

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

**RESISTENCIA CRUZADA DE *Rottboellia cochinchinensis*
(Lour.) WD Clayton A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA
ACETIL COENZIMA-A CARBOXILASA, EN BIOTIPOS
PROVENIENTES DE SANTA CRUZ, BOLIVIA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

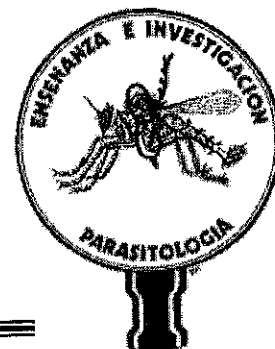


**DIRECCIÓN GENERAL DE QUÍMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

PRESENTA:

WILSON VIDAL AVILA GARCÍA

CHAPINGO, MÉXICO, AGOSTO DE 2004



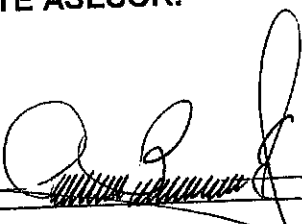
**RESISTENCIA CRUZADA DE *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) WD Clayton
A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ACETIL COENZIMA-A CARBOXILASA,
EN BIOTIPOS PROVENIENTES DE SANTA CRUZ, BOLIVIA.**

Tesis realizada por Wilson Vidal Avila García, bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

COMITÉ ASESOR:

DIRECTOR :



Dr. Andrés Bolaños Espinoza

ASESOR :



Dr. Bernal E. Valverde

ASESOR :

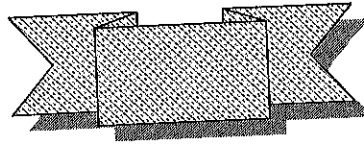


M. C. Antonio Segura Miranda

Chapingo, México, Julio de 2004



DEDICATORIA



A mis padres: Vidal Avila J. y Emilia García U. por el apoyo y esfuerzo para brindarle a cada uno de sus hijos formación y educación para hacer de ellos personas de bien con permanentes deseos de superación.

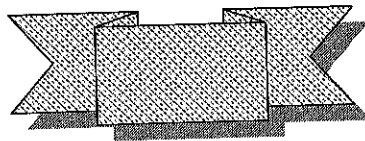
A mis hermanos: Richard, Isabel, RossMery, Julio César, Jacqueline y Patricia, por su permanente y constante voz de apoyo y aliento para alcanzar este logro anhelado.

A todos y cada uno de mis sobrinos, para que este esfuerzo sirva como ejemplo de que toda meta y anhelo puede alcanzarse con sacrificio y empeño.

A Elena Morón Daza, por su incondicional y permanente apoyo, amor, además de paciencia brindada en los momentos justos y necesarios que me impulsaron a continuar para seguir adelante, Gracias..... cunumi.

A mis grandes amigos, por sus muestras permanentes de aliento y apoyo, y por hacerme saber que cuento con ellos de manera incondicional.

AGRADECIMIENTOS



A LA SECRETARÍA DE RELACIONES EXTERIORES DE MÉXICO, a través de su Programa de becas Cuauhtémoc II/ SRE, por la beca otorgada para realizar los estudios de Maestría en México.

AL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL DEL DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, por brindarme la oportunidad para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Protección Vegetal.

AL Dr. ANDRÉS BOLAÑOS ESPINOZA, por brindarme su permanente apoyo y ayuda incondicional en la dirección del presente trabajo, pero sobre todas las cosas por brindarme su amistad y sus consejos, mis mas sinceros agradecimientos para él y su familia.

AL Dr. BERNAL E. VALVERDE, por sumarse desinteresadamente a este proyecto y brindarnos con su valiosa experiencia, no solo su aporte profesional sino además su amistad y apertura para contar con él de manera incondicional y permanente.

AL M.C. ANTONIO SEGURA MIRANDA, por formar parte del presente trabajo de investigación en calidad de asesor y aportar sugerencias y observaciones puntuales que enriquecieron la investigación.

AL ING. PABLO C. SORIA ALMANZA, por su valioso aporte en la recolección del material y del historial de campo para llevar adelante la investigación, pero por sobre todas las cosas por su desinteresada amistad y apoyo permanente que me brindó.

A mi compatriota y amigo ING. RONALD E. ONTIVEROS C. por su ayuda y guía en la elaboración de la parte gráfica de los resultados, pero por sobre todas las cosas, por su amistad .

AL DR. ROBERTO UNTERLADSTÄETTER K. por su aporte y sugerencias para llevar adelante el trabajo de campo.

AL Dr. NAHUM MARBÁN MENDOZA y DR. VICTOR M. PINTO, por su colaboración y cooperación como Coordinadores del Programa de Maestría en Protección Vegetal.

A TODOS Y CADA UNO DE LOS DOCENTES DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL, por impartirme sus

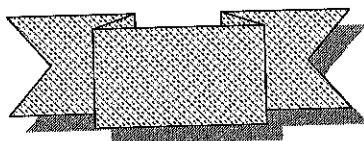
conocimientos y por honrarme con su amistad durante mi especialización.

A AURORA HUERTA, por su ayuda, colaboración y amistad que me brindó en todo momento durante mi estancia dentro del Programa de Maestría en Protección Vegetal.

UN AGRADECIMIENTO MUY ESPECIAL A TODOS Y CADA UNO DE MIS COMPAÑEROS DE GENERACIÓN, como así también para aquellos colegas que sin haber sido de mi generación me brindaron apoyo y amistad que me permitieron sentirme como en casa durante mi estancia en México, Dios bendiga por siempre a Uds. y a sus familias.



BIOGRAFÍA



Wilson Vidal Avila García, nació el 14 de Enero de 1973, en la ciudad de Santa Cruz, Bolivia, habiendo obtenido el bachillerato en el Colegio "El Pary" en el año 1990.

Ingresó a la carrera de Ingeniería Agronómica en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno en el año 1992, egresando en el año 1997, para posteriormente realizar su trabajo de tesis gracias a una beca otorgada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), titulándose en el año 1999.

Durante su formación académica de licenciatura, fue ayudante de cátedra de las materias de Fertilidad y Fertilizantes, además de Economía y Administración Agrícola de la misma universidad.

A partir del año 1998 ingresó a trabajar como extensionista y capacitador del Proyecto Buenas Prácticas Agrícolas dentro de la Asociación de Proveedores de Insumos Agropecuarios, para

tres años mas tarde asumir la Jefatura del Proyecto hasta Julio de 2002.

En Agosto de 2002, gracias a una beca otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores de México a través del Programa Cuauhtémoc III, hace su ingreso al Programa de Maestría en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en México, titulándose en Julio de 2004.

