3,0) + Butaclor (3,0)	2,4- D (0,3)
2	Propanil (1,8-2,0)	Oxadiazón (1,8- 2,0)	-
3	Propanil (6,0-7,0)	-	2,4- D (0,3)

Para el segundo tratamiento de control, los agricultores recurren a la aplicación de herbicidas específicos para el control de gramíneas, especialmente *I. rugosum*, o la aplicación nuevamente de propanil, dando origen a cuatro opciones de tratamiento (Tabla 6).

Tabla 6. Herbicidas, dosis y mezclas usadas en el segundo control de malezas en la región del Ariari 2008.

OPCIÓN DE MEZCLA	HERBICIDAS (L ha ⁻¹)	
	1	2
1	Bispiribac sodio (0,5)	Adherente (0,5) *
2	Profoxidim (0,8)	Dash (0,8) *
3	Propanil (3,0)	Oxadiazón (1,5)
4	Propanil (7)	-

*surfactantes

Análisis de datos

Para el análisis de los datos de la población de arvenses en la primera evaluación en campo y con el fin de observar las diferencias entre zonas geográficas y manejos de rotación de cultivos, se utilizó el siguiente modelo anidado:

$$Y_{ijk} = \mu_{ij} + e_{ijk}$$

Donde la población inicial (k -ésimo) se anidó dentro de rotación de cultivos (j -ésimo), a su vez anidado dentro de zona geográfica (i -ésimo) (Anexo 5).

Para la segunda y tercera evaluación se trabajó un modelo anidado con covarianza de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu_{ij} + \beta(X_{ijk} - \bar{X}_{...}) + e_{ijk}$$

En la segunda evaluación se corrigieron las variables con los datos medidos en la primera evaluación; de igual manera, para la tercera evaluación se corrigieron las variables con los datos medidos en la segunda evaluación. De esta forma, la población de *I. rugosum* en la segunda evaluación se corrigió por la población de *I. rugosum* de la primera evaluación (Anexo 6).

Para la evaluación de los tratamientos de control de *I. rugosum* con los herbicidas (primer y segundo control), se utilizó análisis de varianza y comparación de medias mediante el procedimiento GLM del programa SAS.

2.2 Fase 2. Evaluación de resistencia

El objetivo de esta fase fue determinar la resistencia de las poblaciones de *I. rugosum* al herbicida bispiribac sodio mediante su respuesta a las aplicaciones de diferentes concentraciones del herbicida. Por eso, para el desarrollo de esta fase se recolectaron semillas maduras de *Ischaemum rugosum* en fincas arroceras de lotes monitoreados en la fase anterior. Como se ha dicho, en esas fincas había un historial de aplicación de bispiribac sodio de más de seis años. También se colectó semilla de *I. rugosum* procedente de un potrero donde no se había sembrado arroz durante los últimos ocho años, la cual fue utilizada como población control (testigo susceptible).

Con la semilla de las poblaciones debidamente identificadas según su origen, se realizó la siembra en bandejas de germinación cuyas plántulas se trasplantaron a macetas plásticas con capacidad de 4 kg. Se dejaron crecer en invernadero nueve plántulas por maceta, hasta que desarrollaron tres hojas (quince días después del trasplante), momento en el cual se hizo la aplicación de bispiribac sodio a las concentraciones de 0, 25, 50, 100, 250 y 500 g de i.a. ha⁻¹. Utilizando una aspersora de presión constante de CO₂ calibrada a 29 libras pulgada⁻² con boquillas Tee Jeet 110 015 y efectuando una descarga de 144 L ha⁻¹. Para la aplicación se tuvo en cuenta un total de tres repeticiones por dosis y por población; los resultados se registraron en un formato en el que se consignaron las variables altura, peso seco y porcentaje de control a los doce días después de la aplicación (Anexo 4).

Diseño del experimento

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en seis dosis (0, 25, 50, 100, 250 y 500 g de i.a ha⁻¹) del herbicida bispiribac sodio y la unidad experimental consistió en nueve plantas de *I. rugosum* por población en cada maceta.

Análisis poblacional, a través de clúster, de la resistencia de *I. rugosum* en respuesta a las dosis de bispiribac sodio

La determinación de grupos de poblaciones de *I. rugosum* con similitud de resistencia a bispiribac sodio se realizó mediante un análisis multivariado de conglomerados (clúster). Este análisis permitió, mediante la variable peso seco, medida doce días después de la aplicación, encontrar los niveles de similitud entre individuos para determinar el número de grupos diferentes a través de dendogramas. Se usó el método de Ward para establecer los grupos, donde las variables analizadas fueron los pesos secos correspondientes a las dosis aplicadas.

RC_{50} e índices de resistencia de los biotipos de *I. rugosum* a las aplicaciones de bispiribac sodio

La RC_{50} es un parámetro de evaluación utilizado normalmente para este tipo de ensayos y se refiere a la dosis de herbicida que causa la reducción del 50% de peso seco de las plantas tratadas; ella se estimó usando la curva de respuesta a dosis crecientes de Streibig (1988) y Seefeldt *et al.* (1995), la cual está basada en el modelo logístico.

$$U_{ij} = C_i + \frac{D - C_i}{1 + \exp.[b_i (\log(Z_j) - \log(RC_{50(i)}))]}$$

El parámetro C_i del herbicida, es llamado límite inferior; D es el límite superior y corresponde a la respuesta media del control (plantas sin aplicación de herbicida); RC_{50} corresponde al valor de la dosis que causa una reducción del 50% de la variable bajo estudio entre D y C_i ; finalmente, b significa el valor de la pendiente de la curva, donde se encuentra RC_{50} .

Todos los parámetros de los modelos logísticos fueron calculados con el procedimiento NLIN del programa SAS (Anexo 8). Dado lo anterior, se determinaron los niveles de resistencia, el IR, para las poblaciones evaluadas. El IR está definido como la relación RC_{50} de una población sospechosa (R), sobre la relación RC_{50} de una población de referencia o testigo susceptible (S), según la siguiente fórmula

$$IR = RC_{50} R / RC_{50} S$$

Tal como se mencionó previamente, cuando el IR en una población es mayor a 2,0 se la considera como resistente (Valverde *et al.*, 2000).

3. Capítulo 3 Resultados

3.1 Fase 1. Seguimiento en campo

3.1.1 Primera evaluación situación inicial del cultivo y nivel de enmalezamiento en la región

En el 2008, durante la primera evaluación de campo (antes del primer tratamiento de control) se encontró un promedio de 540 plantas malezas m^{-2} y una población promedio de arroz de 348 plantas m^{-2} (Figura 1). La mayor frecuencia de arvenses correspondió a especies integrantes de la familia poácea, como *Ischaemum rugosum* Salisbury, presente en la totalidad (100%) de los lotes; *Echinochloa colona*, 82,3%; *Digitaria* spp., 73,4%, y *Leptochloa* spp. en 53,2%. Otras como *Rottboellia cochinchinensis*, arroz rojo y *Eleusine indica* se encontraron con frecuencia inferior al 30%. La familia Ciperácea se encontró en 94,9% de los lotes, con las especies *Fimbristilis miliaceae*, *Torulinium odoratum*, *Fimbristilis dichotoma* y *Cyperus iria*. El complejo de hojas anchas se encontró en 93,6% de los lotes, dentro de las que se hallaron las especies *Ludwigia linifolia*, *Eclipta prostrata*, *Hiptis capitata*, *Ipomoea* sp, *Phaseolus* spp. La especie *Murdania nudiflora* perteneciente a la familia de las commelináceas, se encontró en 75,9 % de los lotes evaluados.

La estructura de malezas que se presentó en esta región arrocera de los Llanos Orientales, en la que la especie *I. rugosum* tuvo mayor frecuencia, densidad y cobertura, contrasta con la baja presencia de esta maleza en otras áreas arroceras del país, como la zona del Tolima, donde se ha encontrado sólo en 34% de los lotes estudiados (BASf, 1998), mientras que otras especies, como *Echinochloa colona*, tiene mayor importancia, pues se ha encontrado en 87% de los predios (Puentes, 2003).

En la comunidad de malezas de la región del Ariari, *I. rugosum* alcanzó la mayor población con 277 individuos m^{-2} , para un 51,3% de participación; le siguen las ciperáceas, con 34,6%, y el grupo de las hojas anchas, con 6,8%, mientras que especies como *Echinochloa colona* y *Murdania nudiflora* con una densidad de 11 individuos m^{-2} presentaron solo el 2% de participación. Las demás especies con una densidad que osciló en promedio entre 0,4 y 9 individuos m^{-2} presentaron menos del 2% de participación (Figura 1).

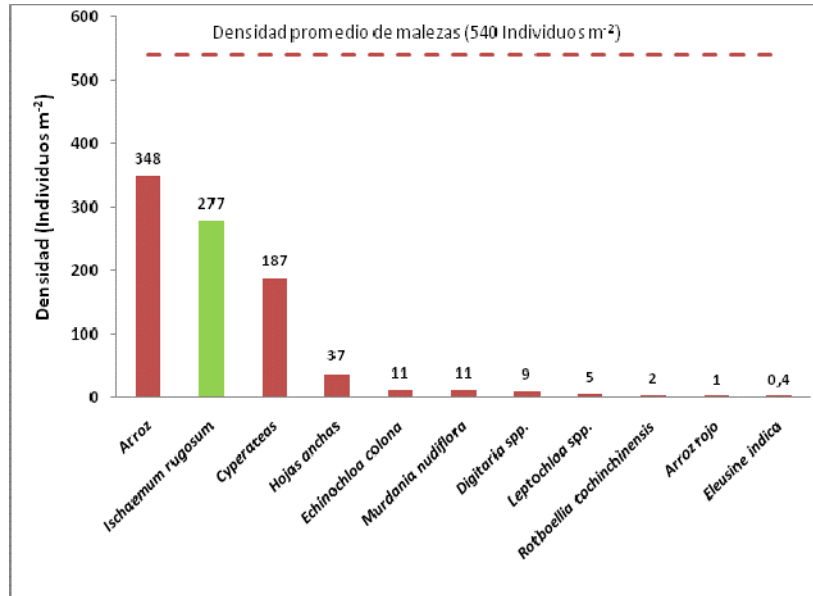


Figura 1. Densidad inicial del cultivo de arroz y especies malezas en lotes arroceros en la región del Ariari-Meta, durante la cosecha 2008.

El porcentaje promedio de cobertura de arvenses, medido antes del primer control de malezas de 17 a 22 dds, fue de 55,58%, y el del cultivo fue de 44,42%. Entre las especies que presentaron mayor cobertura se destacó *I. rugosum*, con un promedio de 29,81%; le siguen en su orden: las ciperáceas (9,09%), hojas anchas (6,04%) y *E. colona* (4,86%). Las otras malezas presentaron una cobertura promedio que osciló entre 0,4 y 1,72 % (Figura 2).

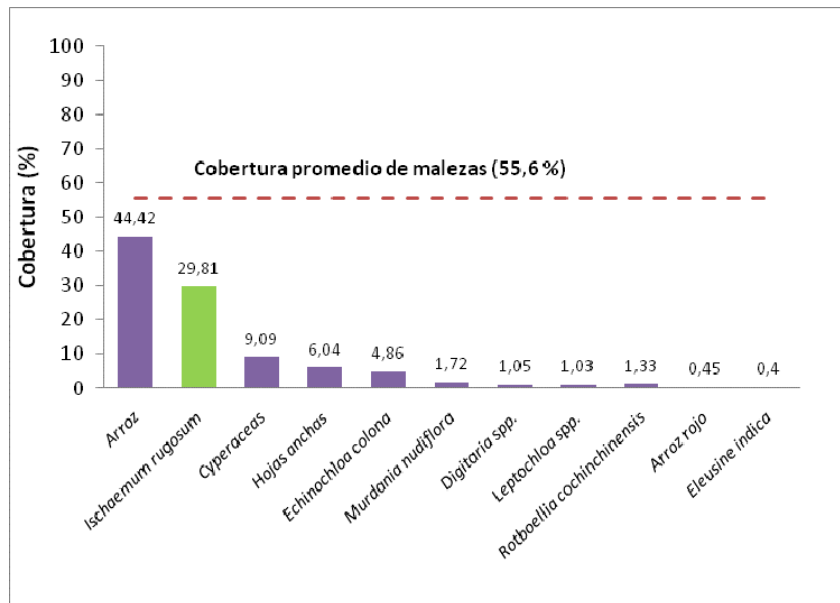


Figura 2. Cobertura de malezas en lotes de arroz en la región del Ariari, del departamento del Meta, durante la cosecha de 2008. Primera evaluación.

El éxito de colonización de *I. rugosum* en los Llanos Orientales puede deberse entre otros factores a su amplia adaptabilidad, a la producción de grandes cantidades de semilla (Bakar y Ahmed 2003; Pabón 1990), ventaja adaptativa de formar cohortes, rápido crecimiento y alta eficiencia fotosintética por ser una planta de metabolismo C-4 (Nabi, 1999). Estas características hacen que esta especie sea altamente competitiva frente al cultivo de arroz, que tiene menor eficiencia fotosintética por ser planta de metabolismo C-3. Estas condiciones obligan la rápida implementación de estrategias y el manejo de herramientas eficientes, tendientes a reducir las poblaciones de la maleza en la zona.

En observaciones de campo, se ha visto que las herramientas químicas utilizadas en las aplicaciones para el control de malezas en la región del Ariari han sido eficientes en el manejo de ciperáceas, commelináceas y hojas anchas, es decir, hasta el momento los controles para estas arvenses son satisfactorios, lo que hace que sus poblaciones y bancos de semilla se mantengan en niveles relativamente bajos.

3.1.2 Efecto de la zona geográfica sobre la densidad de arroz *I. rugosum* y otras malezas

Al analizar el efecto de la zona geográfica sobre la densidad de arroz, de *I. rugosum* y de otras malezas se encontró que, para las poblaciones de arroz de cultivo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre zonas (Anexo 5); sin embargo, en la zona dos se encontró una población de arroz inferior en 6% al de las zonas uno y tres; las densidades de siembra de arroz utilizadas por los agricultores de la región estuvieron alrededor de los 200 kg de semilla por hectárea, con lo que se logran establecer poblaciones superiores a 330 plantas m^{-2} . En este estudio, las poblaciones de arroz oscilaron entre 332 y 355 plantas m^{-2} , valor crítico si se compara con las poblaciones iniciales de *I. rugosum*, las cuales fluctuaron entre 188 y 266 plantas m^{-2} .