INDICE

	Pág.
Lista de cuadros	I
Lista de figuras	III
Resumen y Abstract.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
HIPÓTESIS.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1. Conceptos relacionados al tema	6
3.1.1. Maleza	6
3.1.2. Tolerancia	6
3.1.3. Susceptibilidad	7
3.1.4. Resistencia	7
3.1.5. Resistencia cruzada	7
3.1.6. Resistencia múltiple	7
3.2. Biología y ecología de <i>Rottboellia cochinchinensis</i>	8
3.2.1. Importancia y distribución	8
3.2.2. Biología	9
3.2.3. Ecología	11
3.2.4. Manejo y control	12
3.2.4.1. Control químico	12
3.2.4.2. Control biológico	12
3.2.4.3. Control cultural	13
3.3. Características de los herbicidas utilizados	14
3.3.1. Función fisiológica de la Acetil Coenzima A	14
3.3.2. Herbicidas Inhibidores de la Acetil Coenzima-A Carboxylasa	14
3.3.2.1. Mecanismo de acción de los herbicidas inhibidores de la ACCasa	15
3.3.3. Herbicidas del grupo ariloxifenoxipropionato (AFP)	16

3.3.3.1. Principales herbicidas del grupo: usos y malezas que controlan	17
3.3.4. Herbicidas del grupo ciclohexanodiona (CHD)	17
3.3.4.1. Principales herbicidas del grupo: usos y malezas que controlan	18
3.4. Resistencia a herbicidas en las plantas	19
3.4.1. Antecedentes de malezas resistentes a herbicidas	20
3.4.2. Evolución de plantas resistentes	21
3.4.3. Mecanismos de resistencia	22
3.4.4. Estrategias para el manejo de malezas resistentes a herbicidas..	22
3.5. Detección de resistencia de malezas a herbicidas mediante bioanálisis	
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1. Recolección de semillas	26
4.2. Conducción de los bioanálisis	28
4.2.1. Lugar de establecimiento de los bioanálisis	28
4.2.2. Suelo utilizado para el establecimiento de los bioanálisis	28
4.2.3. Germinación de semillas, transplante y establecimiento.....	29
4.2.4. Aplicación de los tratamientos.....	29
4.3. Diseño experimental	29
4.3.1. Tratamientos evaluados	30
4.3.1.1. Primera etapa de bioanálisis.....	30
4.3.1.2. Segunda etapa de bioanálisis	31
4.3.1.3. Tercera etapa de bioanálisis	31
4.3.2. Evaluaciones y variables respuesta	32
4.3.2.1. Porcentaje de daño visual	32
4.3.2.2. Peso fresco y peso seco.....	32
4.3.3. Determinación de la tasa de reducción media del crecimiento e índice de resistencia	33
4.4. Análisis estadístico	33

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
5.1. Bioanálisis con el fluazifop-p-butilo	34
5.1.1. Porcentaje de daño visual	34
5.1.2. Peso fresco y peso seco del follaje	35
5.1.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)	36
5.2. Bioanálisis con el haloxifop metilo	40
5.2.1. Porcentaje de daño visual	40
5.2.2. Peso fresco y peso seco del follaje	41
5.2.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)	43
5.3. Bioanálisis con el setoxidim.....	47
5.3.1. Porcentaje de daño visual	47
5.3.2. Peso fresco y peso seco del follaje.....	48
5.3.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)	49
5.4. Bioanálisis con el cletodim.....	53
5.4.1. Porcentaje de daño visual	53
5.4.2. Peso fresco y peso seco del follaje.....	54
5.4.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)	55
5.5. Bioanálisis con el imazetapir	59
5.5.1. Porcentaje de daño visual	59
5.5.2. Peso fresco y peso seco del follaje.....	60
5.5.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)	62
6. CONCLUSIONES	65
7. RECOMENDACIONES	68
8. LITERATURA CITADA	70
ANEXOS	71

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Principales herbicidas del grupo químico ariloxifenoxipropionato usos y malezas que controlan.....	17
Cuadro 2. Principales herbicidas del grupo químico ciclohexanodiona: usos y malezas que controlan	19
Cuadro 3. Historial de campo y de herbicidas de las poblaciones de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> colectadas en la zona Norte de Santa Cruz, Bolivia	26
Cuadro 4. Herbicidas y dosis utilizadas en el primer y segundo bioanálisis para la evaluación de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México 2003.....	30
Cuadro 5. Herbicidas y dosis utilizadas en el tercer y cuarto bioanálisis para la evaluación de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México 2003	31
Cuadro 6. Herbicida y dosis utilizada en el quinto bioanálisis para la evaluación de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México. 2003	32
Cuadro 7. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC ₅₀ e IR del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003.....	37
Cuadro 8. Porcentaje de daño visual a los 7 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al haloxifop metilo. Chapingo, México 2003	44
Cuadro 9. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC ₅₀ e IR del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al setoxidim. Chapingo, México. 2003.....	50

Cuadro 10. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al cletodim. Chapingo, México. 2003.....	56
Cuadro 11. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al imazetapir. Chapingo, México. 2003.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principales características biológicas de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> :	10
Figura 2. Mapa de distribución mundial de <i>Rottboellia cochinchinensis</i>	11
Figura 3. Representación esquemática de la ruta metabólica de la síntesis de lípidos en las plantas.....	14
Figura 4. Estructuras químicas de dos herbicidas AFP's: fluazifop butil y haloxifop metilo	16
Figura 5. Estructuras químicas de dos herbicidas del grupo CHD: cletodim y setoxidim	18
Figura 6. Curva típica del modelo no lineal de dosis – respuesta a la aplicación de dosis crecientes	24
Figura 7. Mapa de la zona norte del Departamento de Santa Cruz Bolivia y ubicación de los sitios de recolección de las semillas de <i>Rottboellia cochinchinensis</i>	27
Figura 8. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de fluazifop-p-butilo a <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México. 2003.....	34
Figura 9. Efecto del fluazifop-p-butilo sobre el peso fresco de plantas de <i>R. cochinchinensis</i> 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003	35
Figura 10. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003.....	36

Figura 11.	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>R. cochinchinensis</i> de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de fluazifop-p-butilo. Chapingo, México. 2003.....	38
Figura 12.	Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003.....	39
Figura 13.	Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de haloxifop-metilo a <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México. 2003.....	41
Figura 14.	Efecto del haloxifop-metilo sobre el peso fresco de plantas de <i>R. cochinchinensis</i> 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003	42
Figura 15.	Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003.....	43
Figura 16.	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>R. cochinchinensis</i> de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de haloxifop-metilo. Chapingo, México. 2003.....	45
Figura 17.	Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003.....	46
Figura 19.	Efecto del setoxidim sobre el peso fresco de plantas de <i>R. cochinchinensis</i> 14 DDA. Chapingo, México, 2003	48
Figura 20.	Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al setoxidim. Chapingo, México. 2003.....	49
Figura 21.	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>R. cochinchinensis</i> de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de setoxidim. Chapingo, México. 2003.....	51