Al evaluar el efecto de la zona geográfica sobre las poblaciones de *I. rugosum*, el análisis de varianza mostró diferencias significativas: la población más baja se encontró en la zona uno (186 individuos m^{-2}), mientras la más alta, en la zona tres (266 individuos m^{-2}). La población de ciperáceas no mostró diferencias significativas entre zonas (Anexo 5); sin embargo, en la zona tres, el promedio de 186 individuos m^{-2} fue superior en 23% y 36% a las zonas uno y dos respectivamente. Para la población de otras gramíneas, entre las que se encuentran *Echinochloa colona*, *Digitaria* spp., *Leptochloa* spp., *Rotboellia cochinchinensis* y *Eleusine indica*, el análisis de varianza no presentó diferencias significativas entre zonas, sin embargo la población en la zona tres, con 29 individuos m^{-2} , mostró incrementos de 28% y 25% a las encontradas en las zonas uno y dos respectivamente. El análisis de varianza para la población de las hojas anchas tampoco presentó diferencias significativas entre zonas (Figura 3).

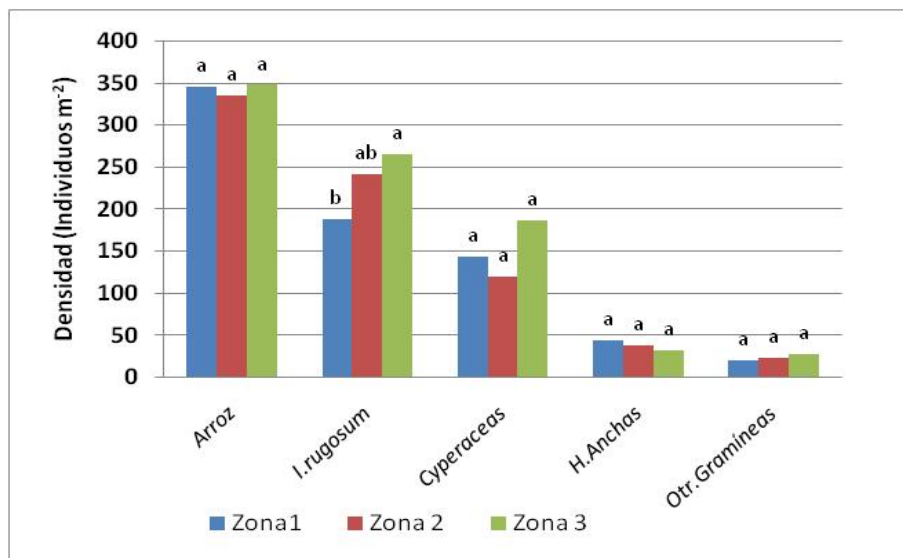


Figura 3. Población de arroz y malezas, según zona geográfica de la región del Ariari, 2008.

Las zonas uno y dos, por ser más bajas y tener mayor humedad, deberían presentar mayor población de *I. rugosum*, sin embargo, la zona tres presentó la población más alta con diferencias estadísticas con respecto a la zona uno.

La zona tres presenta diferencias con las demás, como mayor altitud, no es inundable por el río Ariari y tiene un diferencial de fertilidad de suelos, así que es poco probable que estas condiciones sean las determinantes de la población relativamente superior encontrada allí. En cambio, el incremento de la población quizá sea consecuencia del tipo de manejo que los agricultores practican en los lotes de siembra.

En la zona uno, la proporción entre la densidad *I. rugosum* sobre densidad arroz de cultivo fue de 49%, mientras que para las zona dos y tres la relación fue de 72 y 77%. Esto indica que en la zona uno se presentó menor competencia de la maleza con las plantas de cultivo en los primeros estados de desarrollo.

3.1.3 Efecto del tipo de rotación dentro de zona geográfica sobre la densidad de *I. rugosum*

En cuanto al efecto de la rotación de cultivos dentro de las zonas geográficas sobre las poblaciones iniciales de *I. rugosum*, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los sistemas de rotación (Anexo 5). En las tres zonas, la mayor población de *I. rugosum* se encontró en lotes provenientes de la rotación arroz-descanso-arroz, mientras que las menores poblaciones se registraron en lotes provenientes de las rotaciones arroz-soya-arroz, arroz-plátano-arroz y arroz-pastoreo-arroz (Figura 4). La causa del mayor nivel de enmalezamiento en los lotes de rotación arroz-descanso-arroz probablemente se deba a que en este sistema las malezas que permanecen después de la recolección del cultivo continúan su desarrollo hasta completar su ciclo y finalmente

producir la semilla, la cual se disemina en el lote, es decir, hay nuevos aportes que tienden a incrementar el banco de semillas de malezas del suelo.

En lotes donde se practica la rotación arroz-plátano-arroz, una vez se establece el cultivo de plátano, y debido a las distancias cortas de siembra (2m x 2m), la disposición de sus hojas y su gran tamaño producen alta interceptación de luz solar, lo cual genera niveles altos de sombrero en la superficie del suelo, situación que ayuda a disminuir la germinación de semillas de especies fotoblásticas, como *I. rugosum*. Otro aspecto importante que contribuye a disminuir población de malezas bajo este esquema de rotación es el uso de herbicidas con modos de acción diferente a los utilizados en posemergencia en arroz, tales como glifosato, glufosinato de amonio y paraquat. Además de reducir la población de malezas, esta práctica puede disminuir la presión de selección ejercida sobre especies gramíneas por los herbicidas usados en el cultivo de arroz.

Cuando se realiza la rotación arroz-pastoreo-arroz, el ganado que se introduce al lote, después de la recolección del cultivo, consume intensamente residuos de cosecha, rebrotes y nuevos cohortes, reduciendo la producción de semillas, con lo que se disminuyen los nuevos aportes al banco de semillas de malezas de estos suelos. Esta situación determina la tendencia para que se presente reducción de la población de malezas bajo este sistema de rotación.

La rotación de cultivos arroz-soya-arroz es común en la región. Bajo este esquema, los resultados en el control de malezas también han mostrado reducciones importantes en la población de arvenses pues en este cultivo también se hace rotación de herbicidas, ya que para control de gramíneas, no se utilizan inhibidores de ALS, situación que puede contribuir a la disminución de presión de selección ejercida por la continua aplicación de estos herbicidas en el cultivo de arroz.

En general, se encontró que lotes que provienen de los sistemas de rotación de arroz con soya, plátano o pastoreo, al compararlos con lotes donde no se rota (arroz-descanso o arroz-arroz), presentan disminución de las poblaciones de *I. rugosum* en 44%, 55% y 49% respectivamente. Este comportamiento confirma los resultados reportados por Filizadeh *et al.* (2007), quienes, al comparar el sistema de rotación arroz-soya con arroz-arroz, encontraron una reducción de 63% y 80% en la densidad y biomasa de malezas en lotes de arroz de Irán. Así mismo, Bastidas y Gómez (2004) encontraron en la zona de Villavicencio y Caños Negros (Meta) una reducción del 35% de poblaciones de las poáceas, *I. rugosum* y *Echinochloa colona* cuando se efectúa rotación con leguminosas. Constataron también un incremento hasta del 50% en un periodo de dos años cuando no se efectúa rotación. Los beneficios de la rotación de arroz con leguminosas como *Crotalaria juncea* L., *Mucuna deeringianum* (Bort) y *Canavalia ensiformis* L. han sido estudiados en la zona y se han verificado sus resultados en la disminución de malezas, especialmente poáceas (Delgado *et al.*, 2009). Sin embargo, en esta región aún no se ha podido desarrollar este tipo de prácticas a nivel comercial debido, entre otros aspectos, a la baja oferta de semilla y a la falta de un programa de incentivos para su implementación.

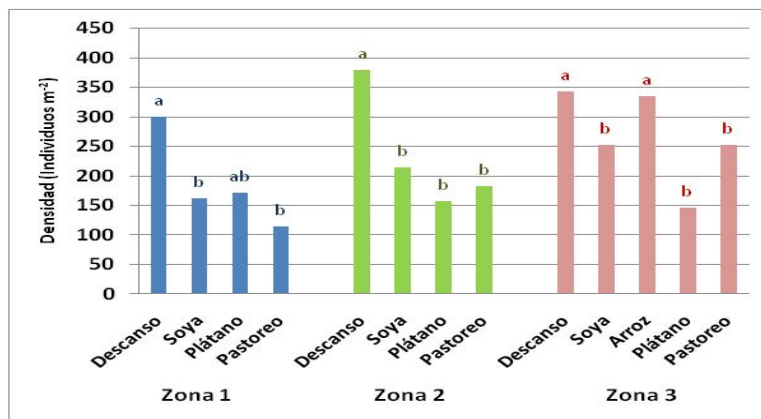


Figura 4. Densidad de *I. rugosum* relacionada con rotación de cultivos dentro de zona geográfica en la primera evaluación de campo.

3.1.4 Cobertura inicial de *I. rugosum* y cultivo

3.1.4.1 Efecto de la zona geográfica sobre la cobertura de *I. rugosum* y del cultivo

El análisis de varianza para la variable cobertura de *I. rugosum* y de arroz de cultivo en la primera evaluación antes del primer control de malezas no presentó diferencias significativas entre zonas (Anexo 5). Sin embargo, en las zonas dos y tres se presentaron incrementos de 16% y 20% de cobertura con respecto a la zona uno. Los niveles de cobertura de *I. rugosum* encontrados en la región fueron altos y reflejan los niveles de interferencia de la arvense durante los primeros estados de desarrollo del cultivo. Estos datos están relacionados directamente con las densidades encontradas para cada una de las zonas: en la zona uno, donde se encontró menor densidad de *I. rugosum*, también hubo menor cobertura de la maleza. Las zonas dos y tres presentaron incrementos de cobertura con respecto a la zona uno, que también están relacionados con un mayor nivel de enmalezamiento (Figura 5).

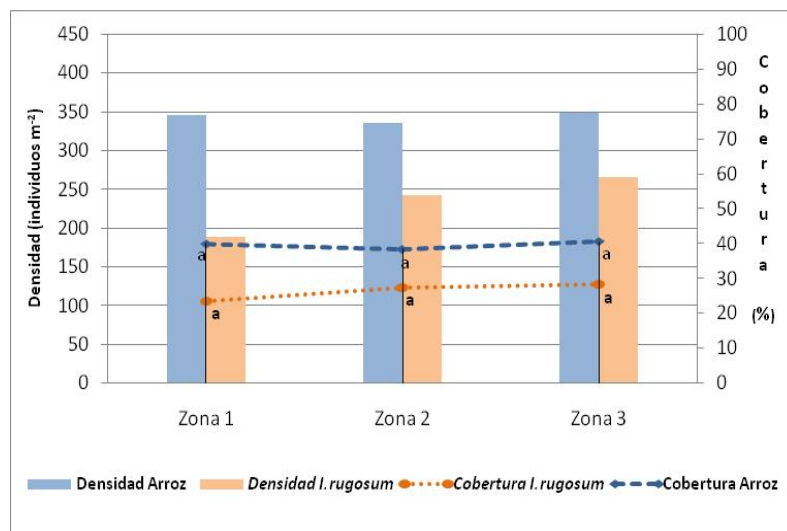


Figura 5. Densidad y cobertura de arroz e *I. rugosum* para las tres zonas de estudio en la primera evaluación de campo.

3.1.4.2 Efecto del tipo de rotación sobre la cobertura del cultivo e *I. rugosum*

El análisis de varianza para la variable cobertura de arroz de cultivo no reportó diferencias significativas entre zonas geográficas, ni para la rotación de cultivos dentro de zona geográfica (Anexo 5). Para la variable cobertura de *I. rugosum*, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre zonas, pero sí para la rotación de cultivos dentro de zona geográfica (Anexo 5) (Figura 6). Las coberturas iniciales más altas se encontraron en lotes provenientes de la rotación arroz-descanso-arroz, datos que coinciden con los resultados encontrados para la variable densidad en el mismo anidamiento. Como se mencionó anteriormente, los lotes con rotación arroz-descanso-arroz permiten que *I. rugosum* continúe su desarrollo hasta la producción de semilla, de modo que se efectúan nuevos aportes al banco de semillas de malezas del suelo y se facilitan los incrementos de población para la siguiente cosecha.

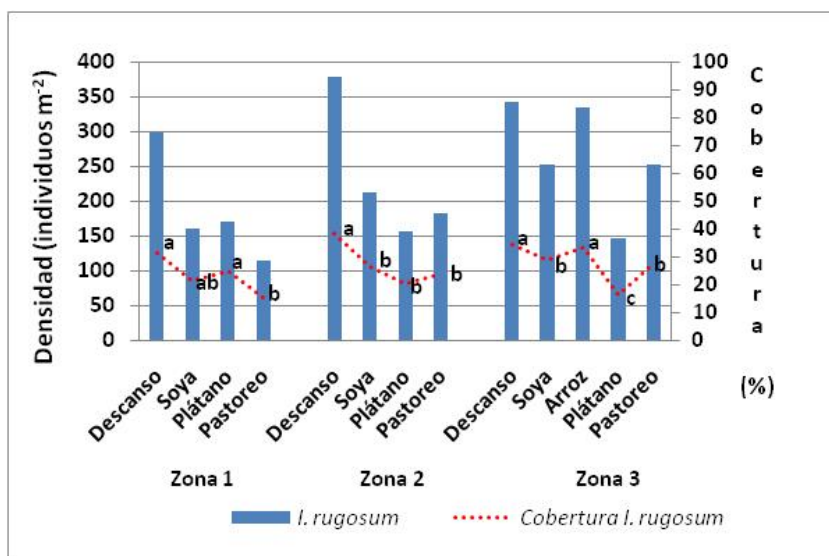


Figura 6. Cobertura inicial de *I. rugosum* relacionada con rotación de cultivos dentro de zona geográfica.