Figura 22.	Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al setoxidim. Chapingo, México. 2003.....	52
Figura 23.	Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de cletodim a <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México. 2003.	53
Figura 24.	Efecto del cletodim sobre el peso fresco de plantas de <i>R. cochinchinensis</i> 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003.	54
Figura 25.	Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al cletodim. Chapingo, México. 2003.....	55
Figura 26.	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>R. cochinchinensis</i> de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de cletodim. Chapingo, México. 2003.....	57
Figura 27.	Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al cletodim. Chapingo, México. 2003.....	58
Figura 28.	Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de imazetapir a <i>R. cochinchinensis</i> . Chapingo, México. 2003.	59
Figura 29.	Efecto del imazetapir sobre el peso fresco de plantas de <i>R. cochinchinensis</i> 14 DDA. Chapingo, México, 2003	60
Figura 30.	Regresión y correlación entre peso fresco y seco del bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinchinensis</i> al imazetapir. Chapingo, México. 2003.....	61
Figura 31.	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>R. cochinchinensis</i> de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de imazetapir. Chapingo, México. 2003.....	63

Figura 32. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de <i>R. cochinensis</i> al imazetapir. Chapingo, México. 2003.....	64
---	----

**RESISTENCIA CRUZADA DE *Rottboellia cochinchinensis* A HERBICIDAS
INHIBIDORES DE LA ACETIL COENZIMA-A CARBOXILASA EN BIOTIPOS
PROVENIENTES DE SANTA CRUZ, BOLIVIA**

**CROSS RESISTANCE TO HERBICIDES INHIBITING ACETYL COENZYME-A
CARBOXYLASE IN *Rottboellia cochinchinensis* BIOTYPES FROM SANTA CRUZ,
BOLIVIA**

Wilson Vidal Avila García¹, Andrés Bolaños E.²,

ABSTRACT

RESUMEN

Se llevaron a cabo bioensayos para evaluar la respuesta de poblaciones de "Rogelia" (*Rottboellia cochinchinensis*) asociadas a cultivos de soya, provenientes de la zona norte del departamento de Santa Cruz, Bolivia. Estas poblaciones fueron seleccionadas debido a la respuesta deficiente observada en las aplicaciones comerciales de herbicidas ariloxifenoxipropionatos (AFP's) y ciclohexanodionas (CHD's). Los bioensayos fueron llevados a cabo bajo condiciones de invernadero de mayo a octubre de 2003, en la Universidad Autónoma Chapingo de México, para determinar las dosis-respuesta a graminicidas seleccionados y estimar los valores de inhibición del crecimiento (RC₅₀), basado en la reducción del peso fresco. Los herbicidas utilizados fueron fluazifop butilo, haloxyfop metilo (AFP's) cletodim y setoxidim (CHD's) e imazetapir (imidazolinona). Se encontraron diversos niveles de resistencia para todos los graminicidas seleccionados, y se confirmó la resistencia cruzada en tres de las cinco poblaciones evaluadas.

Bioassays were conducted to evaluate the response of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) populations associated with soybean production from the northern zone of Santa Cruz state, Bolivia. Populations were selected because of their deficient response to commercial applications of aryloxyphenoxypropanoate (APP) and cyclohexanedione (CHD) herbicides. Greenhouse bioassays were carried out from May to October 2003, at Chapingo University, Mexico, to determine the dose-response to selected grass herbicides and to estimate growth inhibition (GR₅₀) values based on above-ground fresh weight. The herbicides used were fluazifop-p-butyl, haloxyfop-R-methyl (APPs), clethodim, and sethoxydim (CHDs) and imazetaphyr (imidazolinone). Varying levels of resistance were found to all grass-killer herbicides and cross-resistance in three of five populations evaluated.

Key words: weed, herbicide, resistance

Palabras claves: maleza, herbicida, resistencia

¹ Tesista.

² Director de Tesis

1. INTRODUCCIÓN

Rottboellia cochinchinensis, conocida como "Caminadora", en gran parte de Latinoamérica y como "Rogelia" en Bolivia, es una maleza de gran importancia por su capacidad de competencia en una gran variedad de cultivos. Esta especie ha sido reportada como problema en 28 países y 18 cultivos incluidos el maíz, arroz, frijol, caña de azúcar y soya, y para el caso de los dos primeros, cuando no se aplica ningún tipo de manejo, las pérdidas pueden alcanzar entre 80% y 100% (González y Webb 1989, Unterladstätter 1998, Rojas *et al.* 1993).

El combate de gramíneas en cultivos tecnificados se ha facilitado mucho gracias al desarrollo y comercialización de herbicidas antigramíneos selectivos que inhiben la enzima acetil coenzima-A carboxilasa (ACCase). Sin embargo, la sobredependencia de los herbicidas ha provocado la selección de poblaciones de malezas resistentes. Heap (2004) reporta 284 biotipos resistentes a herbicidas pertenecientes a 172 especies (102 dicotiledóneas y 69 monocotiledóneas) distribuidos en 59 países, de los cuales 33 corresponden a herbicidas inhibidores de la ACCase, grupo que ocupa el tercer lugar, después de los inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS) y de los inhibidores del fotosistema II.

La enzima ACCase es el sitio de acción de dos de los mas importantes grupos de graminicidas: las ciclohexanodionas y los ariloxifenoxipropionatos. Esta enzima cataliza el primer paso común para la síntesis de ácidos grasos. Las ciclohexanodionas y los ariloxifenoxipropionatos se aplican en post-emergencia, para el control de malezas gramíneas, tanto en cultivos de cereales como en dicotiledóneas, debido a las ventajas que ofrecen, puesto que se precisan bajas concentraciones para producir un efecto letal en las poblaciones y por su baja toxicidad en el resto de organismos (Osuna *et al.*, 2001).

En Bolivia, estos herbicidas fueron introducidos a mediados de la década de 1980's, y desde entonces han proporcionado un excelente control de malas hierbas gramíneas, principalmente en el cultivo de soya y en menor proporción en el cultivo de arroz (ANAPO 2000).

El Departamento de Santa Cruz de la Sierra es la zona de producción agrícola más importante de Bolivia. Los principales cultivos por orden de importancia son soya, arroz, maíz y caña de azúcar, llegando a ocupar en la zona Norte del Departamento una superficie aproximada de 500,000 ha que equivalen en promedio al 50% del área total sembrada con estos cultivos (CAO 2000).