3.1.5 Cambios poblacionales de *I. rugosum* por efecto de los controles

3.1.5.1 Efecto del primer control (evaluación dos)

El análisis de varianza para las poblaciones de *I. rugosum* después del primer control con herbicidas no presentó diferencias significativas entre zonas geográficas ni en rotación de cultivos dentro de zona geográfica (Anexo 6) (Figura 7).

Aunque los porcentajes de control no superaron el 85%, en general el primer control de malezas reduce drásticamente sus poblaciones. En esta etapa las malezas presentan menor tamaño y su área foliar al quedar más expuesta, favorece un mejor cubrimiento del herbicida para su control.

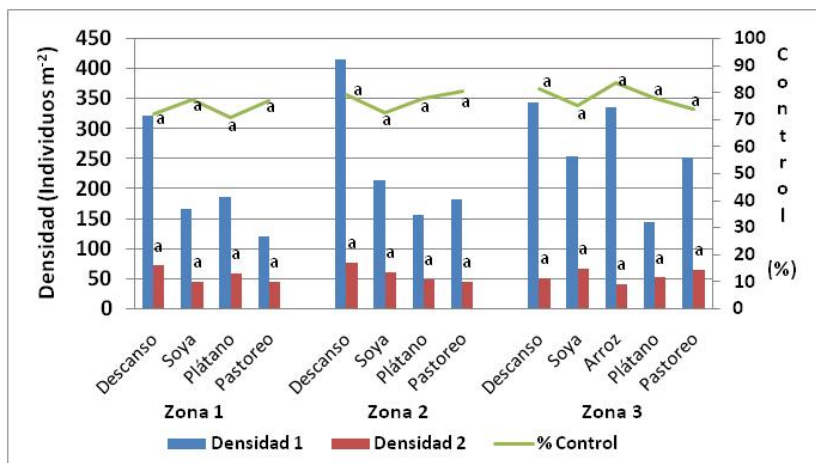


Figura 7. Densidad y control de *I. rugosum* antes (evaluación 1) y después (evaluación 2) del primer control posemergente.

El análisis de varianza para los tratamientos herbicidas en el primer control posemergente indican que se presentaron diferencias significativas tanto para las poblaciones que quedaron de *I. rugosum* como para las variables cobertura y porcentaje de control. Se encontró que el tratamiento de la mezcla dos (propanil + oxadiazon) registró el mejor control de *I. rugosum*, ya que disminuyó su población en 11% y 7% con respecto a los tratamientos mezcla uno y mezcla tres (Figura 8).

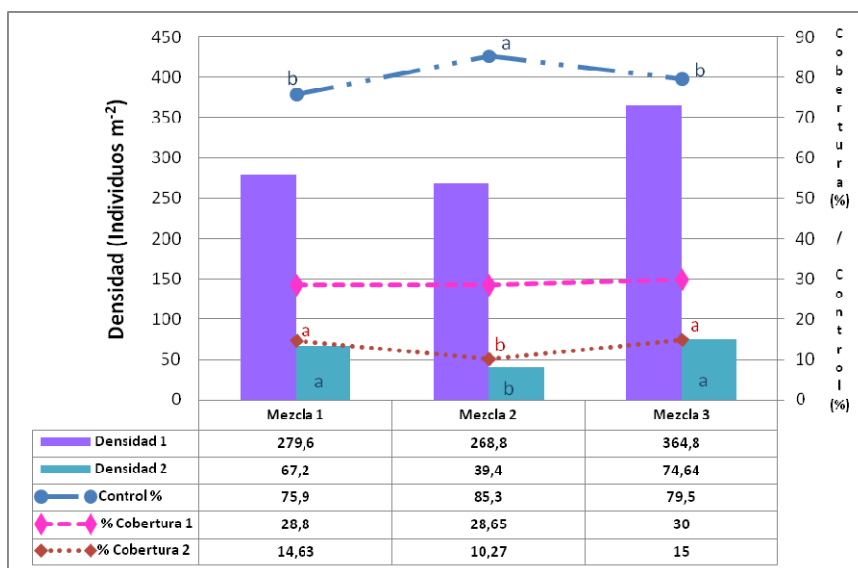


Figura 8. Efecto de diferentes mezclas de herbicidas en el primer control posemergente sobre la población y cobertura de *I. rugosum* antes (evaluación uno) y después (evaluación dos) de los tratamientos.

Las coberturas de *I. rugosum* también mostraron diferencias significativas ante los diferentes tratamientos utilizados en el primer control. Cuando se usó la mezcla dos, el porcentaje de cobertura de *I. rugosum* fue menor que cuando se usaron los tratamientos propanil + pendimetalina+butaclor (mezcla dos) o propanil + 2,4-D amina (mezcla tres) (Figura 8).

En la región se aplican diferentes herramientas químicas para el manejo de *I. rugosum*, con porcentajes de control que varían entre 75% y 85%, los cuales podrían considerarse como bajos, si se tienen en cuenta los altos niveles de enmalezamiento de la región. En general, cuando se recuperan las poblaciones de *I. rugosum* que sobreviven después del primer tratamiento de control, ejercen competencia con el cultivo, afectan su desarrollo y potencial de rendimiento. Los trabajos de interferencia de *I. rugosum* con el cultivo de arroz han mostrado disminución en los rendimientos de 68% a 92% (Pabón, 1990, Castro y Almario 1990; Hernández *et al.*, 1999).

Estudios realizados por Smith (1990) en cultivos de arroz mostraron que, con una densidad de 10 plantas m^{-2} de una poácea como *Echinochloa crus-galli*, las pérdidas en el cultivo fueron del 10%, y del 50% cuando la población de malezas fue de 57 individuos m^{-2} .

Las plantas que permanecen después del control son las que determinan la productividad del cultivo, y, en este caso particular, si la población que escapa produce semilla, podría incrementar el banco de malezas de poblaciones resistentes a los controles utilizados. Para reducir las poblaciones de gramíneas que escapan al primer control, los agricultores realizan una segunda aplicación con alternativas como propanil usado solo o en mezcla con otros herbicidas o utilizando herbicidas específicos, como bispiribac sodio o profloridim.

3.1.5.2 Efecto del segundo control (evaluación tres)

El análisis de varianza para las poblaciones resultantes de *I. rugosum* después del segundo control de malezas no mostró diferencias significativas entre zonas, pero sí para rotación de cultivos dentro de zona geográfica (Anexo 7). El segundo control presentó un nivel promedio de 69% para las tres zonas, con lo que queda un remanente de individuos con alta presión de selección y posibilidad de producir semilla, lo cual contribuye a incrementar el problema para la siguiente temporada de siembra.

El análisis de varianza para los tratamientos herbicidas en el segundo control posemergente indican que no hubo diferencias significativas para las variables porcentaje de control, densidad y cobertura de *I. rugosum* (Anexo 7) (Figura 9).

Una vez realizado el segundo tratamiento herbicida, los niveles de control de *I. rugosum* estuvieron entre 63% y 73%, quedando remanentes de malezas (12 a 18 individuos m^{-2}) con coberturas entre 6% y 9%. Esta situación es más crítica si se tiene en cuenta que la gama de opciones de control para esta etapa es más reducida.

Por su alta selectividad al cultivo, el herbicida más usado en esta etapa de desarrollo ha sido el bispiribac sodio, sin embargo, debido a los escapes de control de *I. rugosum* que se han presentado en la región, es necesario que agricultores y técnicos evalúen conjuntamente cada caso particular y determinen si es conveniente usar esta herramienta.

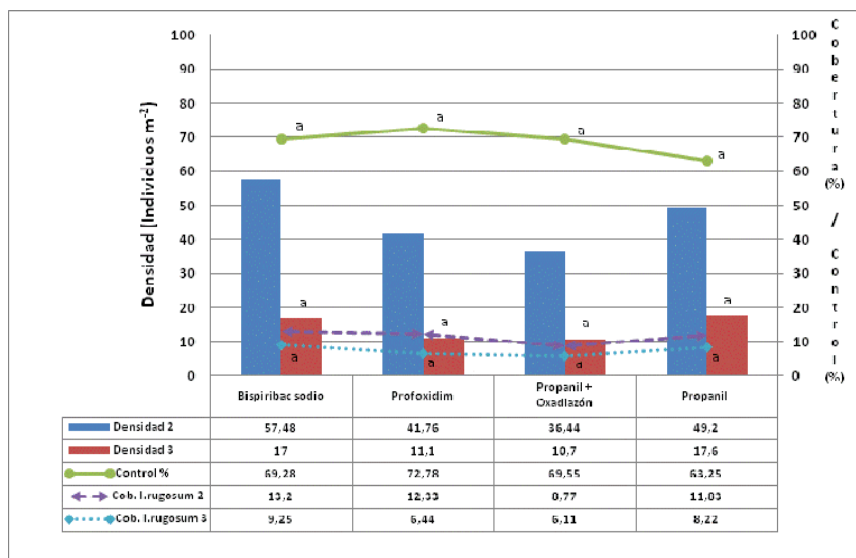


Figura 9. Efecto de diferentes mezclas de herbicidas en el segundo control posemergente sobre la población, cobertura y control de *I. rugosum* antes (evaluación dos) y después (evaluación tres) de los tratamientos.

En la Figura 10 se aprecia el cambio poblacional de *I. rugosum* antes de los tratamientos de control y después de cada tratamiento. Como consecuencia del primer control de malezas, se presentó una disminución drástica en la población de *I. rugosum* (76%); la población resultante no presentó diferencias significativas entre zonas (Anexo 6). Para las poblaciones de *I. rugosum* resultante del segundo control de malezas, el análisis de varianza tampoco reportó diferencias significativas entre zonas (Anexo7). El segundo control de malezas resultó ser menos efectivo que el primero, con porcentajes promedio de control para las tres zonas de 71%, tras lo cual quedó un remanente de individuos con alta presión de selección y posibilidad de producir semilla. Esta es la razón por la que algunos agricultores deciden efectuar una nueva aplicación de herbicidas en forma generalizada o en sectores, dependiendo de cada lote.

La interferencia de malezas en arroz ha sido documentada por Pabón (1990), Fischer (1997) y Ortiz *et al* (2004), quienes concluyeron que las pérdidas en los rendimientos de los cultivos de arroz dependen, entre otros factores, de la densidad de las malezas, del arroz y de la duración de la interferencia.

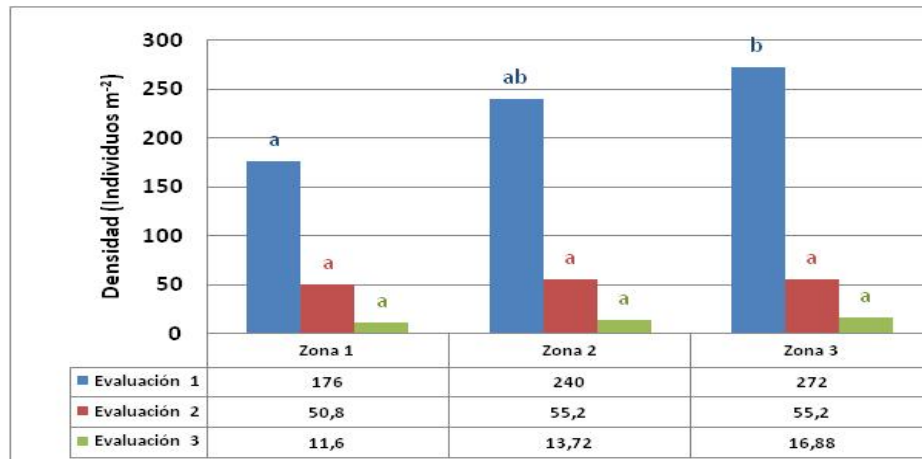


Figura 10. Densidad de *I. rugosum* antes del primer tratamiento de control (evaluación uno) después del primero (evaluación dos) y después del segundo (evaluación tres).

En la Figura 11 se muestra el cambio en los valores de cobertura en las tres evaluaciones de cada zona. Aunque el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre zonas para la tercera evaluación (Anexo 7), la población genera una alta cobertura final (alrededor del 9%), por lo que interfiere con el desarrollo normal del cultivo.

Después del primer tratamiento herbicida, en esta región se registró una disminución de la población de *I. rugosum* de 71% para la zona uno, de 77% para la zona dos y de 80% para la zona tres. Después del segundo tratamiento de control, las disminuciones porcentuales de población de *I. rugosum* fueron menores: 71,8% para la zona uno, 73,8% para la zona dos y 69,4% para la zona tres, lo que significa que en la zona tres se presentó un 4% más de escape de la población de *I. rugosum* por efecto del segundo tratamiento de control. Los promedios de población remanente del segundo control estuvieron alrededor de 12 a 18 plantas m⁻²; si tenemos en cuenta lo reportado por Pabón (1990), quien encontró que el promedio de producción de semillas de una planta de *I. rugosum* en un suelo de vegón de los Llanos Orientales fue de 3.208 semillas, se estaría efectuando un aporte estimado de semillas de *I. rugosum* entre 38.400 a 54.500 semillas m⁻² por cada ciclo. Esta es una de las principales razones por las cuales es necesario y urgente incrementar los niveles de control de esta especie en la región.

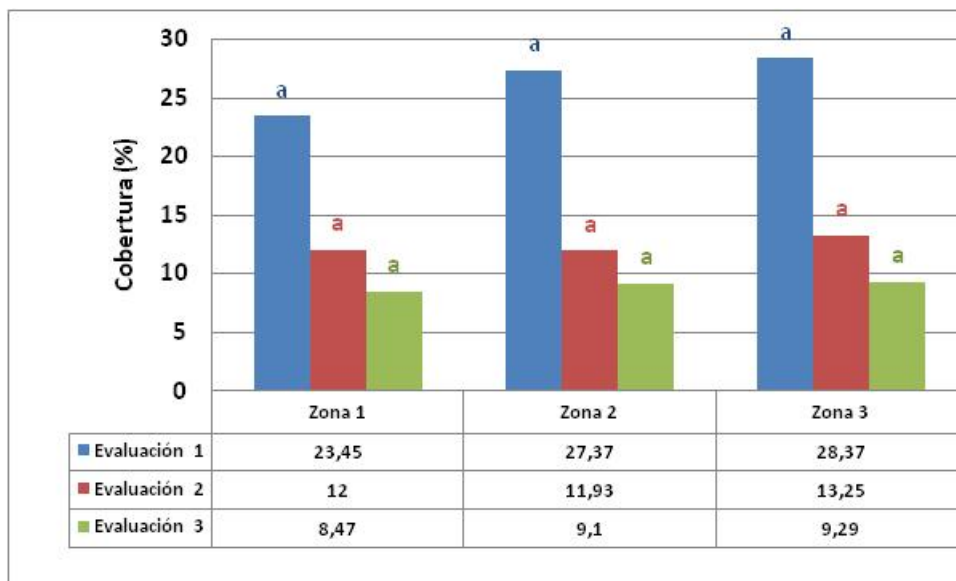


Figura 11. Cobertura de *I. rugosum* antes del primer tratamiento de control (evaluación 1) después del primero (evaluación 2) y después del segundo (evaluación 3).

Cuando se realiza el segundo control sobre la población de *I. rugosum* se encuentra mayor dificultad para su eliminación, lo cual puede deberse a que las malezas que quedaron después del primer tratamiento de control, al tener mayor tamaño y ser plantas con mayor presión de selección, pueden representar mayor dificultad en su control. Las malezas que sobreviven después del segundo control tienen alta interferencia con el cultivo e inciden directamente en la producción. Resultados obtenidos por Castro y Almario (1990) permitieron demostrar que en el cultivo de arroz se obtiene mayor producción cuando no se admite la competencia este con la maleza en las etapas reproductiva y maduración, aunque se haya permitido al inicio. Esto demuestra la importancia de la eficacia del último control de malezas.

3.2 Fase 2. Evaluación de resistencia

3.2.1 Análisis poblacional, a través de clúster, de la resistencia de *I. rugosum* en respuesta a las dosis aplicadas de bispiribac sodio

Con el objetivo de determinar grupos de poblaciones comunes a la susceptibilidad del bispiribac sodio, se hicieron estudios de agrupación por similitud del componente peso seco medido después de la aplicación de las diferentes dosis. Como resultado, se obtuvieron dos grupos poblacionales, y se ubicó al testigo susceptible en uno de ellos. Las poblaciones que se encuentran ubicadas en el lado superior del dendograma (Grupo1) son las que reportaron menor peso seco, mayor homogeneidad y alta similitud entre ellas. En el lado inferior se encuentran las poblaciones que presentaron mayor peso

seco (aquellas que fueron menos afectadas por las aplicaciones de bispiribac sodio) y que corresponden al 54% de las poblaciones evaluadas (Grupo 2) (Figura 12).

Esta información sirve como herramienta de aproximación para ubicar rápidamente, según el dendograma, poblaciones similares al testigo susceptible y poblaciones similares al otro grupo, que para este caso serían las resistentes.

El grupo de las resistentes corresponde a un 75% de lotes que provienen de la rotación arroz-arroz-arroz y arroz-descanso-arroz, mientras que el grupo donde se encuentra el testigo susceptible corresponde en un 86% a lotes que provienen de las rotaciones: arroz-soya-arroz, arroz- plátano-arroz y arroz- pastoreo-arroz.

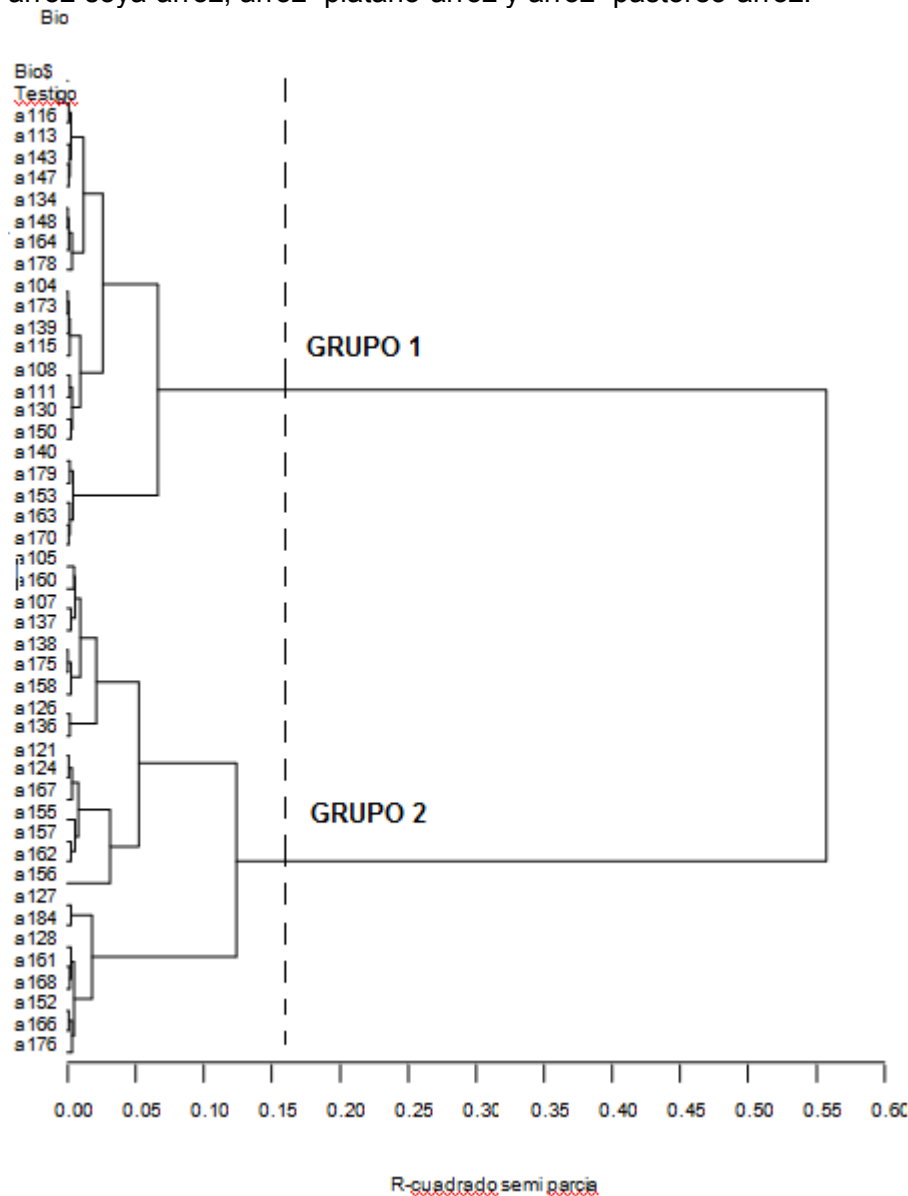


Figura 12. Similitud entre poblaciones de *I. rugosum* en respuesta a la aplicación de bispiribac sodio en las tres zonas.

3.2.2 Índice de resistencia de las poblaciones de *I. rugosum* en respuesta a las aplicaciones de bispiribac sodio

En la Figura 13 se presenta el nivel de resistencia (RC_{50}) de los lotes muestreados; se aprecia que más del 50% de los lotes muestreados presentaron valores de RC_{50} que superaron más de dos veces al lote testigo (Anexo 8), lo cual evidencia un problema de resistencia en la región.

Recordemos nuevamente que, según Valverde (2000), si el IR de la población en estudio es superior a 2,0, esta se define como resistente. En la Figura 14 se representan los índices de resistencia de las poblaciones evaluadas de *I. rugosum* a las aplicaciones de bispiribac sodio: según lo allí expresado, se encontró que 65% de las poblaciones presentaron índices de resistencia superiores a 2,0, es decir, se confirma así la resistencia de estas poblaciones al herbicida bispiribac sodio. Mientras que 35% de las poblaciones restantes mostró susceptibilidad a las aplicaciones del herbicida ($IR < 2,0$). Una tendencia similar fue reportada por Sangakkara *et al.* (2004), quienes, en estudios de resistencia de *I. rugosum* al bispiribac sodio, encontraron que 36 % de las poblaciones evaluadas presentó índices de resistencia entre 6,5 y 10,6, lo que demostraba la resistencia de *I. rugosum* al bispiribac sodio en campos de arroz de Sri Lanka.

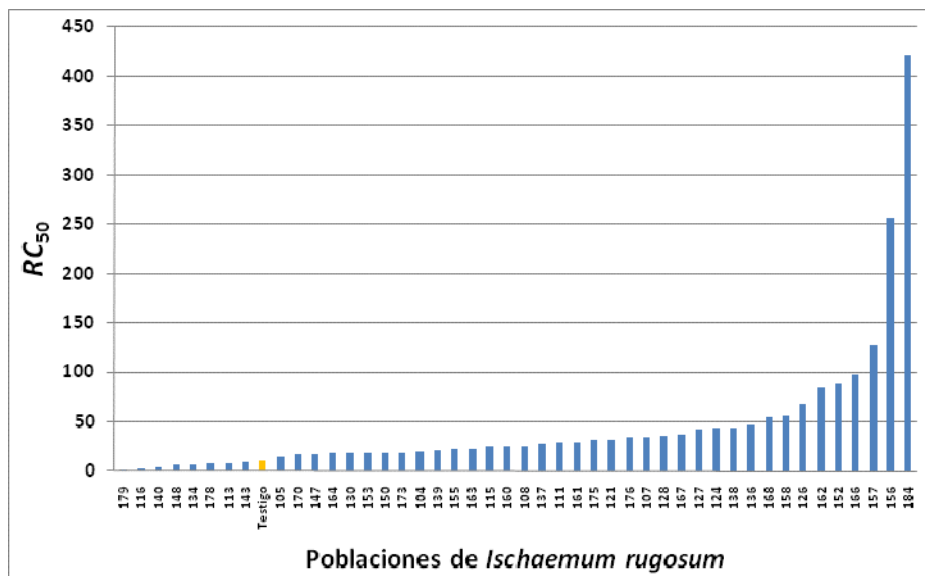


Figura 13. RC_{50} de las poblaciones de *I. rugosum* en la región del Ariari.

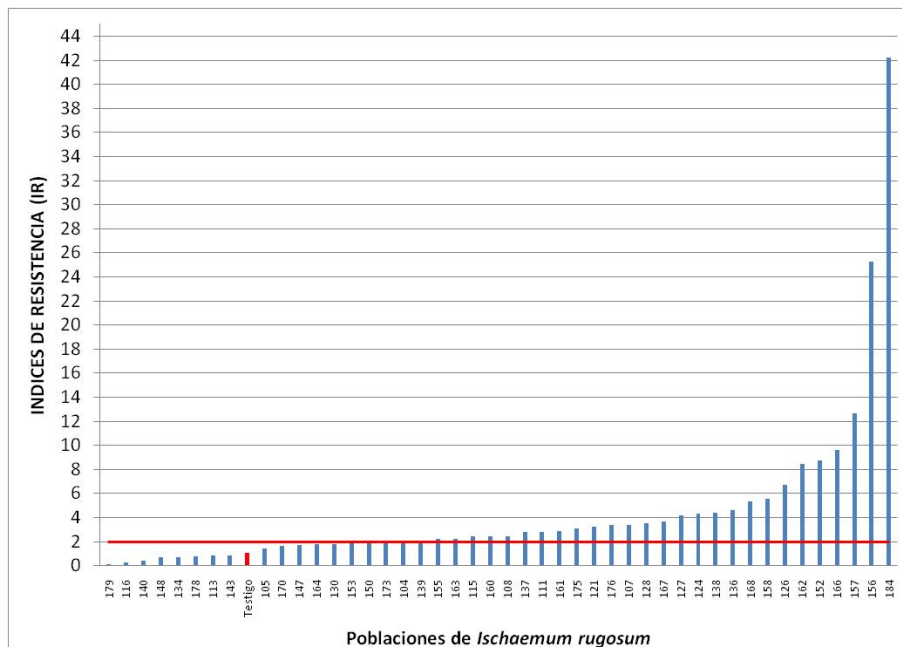


Figura 14. Índices de resistencia de las poblaciones de *I. rugosum* a bispiribac sodio en la región de estudio.

Al separar las poblaciones por rangos de susceptibilidad y tomar como referencia IR, se ratifica esta situación, tal como muestra la Figura 15, donde se agrupan los sistemas de producción en tres rangos de susceptibilidad. En las poblaciones agrupadas con índices de resistencia inferiores a 2,0, el 92% provenían de lotes donde se practicó los sistemas de rotación (arroz-soya-arroz, arroz-plátano-arroz y arroz-pastoreo-arroz). Para las poblaciones agrupadas por índices de resistencia, en el rango 2 – 4, 55% de sus poblaciones perteneció a lotes donde se hizo rotación (arroz-soya-arroz, arroz-plátano-arroz y arroz-pastoreo-arroz), pero aumentan los lotes con los sistemas arroz-descanso-arroz y arroz-arroz-arroz (45 %). Las poblaciones con mayores índices de resistencia (superiores a 4) coinciden con lotes donde hubo mayor participación (75%) de los sistemas arroz-descanso-arroz y arroz-arroz-arroz. Esto indica una tendencia: las poblaciones con mayor resistencia se encuentran en lotes donde predomina el sistema de rotación arroz-descanso- arroz o arroz-arroz-arroz, mientras las de menor resistencia se hallan donde predominan los sistemas de rotación arroz con soya, plátano o pastoreo. Los datos indican así la importancia de la rotación de cultivos para disminuir la presión de selección y mantener las poblaciones con bajos índices de resistencia (Figura 15).

Los porcentajes de control por zona mostraron diferencias significativas y están relacionados con los índices de resistencia. En la zona tres, donde se presentó menor porcentaje de control de *I. rugosum*, se evidencia mayor índice de resistencia (6,8). Para las zonas uno y dos se presentaron valores bajos de IR (1,7 y 2,2) respectivamente (Figura 16).