La actividad agrícola en la zona Norte del Departamento de Santa Cruz, se caracteriza por una gran variedad de sistemas de explotación, que van desde la manual de subsistencia hasta los sistemas altamente mecanizados; sin embargo, independiente del método empleado en los sistemas de producción, se considera que la principal causa para la disminución de los rendimientos en la actualidad en los principales cultivos son las malezas anuales (CIAT, 2000), de las cuales las especies gramíneas se han llegado a convertir en la última década como las responsables de la reducción de la producción en las siguientes proporciones: 60-100% para el cultivo de arroz, 20-60% para el cultivo de maíz, 60-80% para la caña de azúcar y entre un 40-60% para el cultivo de soya. Las principales especies de malezas gramíneas involucradas en estas pérdidas dentro de la zona de estudio son el "Maicillo" (*Sorghum sp.*), "Rogelia" (*Rottboellia cochinchinensis*) y "Pasto amargo" (*Eriochloa punctata*).

El primer reporte del desarrollo de malezas resistentes en Bolivia se presentó en 1998, para la maleza *Eriochloa punctata*, con resistencia al fluazifop butilo. Posteriormente, Aguanta (2000) también encontró resistencia en *Sorghum sudanense* a este mismo herbicida. Ambos casos ocurrieron en lotes bajo producción de soya y en la misma zona, caracterizada por condiciones

agroecológicas favorables que permiten la siembra de dos cultivos por año y sin la práctica de la rotación de cultivos ó en muchos casos, con la secuencia anual de soya - arroz, soya - maíz ó soya - soya, ejerciendo de este modo una intensa presión de selección impuesta por el uso regular y continuo de herbicidas, bajo un sistema continuo de producción (CIAT 2000).

La agricultura en gran escala que se desarrolla en la zona norte del Departamento de Santa Cruz, dependiente de los herbicidas para el manejo de malezas, ha provocado la selección continuada de especies de malezas resistentes a dichos agroquímicos, de forma similar a lo que sucede con los insecticidas. A este respecto, Kissmann (1996) señala que todas las poblaciones de malas hierbas, con independencia de la aplicación de cualquier herbicida, contienen probablemente plantas individuales (biotipos) que son resistentes a los herbicidas. El uso repetido de uno de éstos, expone a la población a una "presión de selección" que puede conducir a un aumento del número de individuos resistentes, supervivientes, en la población. Como consecuencia, la población de malezas resistentes puede aumentar hasta el punto que no se pueda alcanzar un control adecuado con la aplicación de ese herbicida.

Por lo antes expuesto se realizó la presente investigación con los siguientes objetivos:

2. OBJETIVOS

1. Determinar la existencia de resistencia en poblaciones de la maleza *Rottboellia cochinchinensis* proveniente de cinco localidades de la zona Norte del Departamento de Santa Cruz, Bolivia, a graminicidas post emergentes sistémicos inhibidores de la Acetil Coenzima A Carboxilasa (ACCasa)
2. Determinar si existen patrones de resistencia cruzada de los biotipos de la misma especie de maleza a graminicidas con modo de acción similar.
3. Evaluar la respuesta de los biotipos estudiados al imazetapir como opción de manejo químico de la maleza con herbicidas de diferente modo de acción.

HIPÓTESIS

Las hipótesis planteadas para alcanzar los objetivos fueron las siguientes:

1. Ho: Los biotipos de la maleza gramínea en estudio son resistentes a los graminicidas post-emergentes sistémicos inhibidores de la enzima ACCasa, del grupo ariloxifenoxipropionatos.

Ha: Los biotipos de la maleza gramínea en estudio no son resistentes a los graminicidas post-emergentes sistémicos inhibidores de la enzima ACCasa, del grupo ariloxifenoxipropionatos.

2. Ho: Los biotipos de *R. cochinchinensis* resistentes a herbicidas ariloxifenoxipropionatos tienen resistencia cruzada a graminicidas que poseen el mismo modo de acción pero que pertenecen a diferente grupo químico (ciclohexanodionas).

Ha: Los biotipos de *R. cochinchinensis* resistentes a herbicidas ariloxifenoxipropionatos no tienen resistencia cruzada a graminicidas que poseen el mismo modo de acción pero que pertenecen a diferente grupo químico (ciclohexanodionas)

3. Ho: Herbicidas graminicidas con diferente modo de acción controlan *R. cochinchinensis* resistente a inhibidores de la ACCasa.

Ha: Herbicidas graminicidas con diferente modo de acción no controlan *R. cochinchinensis* resistente a inhibidores de la ACCasa.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Conceptos relacionados al tema

3.1.1. Maleza

Ross y Lembi (1999) describen a las malezas como plantas que interfieren con el crecimiento de plantas cultivadas, constituyéndose habitualmente en perniciosas y persistentes, causando impacto negativo en las actividades humanas por lo que se constituyen en especies indeseables.

Mársico (1980) y Piazza *et al.* (2000) complementando lo anterior añaden que una definición mas amplia debe necesariamente considerar los daños que las malezas pueden causar cuando aparecen en sitios como campos de pastoreo, orillas de caminos, vías férreas, parques, jardines, campos deportivos y canales de riego.

Las malezas compiten con las plantas cultivadas por nutrientes, agua y luz, su alta capacidad de competencia está dada por su acelerada tasa de crecimiento y reproducción, comparada con las plantas cultivadas sobre las que interfieren (Zimdahl 1993).

Kissmann (1996) y Vidal (1997), definen a un biotipo como un grupo de plantas dentro de una población, con carga genética poco diferenciada de otros individuos dentro de su misma especie, por lo que en general los biotipos no presentan características morfológicas diferentes visualmente de los demás individuos.

3.1.2. Tolerancia

La tolerancia está definida como la capacidad hereditaria natural que tienen todas las poblaciones de una maleza para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida (Valverde *et al.* 2000). Vidal (1997) agrega que las

plantas tolerantes, no siempre desarrollan síntomas a los tratamientos con los herbicidas.

3.1.3 Susceptibilidad

Es un término que se aplica a aquellas poblaciones de plantas que mueren a una determinada dosis de herbicida a la cual normalmente no causa daño hacia otras especies de plantas (Ross y Lembi 1999).

3.1.4. Resistencia

La resistencia a herbicidas es definida como la capacidad heredada por una población de malezas para sobrevivir a la aplicación de herbicidas que normalmente es letal para la mayoría de individuos de esa especie (Powles *et al.* 1997).

3.1.5. Resistencia cruzada

La resistencia cruzada es la resistencia de un biotipo de una población de malezas, a uno o más herbicidas, debido a la presencia de un mecanismo individual de resistencia (Valverde *et al.* 2000), adicionalmente Vidal (1997) señala que este fenómeno puede presentarse con herbicidas de un mismo o de diferente grupo químico.

3.1.6. Resistencia múltiple

La resistencia múltiple describe aquellas situaciones en las que los biotipos resistentes tienen dos o mas mecanismos distintos de resistencia (Valverde *et al.* 2000).

3.2. Biología y ecología de *Rottboellia cochinchinensis*

3.2.1. Importancia y distribución

Esta maleza, conocida anteriormente como *R. exaltata*, está ampliamente distribuida en el mundo (Fig. 2) y se considera como una de las tres especies de malezas de mayor importancia en caña de azúcar, maíz, y arroz de temporal, (Holm *et al.* 1977, Häfliger y Scholz, 1980, Powell 1983).

R. cochinchinensis es una maleza anual de gran importancia y está considerada entre las mas nocivas del mundo debido a su rápida propagación y alta agresividad, reportada en mas de 28 países en competencia con mas de 20 cultivos anuales y perennes, además de encontrarse en potreros y bordes de carreteras.

Valverde *et al.* (1999) señalan que su propagación y amplia distribución desde su introducción hacia Centro y Sudamérica, se ha visto favorecida por diversos factores entre los que se destacan: compatibilidad climática con su sitio de origen, labores y prácticas culturales favorables, además de la ausencia de enemigos naturales, estimando además que sólo en América Central esta maleza afecta mas de 3.5 millones de hectáreas, principalmente maíz, caña de azúcar, arroz de secano, soya, frijol y sorgo entre otros cultivos.

Gómez (1985) y Valverde *et al.* (1999) mencionan que en México esta maleza se encuentra ampliamente distribuida en los estados de Campeche, Veracruz y Oaxaca, causando problemas en los cultivos anteriormente mencionados, pese a que Medina y Domínguez (2001), la señalan como una especie de importancia cuarentenaria para este País.

Gonzales y Webb (1989) y Unterladstaetter (1979), estiman que su ingreso a Bolivia ocurrió a mediados de la década de 1960's.

En Santa Cruz, Bolivia, a finales de 1990's, esta maleza fue considerada como una de las especies con mayores dificultades para su control, por lo que fue denominada "quita chaco" ó "pela bolsillo" Unterladstaetter (1998). ANAPO (2000) y CIAT (2000), mencionan que esta maleza en la actualidad es una de las especies gramíneas de mayor importancia económica en los principales cultivos de la zona Norte del Departamento de Santa Cruz.

3.2.2. Biología

R. cochinchinensis es una gramínea anual, erecta, alta y fuertemente cespitosa, con raíces del tipo fibrosas y adventicias desde los nudos inferiores en forma de zancos, razón por la cual en algunos países se la conoce como caminadora (Fig. 1a y 1b) (Unterladstaetter, 1979, Prieto y León, 1975).

Molina (1999) indica que esta especie es confundida comúnmente con la maleza *Manisuris exaltata*, diferenciándose de esta última por ser de mayor tamaño.

Es una planta vigorosa y muy prolífica, pudiendo un solo individuo emitir hasta 100 tallos o ramificaciones y llegar a producir hasta 15000 semillas (Lorenzi 2000).

El tallo tiene la forma de cañas erectas, pudiendo llegar a medir de 1 hasta 3 metros de altura, si bien se han reportado ecotipos glabros, generalmente sus hojas presentan pelos muy punzantes en las vainas, quebradizos e irritantes al contacto con la piel, pubescentes y con una lámina foliar linear lanceolada, con el borde de las mismas escabrosas y de color verde pálido (Fig. 1a) (Prieto y León 1975, Lorenzi y Jeffery 1987).

En Costa Rica se han encontrado hasta siete ecotipos diferentes de esta especie de maleza, observándose en algunos adaptaciones para su crecimiento dentro de cultivos anuales y en otros adaptados únicamente a crecer en bordes de caminos

y/o bajo condiciones de barbecho. Estas diferencias morfológicas se manifiestan en la presencia de ecotipos glabros, fenología y altura entre las características diferenciadas mas representativas de los ecotipos encontrados (Rojas *et al.* 1992).

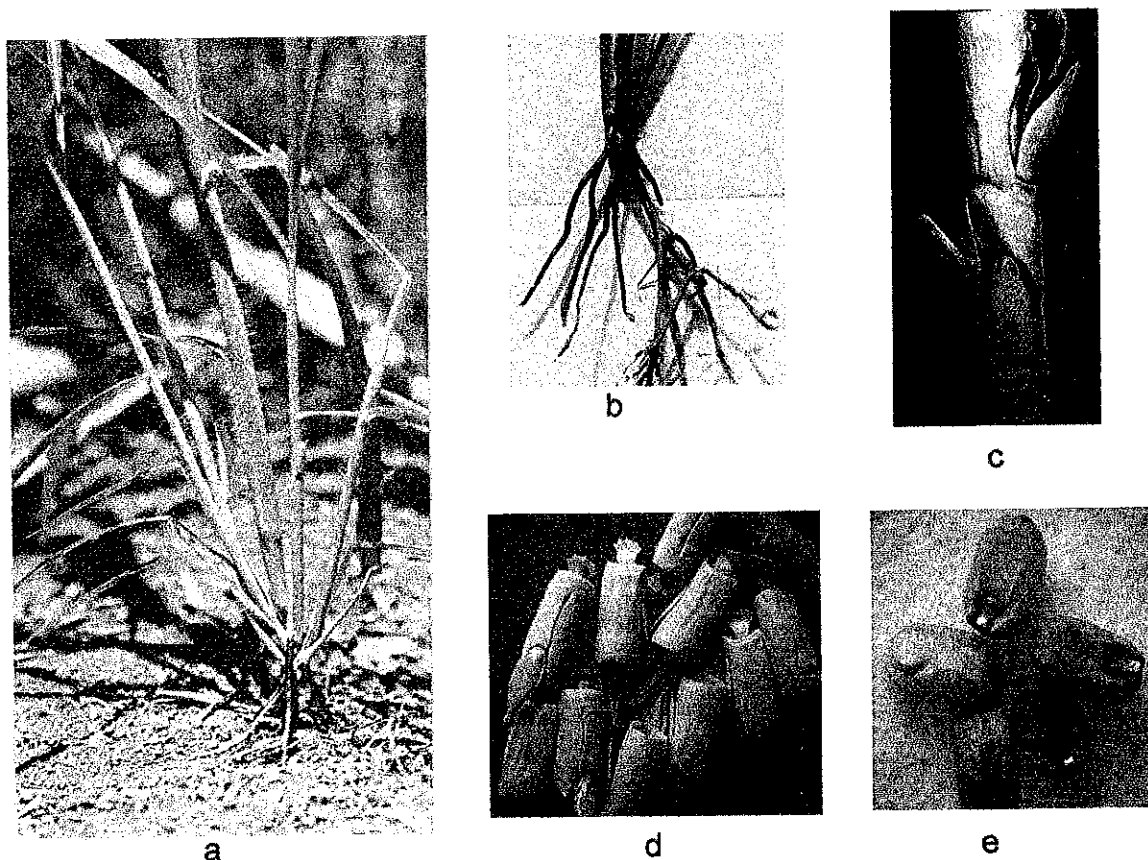


Fig. 1. Principales características biológicas de *Rottboellia cochinchinensis*: a) planta completa, b) sistema radicular, c) inflorescencia , d y e) semilla .