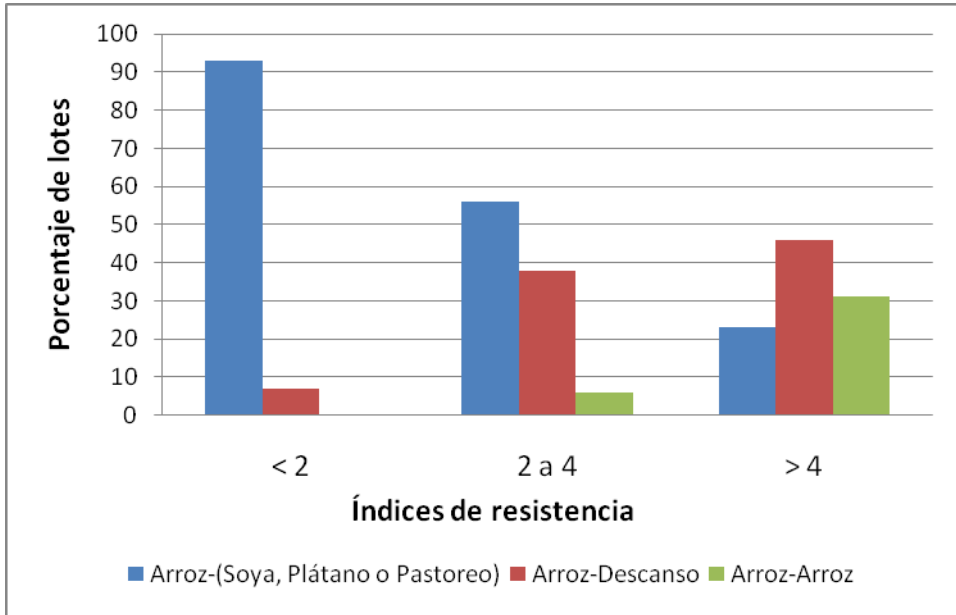


Figura 15. Participación de lotes, según índices de resistencia y sistemas de rotación evaluados en la zona de estudio.

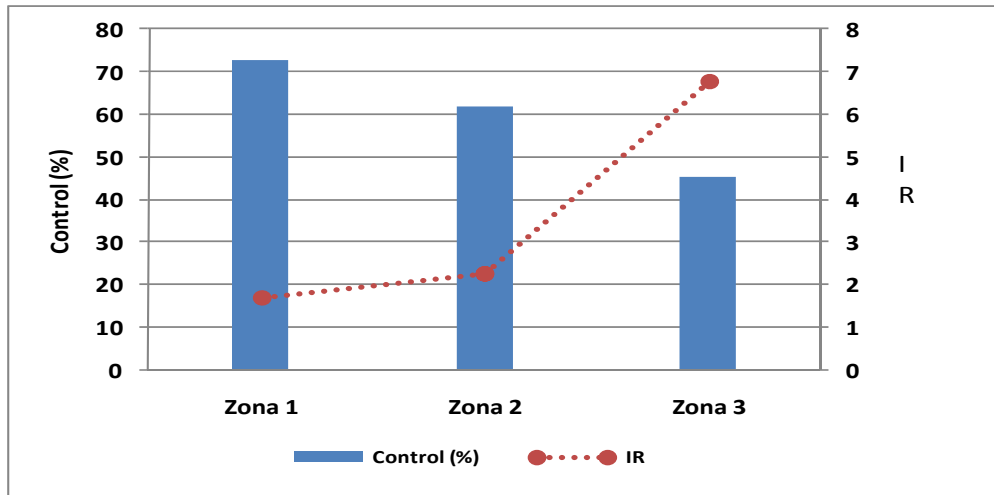


Figura 16. Control y Valores de IR para poblaciones de *Ischaemum rugosum* en las diferentes zonas.

Inicialmente, cuando se utilizó por primera vez el bispiribac sodio (diez años atrás), sus controles fueron muy eficientes tanto para *I. rugosum* como para otras malezas. En ese momento, prácticamente en más del 90% de los lotes se utilizaba este herbicida, aunque en la zona se venían efectuando algunas aplicaciones de otros herbicidas inhibidores de ALS como metsulfurón metil, condición que por presión de selección pudo contribuir a acelerar la aparición de biotipos resistentes a bispiribac sodio. Situación similar fue registrada por Zambrano *et al.* (2004) en Venezuela, pues reportaron que, en lotes de arroz con un historial de tan sólo cuatro años de aplicación de inhibidores de ALS como bispiribac sodio, encontraron dos biotipos resistentes por presión de selección con este herbicida.

3.2.3 Ensayos de dosis respuesta para la variable peso seco de *I. rugosum*, con bispiribac sodio

Las muestras de campo se sometieron al incremento de la dosis de bispiribac sodio para hallar el RC_{50} , tomando como variable de trabajo el peso seco, medido doce días después de realizados los tratamientos. En la Figura 17 se representa la curva de dosis respuesta de tres poblaciones seleccionadas con tendencias diferentes: la población testigo (susceptible), una población con resistencia intermedia (a168) y una altamente resistente (a156) con RC_{50} de 10,1, 54,4 y 256 respectivamente, que corresponden a la concentración en gramos de i.a. ha^{-1} de bispiribac sodio necesarios para reducir el 50% del peso seco de las poblaciones. Si se tiene en cuenta que la dosis comercial de bispiribac sodio utilizada en la región es de 50 g de i.a. ha^{-1} , estos datos indican que para reducir su peso seco a un nivel del 50%, el biotipo testigo solo necesitó del 20% de la dosis comercial, mientras que las poblaciones susceptibles a168 y a156 necesitaron 108,8% y 500% de la dosis comercial respectivamente. Es importante tener en cuenta que el valor de RC_{50} del biotipo a168 es muy cercano a la dosis comercial de 50 g de i.a. ha^{-1} utilizada por los agricultores en la región.

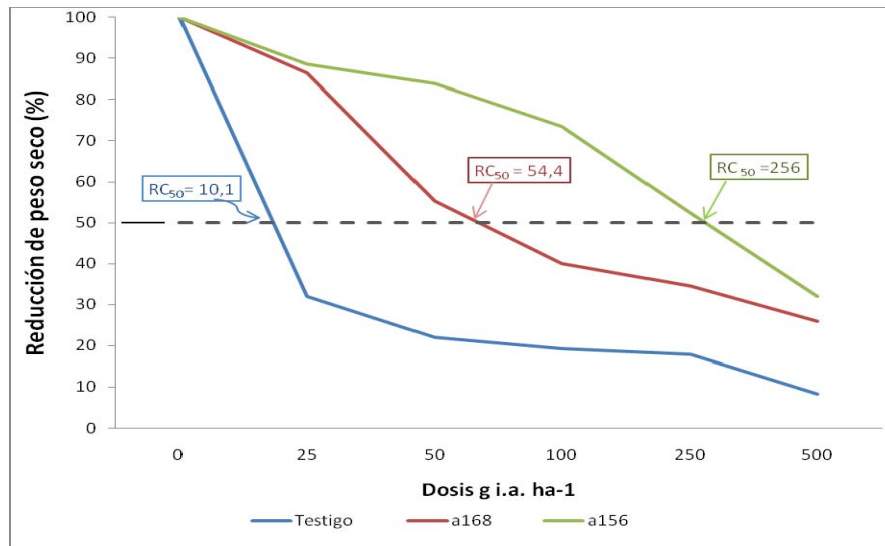


Figura 17. Reducción del peso seco de tres poblaciones de *I. rugosum* por efecto de la aplicación de seis dosis de bispiribac sodio. Población testigo, con resistencia intermedia (a168) y altamente resistente (a156).

4. Capítulo 4. Discusión general

El arroz es el cultivo transitorio más importante en la región del Ariari, donde se siembran alrededor de 20.000 ha al año, principalmente bajo el sistema de secano mecanizado. Entre los componentes de producción del cultivo de arroz, el control de malezas tiene una participación significativa en los costos de producción, especialmente por la problemática de *Ischaemum rugosum*.

Los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron que, del conjunto de especies de la zona, *I. rugosum* se presenta en el 100% de los lotes evaluados, con poblaciones iniciales altas que superan en algunos casos la población de plantas de arroz de cultivo, situación que muestra la importancia de esta maleza en la región. De 540 plantas, correspondientes al promedio de malezas en 1m^{-2} , 51% de los individuos correspondió a *I. rugosum*, con una cobertura promedio de 29,81%, es decir, supera a otras especies tanto en densidad como en cobertura. Esto indica la necesidad de efectuar controles tempranos de maleza, con el fin de minimizar tanto la población como la cobertura de arvenses y disminuir la posibilidad de interferencia con el cultivo.

Investigaciones previas, como las de Pabón (1990), Bakar y Ahmed (2003), Fuentes *et al.* (2010), en las que inicialmente se documentó el comportamiento de *I. rugosum* y sus características: crecimiento rápido, alta producción de semilla, germinación escalonada y ciclo total de 130 a 140 días, contribuyen a calificar esta especie como altamente competitiva en la zona de los Llanos Orientales. Por su parte, Bastidas y Ordóñez (2001) reportaron para la zona del Meta, incrementos en la población de Falsa Caminadora hasta del 20% en un intervalo de tres años, con un rango entre 200 y 650 plantas m^{-2} . La baja eficiencia de los controles químicos para esta especie podría estar incrementando el problema en la región.

Con respecto a las otras malezas presentes, como ciperáceas y hojas anchas, se evidencia un manejo eficiente, pues sus controles son satisfactorios: después de los controles químicos, mantiene bajas las poblaciones, con densidades inferiores a 2 individuos m^{-2} y coberturas inferiores al 3%, lo que en la actualidad no representa problemas, debido a que sus aportes son mínimos al banco de semillas de malezas.

Las tres zonas diferenciadas en el trabajo presentaron poblaciones de arroz promedio (entre 332 y 355 plantas m^{-2}) logradas a partir de 200 kg de semilla ha^{-1} , valores que permiten mostrar la eficiencia de esta práctica. Al comparar las densidades de arroz con las poblaciones iniciales de *I. rugosum* (entre 176 y 272 plantas m^{-2}) ese valor es crítico. Las diferencias entre zonas se marcan por las densidades de *I. rugosum*, que muestra menores valores en las zonas uno y dos, y mayor población en la zona tres. Teniendo en cuenta que *I. rugosum* es una maleza que se adapta mejor a condiciones de suelos húmedos como lo reportan Holm *et al.* (1977), es poco probable que las condiciones

descritas para la zona tres como: mayor altitud, zona no inundable por el río Ariari y un diferencial de fertilidad de suelos, determinen el aumento de la población de *I. rugosum* y que quizá el incremento se deba a los sistemas de manejo que los agricultores practican en sus lotes.

Las variables correspondientes a características de las zonas no aportan a la explicación de las diferencias de densidades de población de *Ischaemum rugosum* entre zonas, a diferencia de la variable correspondiente a nivel de control de los tratamientos (tanto primer como segundo control), de acuerdo con los bajos niveles de respuesta encontrados y su relación con las zonas. Una variable que muestra relación con los niveles de altas densidades de la maleza es el sistema de rotación de cultivos. Al respecto se encontraron los mayores valores en los lotes donde no se practica rotación (arroz-arroz-arroz y arroz-descanso-arroz). Por su parte, los lotes provenientes de los sistemas de rotación arroz con soya, plátano o pastoreo son los que presentan los menores valores. Esta situación coincide con los resultados hallados por Delgado *et al.*, 2009 quienes encontraron que la rotación con leguminosas contribuyó a reducir las poblaciones totales de malezas resurgidas dentro de los cultivos de arroz y maíz en comparación con el testigo sin rotación.

En cuanto al efecto del tipo de rotación de cultivos relacionado con la densidad de *I. rugosum*, los resultados muestran una tendencia en la cual los lotes con el sistema de rotación arroz-descanso-arroz están incrementando las poblaciones de *I. rugosum*. La mayor población encontrada se debe probablemente a que las malezas que permanecen después de la recolección del cultivo continúan su desarrollo hasta producción de semilla, con lo que se efectúan nuevos aportes que enriquecen continuamente el banco de malezas de estos suelos, favoreciendo una mayor densidad con este sistema de producción. Esto coincide con lo encontrado por Bastidas y Gómez (2004) en la región de Villavicencio, quienes concluyeron que lotes manejados con rotación arroz-descanso-arroz (por un periodo de dos años) aumentaron las poblaciones de *I. rugosum* en 30% en el primero y 50% en el segundo; mientras que en lotes donde se hizo rotación arroz-soya la reducción de las poblaciones de *I. rugosum* fue de 7% en el primer año y 17% en el segundo.

En este trabajo se encontró que los lotes provenientes de la rotación de arroz con cultivos como soya y plátano, o donde se practica pastoreo, presentaron disminución de las poblaciones iniciales de *I. rugosum*. La práctica de rotar el arroz con especies como soya o plátano, cambia el esquema de preparación de suelos, siembra, fertilización y manejo de malezas. Se presenta rotación de herbicidas con diferente modo y mecanismo de acción: en el cultivo de plátano se utilizan periódicamente herbicidas no selectivos como paraquat, glifosato o glufosinato de amonio, y en soya se utilizan preemergentes inhibidores de división celular como metolaclor y posemrgentes inhidores de ACCasa como clethodim. La rotación arroz-soya, común en esta región y ha mostrado disminuciones importantes en las poblaciones de *I. rugosum* (observación de campo). Resultados similares confirman la eficiencia de la rotación en la disminución de poblaciones de malezas: en tal sentido, Filizadeh *et al.* (2007), tras comparar el sistema de rotación arroz-soya con arroz-arroz por un periodo de dos años, encontraron una reducción de 63% y 80% en la densidad y biomasa de las malezas en campos de arroz del norte de Irán. Los beneficios de la rotación con otras leguminosas como crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), vitabosa (*Mucuna deeringianum* Bort.) y canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) han sido estudiados en la zona por Delgado *et al.* (2009) y han confirmado

los excelentes resultados en la disminución de arvenses, sin embargo, por falta de políticas de fomento e incentivos que permitan incrementar la rentabilidad de estos cultivos, aún no se han podido implementar a nivel comercial este tipo de prácticas.

En cuanto a la cobertura de las malezas, aunque no se presentó diferencia en los valores de cobertura inicial de *I. rugosum* entre zonas, los valores encontrados se consideran altos, ya que estuvieron alrededor del 26%. Al respecto se han encontrado pérdidas por competencia con el cultivo de arroz hasta del 40% con coberturas similares de arvenses (Fischer, 1997).