Su inflorescencia es en forma de un racimo solitario, terminal sobre el ápice del tallo y en las axilas de las hojas superiores en forma de espiga cilíndrica, compacta (Fig. 1c). Al llegar a la madurez se fragmenta fácilmente en piezas cilíndricas con una longitud de 6 a 7 mm y en número de 10 a 20, el fruto es un aquenio. Se propaga por semilla y su ciclo (desde la germinación hasta la floración) dura unos 45 días (Fig. 1d y 1e). (Rojas *et al.* 1993, Unterladstaetter 1979, y Holm *et al.* 1977).

3.2.3. Ecología

R. cochinchinensis está ampliamente distribuida y establecida en gran variedad de hábitat (Fig. 2), por ejemplo en Asia se encuentra presente en altitudes superiores a los 1600 msnm, en Africa 1900 msnm, y en la India se le ha encontrado en altitudes de 2300 msnm (Holm *et al.* 1977).



Fig. 2 Mapa de distribución mundial de *Rottboellia cochinchinensis* (adaptado de Unterladstaetter 1979).

Originaria de la India, se estima que fue introducida en América a principios del siglo XX a través de Colombia de donde se distribuyó hacia Centro y Sudamérica, probablemente a través de semillas de arroz (Rojas *et al.* 1992, Zimdahl 1993, Valverde *et al.* 1999).

Gonzales y Webb (1989) señalan que esta es una especie ampliamente difundida en casi todo el Departamento de Santa Cruz ya que se adapta perfectamente a diversas regiones ecológicas con bajas y/o altas precipitaciones, puesto que prefiere suelos, de textura media y relativamente fértiles.

3.2.4. Manejo y control

3.2.4.1. Control químico

Lorenzi (2000) reporta para el control de *R. cochinchinensis* en caña de azúcar y cítricos, la aplicación al suelo de herbicidas como ametrina, diuron, bromacil, además de la aplicación de pendimetalina y trifluralina en maíz, y los herbicidas oxadiazon y oxifluorfen en arroz.

ANAPO (2000) y APIA (1999), recomiendan para el cultivo de soya la aplicación en post emergencia de fluazifop butilo, haloxifop metilo, clodinafop propargil, cletodim, setoxidim, butroxiidim, imazetapir, mientras que para el cultivo de arroz recomiendan propanil, tiobencarbo, fenoxaprop, y en maíz se destacan pendimetalina y nicosulfuron.

3.2.4.2. Control biológico

El control biológico con el uso de “micoherbicidas” para el control de malezas mediante hongos es una de las alternativas mas promisorias hacia un futuro a mediano plazo como una estrategia complementaria dentro de un programa de manejo integrado. El hongo *Sporisorium ophiuri*, un patógeno del suelo, sistémico, ataca a la semilla de *R. cochinchinensis* antes de su emergencia del suelo, de manera experimental se ha observado que este patógeno reduce significativamente la densidad de la maleza (Valverde *et al.* 1999).

Adicionalmente CABI (2003) menciona que otros patógenos de esta maleza que han sido estudiados son *Fusarium moniliforme*, *Curvularia* sp., *Cladosporium* sp. y *Helminthosporium* sp., de los cuales el primero llegó a producir hasta un 66% de mortalidad en las plántulas de la maleza a los 30 días después de la inoculación.

Si bien estos resultados son promisorios y restan aún una serie de evaluaciones para su uso mas allá del nivel experimental, no cabe duda que se constituyen como una alternativa más dentro de las estrategias que pueden utilizarse para el control de esta maleza.

De la Cruz *et al.* (1994) realizaron en Costa Rica una serie de experimentos para evaluar el uso de coberturas vivas en asociación con el cultivo de maíz, como alternativa de control de la Caminadora, sobresaliendo las especies *Stizolobium* sp., *Cannavalia ensiformis*, *Dolichos lablab* y *Vigna unguiculata*, las cuales lograron suprimir la maleza y ,mejorar los rendimientos del maíz, debido a una considerable reducción de la densidad de plantas de Caminadora (102 a 3.5 plantas/m²).

3.2.4.3. Control cultural

Otra estrategia que ha dado excelentes resultados para el control de esta maleza, es la práctica de la mínima o cero labranza. Rojas *et al.* (1994) mencionan que esta práctica combinada con el barbecho y el control químico, en un periodo de tres ciclos de cultivo de maíz, redujo significativamente la densidad poblacional de la maleza.

Es indudable que la integración de estas tácticas funcionarán mejor y mas eficientemente que su implementación de manera aislada, sin embargo, es importante considerar que estas prácticas de manejo integrado deberán de

implementarse de acuerdo a las condiciones agroecológicas, prácticas y labores de cultivo existentes en las zonas donde esta maleza es un problema.

3.3. Características de los herbicidas utilizados

3.3.1. Función fisiológica de la Acetil Coenzima A

En plantas, la Acetil Coenzima-A es un derivado del ácido acético, que participa en el ciclo de Krebs en varias reacciones importantes, incluida la decarboxilación del piruvato en el metabolismo oxidativo y la oxidación de las grasas hasta acetato (Bidwell 1979, Ashton y Crafts 1981, Barceló *et al.* 1988,). La ruta metabólica de la síntesis de lípidos en las plantas se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Representación esquemática de la ruta metabólica de la síntesis de lípidos en las plantas (Vidal, 1997).

La Coenzima-A está constituida por una molécula de la vitamina ácido pantoténico y una molécula de ATP. Esta coenzima sirve como el combustible del ciclo de Krebs, fundamental para poder completar la conversión del carbono de los sustratos respiratorios a CO₂, proceso que se lleva a cabo en la matriz mitocondrial, y que constituye el eslabón entre la glucólisis y el ciclo de Krebs (Salisbury y Ross 1992).

3.3.2. Herbicidas inhibidores de la Acetil Coenzima-A Carboxylasa

Existen dos familias de herbicidas que inhiben la enzima Acetil Coenzima A carboxilasa (ACCasa): los ariloxifenoxipropionatos (AFP) y las ciclohexanodionas

(CHD). Estos herbicidas se aplican en post emergencia, y son absorbidos con facilidad por las raíces y el follaje, y se transportan a los meristemas donde rápidamente inhiben el crecimiento (Merril y Lembi, 1985, Valverde *et al.* 2000, Devine 1997, Osuna *et al.* 2001).