Para la primera aplicación posemergente de control de malezas, en la región del Ariari se utiliza como base el herbicida propanil, generalmente usando tres opciones de mezcla: mezcla uno, propanil más preemergentes y 2,4- D; mezcla dos, propanil más oxadiazón, y mezcla tres, propanil más 2,4- D. Con ellas se han obtenido porcentajes de control promedio de *I. rugosum* del 76%, que dejan remanentes de población de 40 a 60 plantas m⁻². De acuerdo con Castro y Almario (1990), los niveles de interferencia o competencia de malezas con el cultivo de arroz en estados iniciales son leves, mientras que la mayor interferencia se presenta en estados avanzados de desarrollo (etapa reproductiva y maduración). La mezcla dos registró el mayor control de *I. rugosum* al disminuir significativamente su población y cobertura en comparación con los tratamientos aplicados en la mezcla uno y mezcla tres.

Para el segundo control generalmente se usan cuatro opciones de mezclas, dos de las cuales tienen como base propanil, mientras las otras dos corresponden a los herbicidas sistémicos bispiribac sodio y profoxidim. De estos, el bispiribac sodio es el producto más usado en este segmento de control, con el cual se han logrado, en promedio, reducciones de población de *I. rugosum* del 69%, tras lo cual quedan remanentes de 12 a 17 individuos m⁻². Estas densidades se consideran altas y afectan la producción de no realizarse un control adicional. Smith (1990) encontró reducción del 10% en la producción de arroz con una población de 10 individuos m⁻² de *Echinochloa crus-galli*. Es de anotar que las poblaciones remanentes de *I. rugosum* que han escapado a los diferentes controles tienen mayor presión de selección y podrían incrementar el riesgo de plantas resistentes. Esto lo ratifican los estudios de Jasienuk (1996) y Monsereen *et al.* (2000), quienes afirman que las dosis de los herbicidas, la eficacia y la frecuencia de sus aplicaciones determinan en gran medida la presión de selección, además señalan que prácticas como el monocultivo, el uso intensivo de herbicidas con el mismo modo de acción y una limitación de las labores culturales, como la rotación de cultivos, por lo general caracterizan los sistemas en los que ha evolucionado la resistencia de malezas a herbicidas.

Por lo anterior, en un futuro trabajo de seguimiento sería fundamental evaluar los diferentes tratamientos de manera individual y valorar la posible resistencia a otros herbicidas usados en la región, como el propanil y el profoxidim.

En los estudios de resistencia de las poblaciones de *I. rugosum* se pudieron identificar dos grandes grupos poblacionales (análisis clúster): primero, poblaciones similares al testigo susceptible, que corresponden al 47% de la población y coinciden con un alto porcentaje de lotes que provienen de los sistemas de rotación arroz-soya-arroz, arroz-plátano-arroz y arroz-pastoreo-arroz y, segundo, el grupo de los resistentes, que coincide con una alta participación de lotes que provienen de la rotación arroz-descanso-arroz y arroz-arroz-arroz. Los grupos fueron comparados con los índices de resistencia según la

metodología de Valverde *et al.* (2000) y los resultados coincidieron en un alto porcentaje con los parámetros dados por esta clasificación. La identificación de los dos grupos es el paso inicial que nos permite continuar los estudios para identificar rápidamente estrategias de manejo de *I. rugosum*.

La confirmación de la resistencia de poblaciones de *I. rugosum* a bispiribac sodio se hizo a través de la metodología de Valverde *et al.* (2000), esto es, hallando inicialmente la dosis de herbicida que reduce el 50% de materia seca de la población (RC_{50}). En este estudio, un alto porcentaje (65%) de las poblaciones de *I. rugosum* evaluadas presentaron un RC_{50} que superó varias veces al RC_{50} del lote testigo; los valores de índices de resistencia (IR) de este grupo oscilaron entre 2,0 y 42,2 lo que evidencia un problema de resistencia de *I. rugosum* al bispiribac a nivel regional. Esta resistencia ha sido detectada en estudios realizados por Sangakkara *et al.* (2004) en Sri Lanka, y por Zambrano *et al.* (2004) en Venezuela. Quienes confirmaron que la presión de selección ejercida por el uso continuado de agroquímicos es la fuente de resistencia hacia *I. rugosum* y que bispiribac sodio inhibidor de ALS está generando resistencia en esta especie.

Los resultados muestran una relación estrecha entre los índices de resistencia y el manejo de los sistemas agrícolas. Para confirmar la relación de las poblaciones resistentes con los sistemas de rotación hallados en el análisis clúster, se separaron las poblaciones por rangos de susceptibilidad. Las poblaciones agrupadas bajo índices de resistencia menor a 2,0 presentan mayor participación (92%) de lotes en rotación arroz con (soya, plátano y pastoreo). En poblaciones con índices de resistencia dentro del rango 2 a 4, disminuye el porcentaje de rotación a 55% arroz con (soya, plátano y pastoreo) y aumentan a 45% lotes con rotación (arroz-descanso y arroz-arroz); para lotes con índices de resistencia superiores a 4,0 coinciden con un alto porcentaje (75%) de lotes con los sistemas arroz-descanso-arroz y arroz-arroz-arroz. En estos últimos hay mayor presión de selección y predisposición al aumento del banco de semillas de plantas resistentes de *I. rugosum*.

Al comparar el nivel de control por zonas, se aprecia que en la zona tres, donde el porcentaje de control fue inferior al de las otras zonas, también se evidencian los valores más altos de RC_{50} e índices de resistencia. Esto confirma los resultados encontrados por Filizadeh *et al.* (2007), en el cual la rotación de cultivos disminuye la presión de selección de *I. rugosum*. Powles *et al.* (1997) y Chauvel *et al.* (2009) también resaltan la importancia de la rotación para retrasar la resistencia a herbicidas, siempre y cuando estos tengan diferentes mecanismos de acción y los otros métodos de control difieran para cada cultivo. Lo anterior sugiere la importancia de realizar estudios de rotación con diferentes arreglos y especies tendientes a retrasar la resistencia a herbicidas en la región.

Se deben incluir tantos capítulos como se requieran; sin embargo, se recomienda que la tesis o trabajo de investigación tenga un mínimo 3 capítulos y máximo de 6 capítulos (incluyendo las conclusiones).

5. Conclusiones

1. *Ischaemum rugosum* es la maleza más importante dentro del complejo de arvenses de la región del Ariari, pues presenta mayor frecuencia densidad y cobertura que otras especies en cada una de las zonas evaluadas.
2. En las tres zonas geográficas de la región de estudio se presentan diferencias en densidad y cobertura de las poblaciones de *Ischaemum rugosum*; se identifica que la zona tres presenta los mayores valores y grado de dificultad para su control.
3. Los sistemas de rotación influyen sobre las densidades y coberturas de *Ischaemum rugosum* así: la rotación arroz-descanso y arroz-arroz incrementa el banco de semillas, mientras arroz-soya, arroz-plátano y arroz-pastoreo mantienen bajas las poblaciones.
4. Los niveles de control de los tratamientos químicos realizados en el segundo control pos emergente de malezas dejan remanentes de población de *Ischaemum rugosum* permitiendo individuos con mayor presión de selección lo que aumenta el riesgo de resistencia en la región.
5. El análisis de resistencia de las poblaciones de *Ischaemum rugosum* al herbicida bispiribac sodio en la zona de estudio mostró dos grupos poblacionales: los resistentes (65%), con índices de resistencia entre 2,0 y 42,0 y los susceptibles (35%), con índices de resistencia inferiores a 2,0.

A. Anexo: Datos básicos censo arrocero

DATOS BÁSICOS CENSO NACIONAL ARROCERO			
Agricultor <input type="text"/>	Año: <input type="text"/>	Semestre: <input type="text"/>	Zona: <input type="text"/>
Departamento : <input type="text"/>	Municipio: <input type="text"/>	Vereda: <input type="text"/>	Finca: <input type="text"/>
Area (has): <input type="text"/>	Sistema de cultivo: <input type="checkbox"/> Riego <input type="checkbox"/> Secano	Tenencia Propio: <input type="checkbox"/> Arriendo: <input type="checkbox"/>	
Coordenadas: Norte <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Tipo de siembra: Surco <input type="checkbox"/> Voleo <input type="checkbox"/>	
Maquinaria (tractor) Propia <input type="checkbox"/> Alquilada <input type="checkbox"/>	Tractor: Marca <input type="text"/> Potencia <input type="text"/> Años <input type="text"/> Cantidad <input type="text"/>		
Densidad de siembra (K / ha): <input type="text"/>	Variedad : <input type="text"/>		
Asistencia Técnica: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Grado de escolaridad del productor: Ninguno <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Universitaria <input type="checkbox"/>		

B. Anexo: Manejo de malezas y rotación de cultivos.

Agricultor:					
Lote:					
Sistema:	Riego	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Secano	<input type="checkbox"/>
Área (has)					
Ubicación agroecológica	Zona uno <input type="checkbox"/>	Zona dos <input type="checkbox"/>	Zona tres <input type="checkbox"/>		
Sistema de Rotación de cultivos	Arroz- descanso- arroz <input type="checkbox"/>	Arroz- soya- arroz <input type="checkbox"/>	Arroz- arroz-arroz <input type="checkbox"/>	Arroz- plátano-arroz <input type="checkbox"/>	Arroz – pastoreo- Arroz <input type="checkbox"/>
	Manejo de malezas en el lote				
1er Control pos emergente	1.- Propanil + Preemergentes + 2,4d <input type="checkbox"/>		2.- Propanil + Oxadiazón <input type="checkbox"/>		3.- Propanil + 2,4d <input type="checkbox"/>
2do Control pos emergente	1.Bispiribac <input type="checkbox"/>	2. Profoxidim <input type="checkbox"/>	3. Propanil +Oxadiazón <input type="checkbox"/>		4.Propanil <input type="checkbox"/>

C. Anexo. Población y cobertura de cultivo y malezas en diferentes evaluaciones.

Número de Lote																					
Tipo de Arvense	Primera Evaluación																				
	Arroz cultivo		<i>Ischaemum rugosum</i>		<i>Echinochloa colona</i>		<i>Digitaria</i> Spp.		<i>Leptochloa</i> Spp.		<i>Rotboellia conchinchinensis</i>		<i>Eleusine indica</i>		Complejo de hojas anchas		Complejo Ciperáceas		<i>Murdannia nudiflora</i>		
	N°	%	N	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
Marco 1																					
Marco 2																					
Marco 3																					
Segunda Evaluación																					
Tipo de Arv	<i>Ischaemum rugosum</i> (Numero de individuos)										<i>Ischaemum rugosum</i> (Porcentaje de cobertura)										
Marco 1	1										1										
Marco 2	2										2										
Marco 3	3										3										
Tercera Evaluación																					
Tipo de Arvense	<i>Ischaemum rugosum</i> (Numero de individuos)										<i>Ischaemum rugosum</i> (porcentaje de cobertura)										
Marco 1	1										1										
Marco 2	2										2										
Marco 3	3										3										

N°= (Numero de individuos)
%= (porcentaje de cobertura)

D. Anexo: Altura, peso seco y porcentaje de control de *I. rugosum* con relación a las dosis de bispiribac sodio aplicadas.

Poblacion N°	Altura (cm)	Peso Seco (g)	Control (%)
Dosis (g ia ha ⁻¹)			
0.			
0.			
0.			
25			
25			
25			
50			
50			
50			
100			
100			
100			
250			
250			
250			
500			
500			
500			
Testigo			
Testigo			
Testigo			

E. Anexo: Análisis de varianza para la población de arroz y malezas en primera evaluación de campo. Efecto de zona y rotación de cultivos.

Variable: Población de *I. rugosum* Primera evaluación
Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	Den		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF			DF	DF			
Zona	2	224	5.14	0.0066	1.93	224	4.67	0.0112	0.0102
Rota(Zona)	10	224	6.75	<.0001	6.6	224	5.35	<.0001	<.0001

Variable . Cobertura de *I.rugosum* primera evaluación.
Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	Den		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF			DF	DF			
Zona	2	224	2.94	0.0547	1.93	224	2.92	0.0579	0.0559
Rota(Zona)	10	224	6.16	<.0001	6.6	224	5.54	<.0001	<.0001

Variable: Población de arroz. Primera evaluación
Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	Den		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF			DF	DF			
Zona	2	224	0.42	0.6550	1.93	224	0.42	0.6482	0.6477
Rota(Zona)	10	224	1.46	0.1561	6.6	224	1.00	0.4268	0.4236

Variable: Cobertura de arroz, Primera evaluación

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	Den			Num	Den			
Zona	2	224	0.84	0.4331	1.93	224	0.83	0.4356	0.4343
Rota(Zona)	10	224	2.08	0.0270	6.6	224	1.52	0.1645	0.1585

Variable: Población otras gramíneas primera evaluación

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	Den			Num	Den			
Zona	2	222	1.40	0.2486	1.93	222	1.18	0.3068	0.3050
Rota(Zona)	10	222	3.37	0.0004	6.63	222	1.69	0.1162	0.1102

Variable: Población Ciperáceas primera evaluación.

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	Den			Num	Den			
Zona	2	222	3.24	0.0409	1.93	222	2.71	0.0705	0.0683
Rota(Zona)	10	222	6.70	<.0001	6.63	222	3.32	0.0027	0.0019

Variable: Población hojas anchas primera evaluación.

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Pr > F	ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	Den			Num	Den			
Zona	2	222	3.38	0.0360	1.93	222	2.98	0.0548	0.0528
Rota(Zona)	10	222	2.44	0.0089	6.63	222	2.47	0.0206	0.0177

F. Anexo: Análisis de varianza para primer control de malezas, población de arroz e *I. rugosum* en segunda evaluación de campo.

Variable: Porcentaje de control de *I. rugosum* por zona y rotación dentro de zona.

Type 3 Tests of Fixed Effects									
-----ANOVA F-----									
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
Zona	2	224	0.38	0.6841	1.93	224	0.34	0.7044	0.7040
Rota(Zona)	10	224	2.30	0.0137	6.6	224	0.78	0.6016	0.6008

Variable: Población de *I rugosum* según tratamiento herbicida (segunda evaluación).