3.3.2.1. Mecanismo de acción de los herbicidas inhibidores de la ACCasa

El mecanismo de acción de estos dos grupos de herbicidas se manifiesta en la inhibición de la enzima ACCasa (reversible no competitiva), durante la última etapa de la reacción enzimática, lo que impide la formación de malonil CoA, y bloquea la reacción inicial de la ruta metabólica de la síntesis de lípidos. Por esta razón reciben el nombre de inhibidores de la síntesis de lípidos, los cuales regulan la permeabilidad selectiva de las células (Fig. 3) (Kissmann, 1996; Vidal, 1997).

Herbert *et al.* (1997) y Osuna *et al.* (2001) señalan que la diferencia de selectividad de estos dos grupos de herbicidas (ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas) a nivel del sitio de acción es debido a la presencia de dos diferentes tipos de enzimas ACCasas en los plastídios de dicotiledóneas y de gramíneas, ya que las dicotiledóneas contienen dos isoformas de la enzima: una forma procariota (ACCasa I) localizada en los plastídios (sitio donde se produce la biosíntesis de lípidos) la cual es insensible a los graminicidas y otra isoforma en el citosol (ACCasa eucariota ó ACCasa II) que es sensible a estos grupos de herbicidas. Las gramíneas contienen solo la forma eucariota que es sensible a los herbicidas tanto en los plastídios, como en el citosol.

Vidal (1997) indica que los síntomas exhibidos por las plantas sensibles a estos herbicidas se caracterizan por un cese inicial del crecimiento, posteriormente los síntomas se manifiestan en la región meristemática, precisamente donde la síntesis de lípidos para la formación de membranas es intensa. En gramíneas estos meristemas sufren decoloración, se tornan necróticos y ocurre finalmente la

muerte de la hoja entre una y tres semanas después de la aplicación. En hojas mas desarrolladas los síntomas pueden manifestarse por adquirir una coloración rosa, naranja o roja, confundiéndose con síntomas de deficiencia de fósforo.

3.3.3. Herbicidas del grupo ariloxifenoxipropionato (AFP)

Los herbicidas de este grupo se formulan y se aplican como ésteres, los que penetran fácilmente por la cutícula de las hojas de la planta, la cual los convierte a su forma ácida. El ácido se transporta dentro de la planta y es el que realmente exhibe actividad como herbicida (Valverde *et al.* 2000).

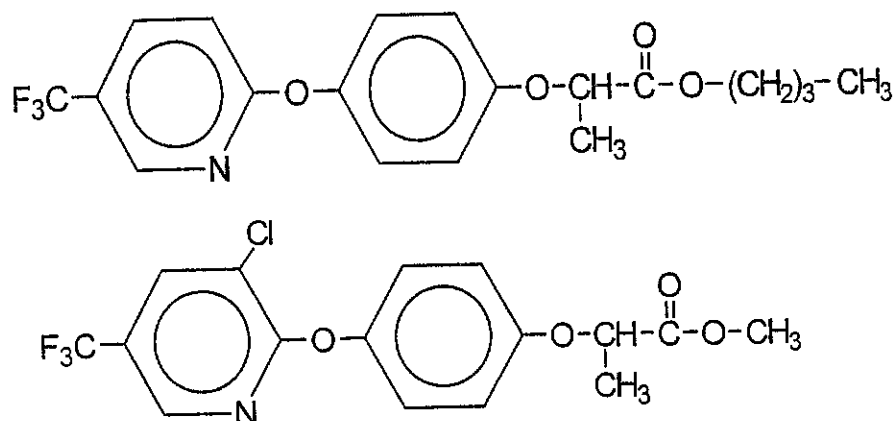


Fig. 4. Estructuras químicas de dos herbicidas AFP's: fluazifop butilo (arriba) y haloxyfop metilo (abajo) (fuente: WSSA)

La estructura básica de estos herbicidas está compuesta por un anillo fenil con dos puentes de oxígeno, uno ligando a un radical aril (cíclico) y otro a un éster del ácido propiónico. Todos los herbicidas son quiral, por tanto presentan isómeros ópticos (Fig. 4), los nombres genéricos de estos productos terminan en flop ó prop, por lo que son conocidos también como "flops" ó "props" (Kissmann, 1996).

3.3.3.1. Principales herbicidas del grupo: Usos y malezas que controlan

Los herbicidas de este grupo, también conocidos como esterres del ácido oxifenoxipropiónico, son graminicidas altamente selectivos post-emergentes para cultivos de hoja ancha (Pitty 1997; Kissmann 1996). En el Cuadro 1 se presentan los principales herbicidas del grupo, cultivos y malezas que controlan.

Cuadro 1. Principales herbicidas del grupo químico ariloxifenoxipropionatos: usos y malezas que controlan.

Herbicida	Cultivos	Malezas que controla
Clodinafop propargil	Soya, algodón, girasol y trigo	<i>Echinochloa</i> sp., <i>Sorghum</i> sp.,
Fenoxaprop etilo	Arroz y trigo	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> ,
Fluazifop butilo	Soya, algodón frijol, girasol, maní piña, papa, cítricos y hortalizas	<i>Cynodon</i> sp., <i>Brachiaria</i> sp., <i>Eleusine</i> sp., <i>Eriochloa</i> sp., <i>Digitaria</i> sp., <i>Leptochloa</i> sp.,
Haloxifop metilo	Soya, girasol	<i>Paspalum</i> sp. <i>Cenchrus</i> sp.,
Quizalofop etilo	Soya, algodón, girasol, maní, frijol	<i>Setaria</i> sp.

Fuente: APIA (1999) y ANAPO (2000).

3.3.4. Herbicidas del grupo ciclohexanodiona (CHD)

Los herbicidas de este grupo están compuestos de un anillo fenil, con dos ligaduras de función cetona, pese a que en la mayoría de los productos solo puede distinguirse una cetona (Fig. 5). Todos los productos de este grupo son quiral, comúnmente el nombre de estos compuestos terminan en dim, por lo que son conocidos como "dims".