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	2859.45611	1429.72806	15.40	<.0001
Error	234	21730.83081	92.86680		
Corrected Total	236	24590.28692			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	FC2 Mean
0.116284	69.10463	9.636742	13.94515

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for FC2

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	234
Error Mean Square	92.8668
Critical Value of Studentized Range	3.33574

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

ctrolpos1 Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits		
3 - 1	1.871	-7.617	11.359	
3 - 2	8.808	-0.749	18.365	
1 - 3	-1.871	-11.359	7.617	
1 - 2	6.937	3.915	9.959	***
2 - 3	-8.808	-18.365	0.749	
2 - 1	-6.937	-9.959	-3.915	***

Variable: Cobertura de *I. rugosum* según tratamiento herbicidas en el primer control (segunda evaluación).

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	1106.37514	553.18757	10.64	<.0001
Error	234	12170.18182	52.00932		
Corrected Total	236	13276.55696			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cober2 Mean
0.083333	56.24168	7.211749	12.82278

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Cober2

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	234
Error Mean Square	52.00932
Critical Value of Studentized Range	3.33574

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

ctrolpos1 Comparison	Difference		
	Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits	
3 - 1	0.3636	-6.7370	7.4642
3 - 2	4.7273	-2.4246	11.8791
1 - 3	-0.3636	-7.4642	6.7370
1 - 2	4.3636	2.1020	6.6253 ***
2 - 3	-4.7273	-11.8791	2.4246
2 - 1	-4.3636	-6.6253	-2.1020 ***

Variable: Porcentaje de control de *I. rugosum* según tratamiento de herbicidas (segunda evaluación)

Source	DF	Sum of		F Value	Pr > F
		Squares	Mean Square		
Model	2	3741.61299	1870.80649	15.90	<.0001
Error	234	27535.19894	117.67179		
Corrected Total	236	31276.81193			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	control1 Mean
0.119629	13.84169	10.84766	78.36952

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for control1

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 234
 Error Mean Square 117.6718
 Critical Value of Studentized Range 3.33574

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

ctrolpos1 Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits	
2 - 3	5.536	-5.221 16.294	
2 - 1	8.128	4.726 11.529	***
3 - 2	-5.536	-16.294 5.221	
3 - 1	2.591	-8.089 13.272	
1 - 2	-8.128	-11.529 -4.726	***
1 - 3	-2.591	-13.272 8.089	

The GLM Procedure

Level of ctrolpos1	N	-----FC2----- Mean	Std Dev	-----Cober2----- Mean	Std Dev	-----control1----- Mean	Std Dev
1	132	16.7954545	12.2597452	14.6363636	8.43952237	74.9088593	
2	99	9.8585859	4.4835529	10.2727273	5.38292497	83.0364266	
3	6	18.6666667	3.7771241	15.0000000	0.00000000	77.4999843	

11.0762430
10.6377586
8.6468276

Variable: Densidad de arroz en segunda evaluación de campo

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	-----ANOVA F-----					
				Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
Zona	2	223	0.03	0.9696	1.93	223	0.03	0.9668	0.9668
Rota(Zona)	10	223	2.27	0.0150	6.61	223	1.69	0.1177	0.1117
Aroz1	1	223	11850.5	<.0001	1	223	11850.5	<.0001	<.0001

Variable: cobertura de arroz segunda evaluación de campo

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Den		ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF		DF	DF	DF	DF			
Zona	2	223	1.33	0.2674	1.93	223	1.35	0.2609	0.2588	
Rota(Zona)	10	223	1.29	0.2376	6.62	223	1.17	0.3198	0.3151	
CobeA	1	223	327.47	<.0001	1	223	327.47	<.0001	<.0001	

Variable: Densidad de *I. rugosum* en segunda evaluación de campo

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Den		ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF		DF	DF	DF	DF			
Zona	2	223	0.15	0.8638	1.93	223	0.13	0.8696	0.8695	
Rota(Zona)	10	223	2.77	0.0030	6.6	223	1.66	0.1249	0.1189	
FC1	1	223	59.00	<.0001	1	223	59.00	<.0001	<.0001	

Variable cobertura de *I. rugosum* en segunda evaluación de campo.

Type 3 Tests of Fixed Effects

Efecto	Num		F-Valor	Den		ANOVA F		Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
	DF	DF		DF	DF	DF	DF			
Zona	2	223	0.61	0.5437	1.93	223	0.49	0.6051	0.6045	
Rota(Zona)	10	223	2.59	0.0054	6.59	223	1.76	0.1021	0.0963	
CobeFC1	1	223	34.55	<.0001	1	223	34.55	<.0001	<.0001	

G. Anexo: Análisis de varianza para segundo control de malezas, densidad de arroz y de *I. rugosum* en tercera evaluación de campo.

Análisis de varianza para el segundo control de malezas.

Variable: porcentaje de control de *I. rugosum* por zona y rotación dentro de zona geográfica

Tests de tipo 3 de efectos fijos

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	-----ANOVA F-----					
				Num Pr > F	Den DF	DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	F(infty)
Zona	2	223	2.24	0.1089	1.93	223	1.90	0.1533	0.1509
Rota(Zona)	10	223	8.35	<.0001	6.63	223	4.34	0.0002	0.0001
control1	1	223	11.72	0.0007	1	223	11.72	0.0007	0.0006

Variable: Población de *I. rugosum* según tratamiento de herbicidas en el segundo control (tercera evaluación).

Fuente	Suma de DF	Cuadrado de cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	39.938189	13.312730	1.91	0.1286
Error	233	1623.893035	6.969498		
Total corregido	236	1663.831224			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	FC3 Media
0.024004	63.64959	2.639981	4.147679

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para FC3

NOTA: Este test controla el índice de error de experimentwise de tipo I.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	233
Error de cuadrado medio	6.969498
Valor crítico del rango estudentizado	3.65951

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
4 - 1	0.1352	-1.5456	1.8159
4 - 2	1.6111	-1.1778	4.4000
4 - 3	1.7222	-1.0667	4.5111
1 - 4	-0.1352	-1.8159	1.5456
1 - 2	1.4760	-0.8516	3.8035
1 - 3	1.5871	-0.7405	3.9146
2 - 4	-1.6111	-4.4000	1.1778
2 - 1	-1.4760	-3.8035	0.8516
2 - 3	0.1111	-3.1092	3.3315
3 - 4	-1.7222	-4.5111	1.0667
3 - 1	-1.5871	-3.9146	0.7405
3 - 2	-0.1111	-3.3315	3.1092

Variable: Cobertura de *I. rugosum* según tratamiento de herbicidas en el segundo control (tercera evaluación).

The GLM Procedure

Dependent Variable: CobFC3

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	--------

Model	3	108.119403	36.039801	2.09	0.1017
Error	233	4009.880597	17.209788		
Corrected Total	236	4118.000000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	CobFC3 Mean		
0.026255	46.09409	4.148468	9.000000		

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for CobFC3

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	233
Error Mean Square	17.20979
Critical Value of Studentized Range	3.65951

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

control2 Comparison	Difference		
	Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits	
1 - 4	1.0365	-1.6046	3.6776
1 - 3	1.9254	-1.7321	5.5829
1 - 2	2.8143	-0.8433	6.4718
4 - 1	-1.0365	-3.6776	1.6046
4 - 3	0.8889	-3.4936	5.2714
4 - 2	1.7778	-2.6047	6.1603
3 - 1	-1.9254	-5.5829	1.7321
3 - 4	-0.8889	-5.2714	3.4936
3 - 2	0.8889	-4.1716	5.9493
2 - 1	-2.8143	-6.4718	0.8433
2 - 4	-1.7778	-6.1603	2.6047
2 - 3	-0.8889	-5.9493	4.1716

Variable: Porcentaje de control de *I. rugosum* según tratamiento de herbicidas en el segundo control de malezas (tercera evaluación).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	742.38757	247.46252	1.64	0.1798
Error	233	35058.72695	150.46664		
Total corregido	236	35801.11451			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	control3 Media
0.020736	17.78547	12.26648	68.96911

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para control3

NOTA: Este test controla el índice de error de experimentwise de tipo I.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	233
Error de cuadrado medio	150.4666
Valor crítico del rango estudentizado	3.65951

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
2 - 3	3.222	-11.741	18.185
2 - 1	3.493	-7.322	14.308
2 - 4	9.528	-3.431	22.486
3 - 2	-3.222	-18.185	11.741
3 - 1	0.271	-10.544	11.086
3 - 4	6.306	-6.653	19.264
1 - 2	-3.493	-14.308	7.322
1 - 3	-0.271	-11.086	10.544
1 - 4	6.034	-1.775	13.844
4 - 2	-9.528	-22.486	3.431

4 - 3	-6.306	-19.264	6.653
4 - 1	-6.034	-13.844	1.775

Análisis de varianza para densidad de arroz y de *I. rugosum*

Variable: Densidad de arroz en tercera evaluación de campo

Type 3 Tests of Fixed Effects

-----ANOVA F-----									
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
Zona	2	223	0.95	0.3871	1.93	223	0.82	0.4370	0.4356
Rota(Zona)	10	223	1.39	0.1850	6.62	223	1.43	0.1969	0.1909
Arroz2	1	223	64412.0	<.0001	1	223	64412.0	<.0001	<.0001

Variable: Cobertura de arroz en tercera evaluación de campo.

Type 3 Tests of Fixed Effects

-----ANOVA F-----									
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
Zona	2	223	0.79	0.4558	1.93	223	0.94	0.3889	0.3874
Rota(Zona)	10	223	1.12	0.3504	6.61	223	0.75	0.6238	0.6233
CobeAR2	1	223	554.50	<.0001	1	223	554.50	<.0001	<.0001

Variable: densidad de *I. rugosum* en tercera evaluación de campo

Tests de tipo 3 de efectos fijos

-----ANOVA F-----									
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	Pr > F(infty)
Zona	2	223	3.26	0.0403	1.93	223	2.62	0.0769	0.0747
Rota(Zona)	10	223	6.45	<.0001	6.62	223	3.92	0.0006	0.0004
Fc2	1	223	455.65	<.0001	1	223	455.65	<.0001	<.0001

Variable: Cobertura de *I. rugosum* en tercera evaluación de campo.

Type 3 Tests of Fixed Effects

-----ANOVA F-----

Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	Num DF	Den DF	Pr > Valor	Pr > F(DDF)	F(infty)
Zona	2	223	0.34	0.7116	1.93	223	0.37	0.6818	0.6813
Rota(Zona)	10	223	2.26	0.0156	6.58	223	1.88	0.0788	0.0734
CobeFC2	1	223	166.96	<.0001	1	223	166.96	<.0001	<.0001

Anexo 8. Análisis Log-Logistic para poblaciones seleccionadas de *I. rugosum*.----- **Población=Testigo** ----- **Variable****Peso seco****Método: Gauss-Newton****Procedimiento NLIN**

Fuente	Suma de DF	Cuadrado de la		Aprox F-Valor	Pr > F
		cuadrados	media		
Modelo	3	0.0997	0.0332	127.87	<.0001
Error	14	0.00364	0.000260		
Total corregido	17	0.1034			

Error std

Parámetro aproximados	Estimador	aproximado	Límites de confianza 95%	
c	0.0249	0.0137	-0.00446	0.0543
d	0.2453	0.0114	0.2208	0.2697
b	1.0310	0.5867	-0.2273	2.2893
rc50	10.1456	5.3443	-1.3168	21.6080

c	0.0249	0.0137	-0.00446	0.0543
d	0.2453	0.0114	0.2208	0.2697
b	1.0310	0.5867	-0.2273	2.2893
rc50	10.1456	5.3443	-1.3168	21.6080

Matriz de correlación aproximada

	c	d	b	rc50
c	1.0000000	-0.4521544	0.8605932	0.5913348
d	-0.4521544	1.0000000	-0.5504555	-0.5961347
b	0.8605932	-0.5504555	1.0000000	0.8858010
rc50	0.5913348	-0.5961347	0.8858010	1.0000000

Población=a156 (resistente)
Procedimiento NLIN

Variable: Peso seco**Método: Gauss-Newton**

Fuente	Suma de DF	de la		Aprox F-Valor	Pr > F
		cuadrados	media		
Modelo	3	0.8319	0.2773	233.14	<.0001
Error	15	0.0178	0.00119		
Total no corregido	18	0.8497			

Parámetro	Error std		Límites de confianza		Etiqueta
	Estimador	aproximado	95% aproximados		
c	0.2811	0.0180	0.2426	0.3195	
d	9.906E-9	0	9.906E-9	9.906E-9	
b	-1.1089	0.2754	-1.6960	-0.5218	
rc50	256.1	55.0699	138.8	373.5	
Bound0	0.00434	0.00617	-0.00754	0.0162	0 < d

Matriz de correlación aproximada

	c	d	b	rc50
c	1.0000000	.	0.6203304	-0.6521402
d
b	0.6203304	.	1.0000000	-0.2409279
rc50	-0.6521402	.	-0.2409279	1.0000000

Población=a168 (resistente)-

Procedimiento NLIN

Variable PesoSeco

Método: Gauss-Newton

Fuente	Suma de DF	Cuadrado		Aprox F-Valor	Pr > F
		de la cuadrados	media		
Modelo	3	0.0449	0.0150	38.02	<.0001
Error	14	0.00551	0.000394		
Total corregido	17	0.0504			

Procedimiento NLIN

Parámetro	Error std		Límites de confianza 95%	
	Estimador	aproximado	aproximados	
c	0.1954	0.0115	0.1708	0.2200
d	0.0460	0.0191	0.00495	0.0870
b	-1.2934	0.4992	-2.3640	-0.2228
rc50	54.4764	16.8642	18.3063	90.6466

Matriz de correlación aproximada

	c	d	b	rc50
c	1.0000000	-0.1361258	0.2911979	-0.3387630
d	-0.1361258	1.0000000	-0.8166929	-0.7541649
b	0.2911979	-0.8166929	1.0000000	0.4973703
rc50	-0.3387630	-0.7541649	0.4973703	1.0000000

Bibliografía

BAKAR, B. 2009. GROUP D/22 RESISTANT SARAMOLLAGRASS (*Ischaemum rugosum*) Malaysia <http://www.weedscience.org/Case/Case.asp?ResistID=139>.
Accedido: 10-08-2009

BAKAR, B. y L. AHMED. 2003. Seed germination, seedling establishment and growth patterns of wrinklegrass (*Ischaemum rugosum* Salisb.) Weed Biology and Management 3, 8-14.

BAKI, B. 1992. *Ischaemum rugosum* Salisb. En: Mannerje L. y Jones R. (Ed.). Plant Resources of South-East Asia, Forages. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, 146-148 p.

BASF QUIMICA COLOMBIANA (BASF). 1998. Aura: El aliado más completo contra gramíneas. Boletín técnico. BASF Química Colombiana, Bogotá. 12p.

BASTIDAS, H. y R. ORDOÑEZ. 2001. Se incrementan malezas en los Llanos Orientales. Revista Arroz. 50, 433: 4-9.

BASTIDAS, H. y N. GÓMEZ. 2004. Efecto de la incorporación de abonos verdes en la población de malezas en el cultivo de arroz en el sistema de secano. Arroz 52, 448: 12-16

BOOTH, B. y C. SWANTON. 2002. Assembly theory applied to weed communities. Weed Science. 50, 1: 2-13.

BUHLER, D. D. 2002. Challenges and opportunities for integrated weed management. Weed Science. 50, 3: 273-280.

CASTRO, R, A. y O. ALMARIO. 1990. Efecto de las malezas gramíneas en arroz. Revista Comafi. 17, 1: 37-41.

CHAUVEL, J.; P. GUILLEMIN, y N. COLBACH. 2009. Evolution of a herbicide-resistant population of *Alopecurus myosuroides* Huds. in a long-term cropping system experiment. Crop Protection 28, 4; 343-349.

CLAVIJO, J. y H. MEDINA. 2004. Impacto socioeconómico de las malezas en el cultivo de arroz en Colombia. *Revista Comalfi* 31, 1: 13-23.

CLAYTON, W.; K. HARMAN y H. WILLIAMSON. 2005. *Ischaemum rugosum*. En: *World Grass Species - Ischaemum rugosum Description*.
<http://www.kew.org/data/grasses-db/www/imp05784.htm> [Accedido: 28-09-2009].

CHRISTOFFOLETI, P.J. 2002. Curvas de dosis respuesta de biotipos resistentes y susceptibles de *Bidens pilosa* L. a los herbicidas inhibidores de ALS. *Scientia Agrícola*, 59, 3: 513-519

CUEVAS, A. 2007. La Falsa Caminadora (*Ischaemum rugosum*) pata blanca y pata roja. *Revista Arroz*. 55, 471: 39-43.

DE PRADO, R.; K.L. PLAISANCE.; J. MENÉNDEZ y J.W. GRONWALD. 1996. Effect of graminicide herbicides on growth and ACCase activity in a chlortoluron-resistant biotype of *Alopecurus myosuroides*. En: *Proceedings of the International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides* (eds. R De Prado, J Jorrín, L García-Torres y G Marshall), pp. 59-61, Universidad de Córdoba, España.

DE PRADO, R. y J.P. RUIZ. 2005. Resistencia a herbicidas en malezas: Detección en campo, invernadero y laboratorio. En XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). pp.13-16 Varadero, Matanzas, Cuba.

DELGADO, H. H.; G.E. NAVAS.; C.R. SALAMANCA y D.A. CHACÓN. 2009. Barbechos mejorados con leguminosas: una promisoría alternativa agroecológica para el manejo alelopático de malezas y mejoramiento de cultivo de arroz y maíz en los Llanos de Colombia. *Agronomía Colombiana* 27, 2: 227-235.

FEDERACION NACIONAL DE ARROCEROS (FEDEARROZ). 2007. III Censo Nacional Arroceros, Convenio DANE-FEDEARROZ. Bogotá DC, Colombia. pp. 27-67

FEDERACION NACIONAL DE ARROCEROS (FEDEARROZ). 2009. Subgerencia Técnica e Investigaciones Económicas. Costos estimados de arroz riego y seco (documento interno de trabajo). Bogotá. Fedearroz. 22 p.

FILIZADEH, Y.; A. REZAZADEH y Z. YOUNESSI. 2007. Effects of crop rotation and tillage depth on weed competition and yield of rice in the paddy fields of Northern Iran. *Journal Agriculture Science Technology* 9, 99-105.

FISCHER, A. 1995. Resistencia a herbicidas y umbrales de acción para el manejo integrado de malezas. *Revista Arroz*, 44, 395: 28-34.

FISCHER, A. 1997. Manejo integrado de malezas del arroz. En: *MIP en Arroz*. Caracas Fundación Polar, FEDEARROZ, CIAT. p. 31-49.

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.

FLECK, N.G.; J.A. NOLDIN.; V.J. MENEZES.; J.J.O. PINTO y D.S. EBERHARDT. 2004. Manejo e controle de plantas daninhas em arroz irrigado. En: Vargas, L.; Roman, E. S. (Eds.). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, pp. 251-321.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). ORG/ 2004. Año internacional del arroz. Rice/es/f-sheet/hoja5. Pdf www.rlc.fao.org/es/larc/larc04/ppt/inf06.ppt Accedido 10-12-2009

FUENTES, C.L.; A. OSORIO.; J.C. GRANADOS y W. PIEDRAHITA. 2010. Malezas de los arrozales de América Latina en: Producción Eco-Eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, Colombia, pp. 365- 390.

GARCÍA-TORRES. y C. FERNÁNDEZ-QUINTANILLA. 1991. Fundamentos sobre malas hierbas y Herbicidas, Mundi-Prensa, Madrid. pp. 72-87

GIRATÁ, I. 2001. Estandarización y evaluación de técnicas para la detección de la resistencia de *Echinochloa colona* e *Ischaemum rugosum* al fenoxaprop-p-etil. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. pp 28-56

GONZÁLEZ, P.A.; C. QUIROGA.; H. BASTIDAS y O. MONTAÑES. 2003. Banco de malezas en zonas arroceras de Caños Negros y Pompeya en el Meta. Revista Arroz, 51, 444: 11-17.

HAIGH, T. 2000. Weed competition and Control. www.uws.edu.au/vip/haight/vegintroduction.htm. Accedido: 10 10 2009.

HEAP, I. M. 2010. International survey of herbicide resistant weeds. Disponible en: <http://www.weedscience.org/in.asp>. Accedido: 16 05 2010.

HERNÁNDEZ, W. A.; H. BASTIDAS y J. CASTRO. 1999. Efecto de la competencia de *I. rugosum*, sobre los componentes de rendimiento en el cultivo de arroz en Colombia. En: Compendio de resultados Tecnología para el arroz en los 90. Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz. Bogotá DC. Colombia, pp. 66-73.

HILL, N.M.; D. PATRIQUIN y S.VANDER-KLOET. 1989. Weed seed bank and vegetation at the beginning and end of the first cycle of a four-course crop rotation with minimal weed control. Journal of Applied Ecology. 26, 233-246.

HOLM, L.; G.D. PLUCNETT.; J.PANCHO y J. HERBERG. 1977. The world's worst weed. Distribution and biology. The East-West Food Institute, University Press of Hawaii Honolulu. 608 p.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC). 2009. Summary of resistant weed by mode of action. <http://plantprotection.org/HRAC>. Accedido: 20 11 2009.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC). 2011. Classification of herbicides according their mode of action. <http://plantprotection.org/HRAC>. Accedido: 15 02 2011.

HYVÖNEN, T. y J. SALONEN. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels - a six-year experiment. *Plant Ecology* 154; 73-81.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2008. sistema de información nacional ambiental, Municipio Granada – Meta, Año 2008. 115 p.

JASIENIUK, M.; A. L. BRULÉ-BABEL y I. N. MORRISON. 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science*. 44; 176-193.

KISSMANN, K.G. 2003. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. Disponible en: http://www.hrac-br.com.br/arquivos/texto_resistencia_herbicidas. Accedido: 01/05/2009.

LÉGERE, A. y N. SAMSON. 2004. Symposium tillage and weed management effects on weeds in barley–red clover cropping systems. *Weed Science*. 52 (5), 881-885.

LEVITT, G. 1978. Herbicidal sulfonamides. United States E.I. Du Pont de Nemours and Company (Wilmington, DE) <http://www.freepatentsonline.com/4127405.html>. Accedido: 20 12 2009.

LOVELL, S. T.; L. M. WAX.; M. J. HORAK y D.E. PETERSON. 1996. Imidazolinone and sulfonylurea resistance in a biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*). *Weed Science*, 44 (4), 789-794.

MALIK, R. K. y S. SINGH. 1995. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) resistance to isoproturon in India. *Weed Technology*. 9, 419-425.

MAXWELL, B. D. y A. M. MORTIMER. 1994. Selection for herbicide resistance. In: POWLES, S.B.; HOLTUM, J. A. M. (Ed). *Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry*. Boca Raton: Lewis. pp 1-25.

MORTENSEN, D. A.; L. BASTIAANS y M. SATTIN. 2000. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research*. 40, 49-62.

NABI, L. 1999. The population biology of wrinklegrass (*Ischaemum rugosum* Salisb.). Tesis Ph. D., University of Malaya, Kuala Lumpur

OERKE, E.C. y U. STEINER. 1996. Ertragsverluste und Pflanzenschutz. Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft, Band 6, Ulmer Verlag, 164 p.

ORTIZ, D. A.; D. TORREALBA y S. FAZIO. 2004. El tiempo de interferencia de arroz rojo sobre el rendimiento de las variedades Cimarrón y FONAIAP1. *Agronomía Tropical*. 54 (3), 293-308.

PABÓN, H. A. 1982. Algunos aspectos biológicos de la maleza falsa caminadora *Ischaemum rugosum* en los Llanos Orientales. Revista COMALFI. 17, 28-36.

PABÓN, H. A. 1990. Principios para el manejo de malezas en el cultivo de arroz. Revista Comalfi. 17 (1), 28-36.

Pesticide Properties Database (PPDB). 2009. website compiled from the environmental management for agriculture (EMA) [/EMA On-line](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/83.htm) <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/83.htm>. Accedido 03-09-2009.

POWLES, S. y J. HOLTUM. 1994. Mechanisms responsible for cross resistance and multiple resistance. En: herbicide resistance in plants. Biology and biochemistry. Ed. S. Powles y J. Holtum: 243-261. Lewis publishers, Boca Raton. FL.USA.

POWLES, S. B.; C. PRESTON.; J.B. BRYAN y A.R. JUTSUM. 1997. Herbicide resistance: Impact and management. Advances in agronomy. 58, 57-93

PUNTES, B. M. 2003. Flora arvense asociada al cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. pp 43-60.

REZNICK, D. N. y K.G. CAMERON. 2001. The population ecology of contemporary adaptations: what empirical studies reveal about the conditions that promote adaptive evolution. Genetica 112, 183-198.

RIPPSTEIN, G.; G. ESCOBAR y F.MOTTA. 2001. Agroecología y biodiversidad de las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia. CIAT, CIRAD. Cali, Colombia, pp 8-9.

RITZ, C. y J. C. STREIBIG. 2005. Bioassay analysis using R. Journal of Statistical Software 12, 1-22.

ROY, J.S. Jr. 1990. Umbrales de malezas en arroz en el sur de los estados unidos. Revista Comalfi. 17 (1), 7-16.

SAARI, L. L.; J.C. COTTERMAN y D.C. THILL. 1994. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. En: Herbicide resistance in plants. Biology and biochemistry. Ed. S. Powles, y J. Holtum. pp 83-139. Lewis publishers, Boca Raton. FL. USA.

SAARI, L. L. y C. J. MAUVAIS. 1996. Sulfonylurea herbicide resistant-crops. En: herbicide resistant crops (ed. S.O. Duke), pp 127-143, CRC Press, Boca Raton. FL. USA.

SANGAKKARA, U. R.; S. B. NISSANKA.; K. H. MARAMBE y B. RUBIN. 2004. Weeds, herbicide use and resistance in rice fields of Sri Lanka: 4th International Crop Science Congress 2004. Brisbane, Australia. Poster 2 4 1

SEEFELD, S.; J. JENSEN y E. PATRICK. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. Weed Technology 9 (2), 218-227.

- SHANER, D.L.; P.C. ANDERSON y M.A. STIDHAM. 1984. Imidazolinones: potent inhibitors of acethydroxyacid synthase. *Plant Physiology*.76, 545-546.
- STREIBIG, J. 1988. Herbicide bioassay. *Weed Research*. 28, 479-484.
- STREIBIG, J.; M. RUDEMO y J. JENSEN. 1993. Dose-response curves and statistical models. *Herbicide bioassays*. J.C. Streibig y P. Kusk (ed) CRC Press, inc. Boca Raton, FL. USA pp.29-55.
- TORRES, J.; P. GUZMÁN y A. SALIVE. 2003. Morfología de plántulas y fenología de algunas malezas gramíneas de importancia en campos de arroz del Norte de Tolima. *Arroz*. 51 (446), 9-18.
- VALVERDE, B. 1999. Evolución de resistencia a herbicidas en malezas: nociones teóricas y prácticas de manejo. *Memorias Curso pre-Congreso*. XIV Congreso ALAM y XIX Congreso Anual COMALFI. Cartagena Colombia.
- VALVERDE, B.; C. RICHES y J. CASELEY. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. Editorial Teresa Oñoro, San José, Costa Rica. 118 p.
- VALVERDE, B. 2000. ACCase inhibitors (groupA/1) resistant saramollagrass (*Ischaemum rugosum*) <http://www.weedscience.org/Case/Case.asp?ResistID=5143>.
Accedido: 05-11-09.
- VALVERDE, B.E. y K. ITOH. 2001. World rice and herbicide resistance. In Powles, S.B.; Shaner, D.L. eds. *Herbicide resistance and world grains*. Boca Raton, FLA, USA. CRC Press. pp. 195-249.
- VALVERDE, B. 2007. Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin America. *Weed Technology* 2007 21 (2), 310-323.
- VANEGAS, P. E.; S. X. PULIDO.; P.J. GÓMEZ.; W. ACOSTA y M. OSTOS. 1998. Caracterización de los sistemas de producción del municipio de Granada Meta. CORPOICA, REGIONAL 8, Informe Técnico N° 05. Villavicencio – Meta. pp 12 – 14.
- ZAMBRANO, C.L.; H. ESPINOSA y L. MEJÍA. 2004. Evaluación de la resistencia de biotipos de *Ischaemum rugosum* Salisb., provenientes de campos arroceros del estado de Portuguesa y Guarico al herbicida bispiribac sodio. Universidad central de Venezuela.