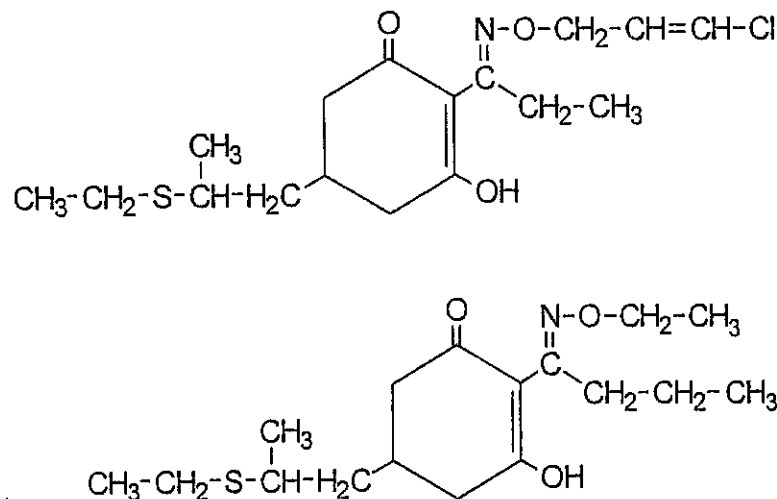


Fig. 5. Estructuras químicas de dos herbicidas del grupo CHD: cletodim (arriba) y setoxidim (abajo) (fuente: WSSA)

Además de la inhibición de la enzima ACCasa, causan una serie de reacciones secundarias en las plantas sensibles, tales como: reducción en la acumulación y síntesis de la clorofila, disminución de la respiración celular, atrofia del desarrollo radicular y necrosamiento en la base de las hojas, lo que causa que éstas se desprendan fácilmente a la menor presión, ocurriendo la muerte en un periodo aproximado de tres semanas después de la aplicación (Kissmann 1996).

3.3.4.1. Principales herbicidas del grupo: Usos y malezas que controlan

Los herbicidas del grupo de las ciclohexanodionas también son graminicidas post-emergentes, de rápido transporte, selectivos para otras familias botánicas, controlan gramíneas anuales y perennes, sin afectar a las especies de hoja ancha y a las ciperáceas (Pitty 1997; Kissmann 1996). En el Cuadro 2 se presentan los principales herbicidas, cultivos y malezas que controlan.

Cuadro 2. Principales herbicidas del grupo químico ciclohexanodiona: usos y malezas que controlan.

Herbicida	Cultivos	Malezas que controla
Butroxidim	Soya, algodón, girasol, frijol, maní, papa, zanahoria, tomate	<i>Echinochloa sp.</i> , <i>Sorghum sp.</i> , <i>Rottboellia cochinchinensis</i> , <i>Cynodon sp.</i> , <i>Brachiaria sp.</i> ,
Cletodim	Soya, algodón, girasol, frijol, maní, hortalizas	<i>Eleusine sp.</i> , <i>Eriochloa sp.</i> , <i>Digitaria sp.</i> , <i>Leptochloa sp.</i> ,
Cicloxidim	Soya, maní	<i>Paspalum sp.</i> <i>Cenchrus sp.</i> ,
Setoxidim	Soya, girasol, algodón, papa, frijol tabaco.	<i>Setaria sp.</i> Sorgo (voluntario), Maíz (voluntario) y Trigo (voluntario)

Fuente: APIA (1999) y ANAPO (2000).

3.4. Resistencia a herbicidas en las plantas

3.4.1. Antecedentes de malezas resistentes a herbicidas

En la actualidad se comercializan en el mundo más de 200 compuestos con propiedades herbicidas, los cuales se clasifican según: su estructura química y modo de acción (Jensen *et al.* 2001).

Inicialmente el fenómeno de la resistencia a agroquímicos se presentó con los insectos, posteriormente con los hongos y de manera mas reciente con las malezas.

Valverde *et al.* (2000), señalan que un problema serio en la actualidad es el rápido desarrollo de malezas resistentes a herbicidas inhibidores de las enzimas ALS y ACCasa. Los herbicidas cuyo mecanismo de acción es inhibir estas enzimas se consideran como “de alto riesgo”, es decir, proclives a la selección de resistencia.

En el último grupo la amenaza es más seria debido a que no se dispone de herbicidas opcionales con distinto modo de acción capaces de controlar a las gramíneas.

R. cochinchinensis ha desarrollado resistencia al fluazifop butilo en cinco campos de soya de Louisiana (EEUU), afectando a una superficie de unas 50 ha, sin que se conozca el mecanismo de resistencia. Hasta ahora, este es el único caso de resistencia reportado para esta especie.

3.4.2. Evolución de plantas resistentes

Las características de la maleza y del herbicida influyen en la tasa de evolución de resistencia. Las características mas importantes de la maleza son la frecuencia de genes de resistencia, el tamaño y la viabilidad del banco de semillas del suelo y la adaptabilidad al medio. Cada especie tiene una constitución genética particular y se considera que los genes de resistencia están presentes en las poblaciones silvestres aunque en una proporción muy baja (Valverde *et al.* 2000, Hatzios 2001).

Hatzios (2001) también señala que en muchos casos el desarrollo de resistencia de malezas se presenta en sistemas de producción bajo monocultivo, como maíz, soya o cereales, donde se utilizan continuamente herbicidas con modos de acción, similares que ejercen una fuerte presión de selección.

La evolución de la resistencia está íntimamente relacionada con la heredabilidad de los genes responsables de esa resistencia y con las características reproductivas y de polinización de cada especie de maleza, así como con la adaptabilidad al medio de las poblaciones resistentes (Valverde *et al.* 2000).

Vidal (1997) y Christoffers (1999) añaden que la ocurrencia de resistencia de las malezas a los herbicidas se debe a un proceso de selección de biotipos con características genéticas (mutantes) ejercido por la presión de selección impartida por el uso frecuente de uno o más herbicidas con similar modo de acción.

Valverde (1995), Kissmann (1996), Garita *et al.* (1995), Devine (1997), Ryan y Millis (1997), coinciden de acuerdo a estudios de resistencia llevados a cabo, que el principal factor para la evolución de resistencia de malezas, está dado por la presión de selección impuesta por el herbicida.

Aguanta (2000) señala que la resistencia de *Sorghum sudanense* a inhibidores de ACCasa fue producto de la presión de selección impuesta por el uso continuo de fluazifop-butilo.

3.4.3. Mecanismos de resistencia

Los tres mecanismos principales mediante los cuales las malezas resisten los herbicidas son la alteración o cambios en el sitio de acción, alteración en la capacidad metabólica ó rápida degradación del herbicida y retención o secuestro del herbicida (Valverde *et al.* 2000, Kissmann 1996).

Numerosos estudios sobre las malezas resistentes a los inhibidores de ACCasa, confirman que la resistencia es conferida por una mutación en dicha enzima, la que reduce su sensibilidad al herbicida. La resistencia está controlada por un solo gen dominante o semidominante, y dados los patrones de resistencia que se observan es posible que existan diversas mutaciones en la ACCasa, capaces de proporcionar distintos grados de resistencia para los ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas (Osuna *et al.* 2001, Devine 1997).

3.4.4. Estrategias para el manejo de malezas resistentes a herbicidas

Sin duda alguna que la principal estrategia desde el punto de vista práctico y económico, para el manejo de malezas resistentes es la prevención. Gressel y Segel (1990) sugieren las siguientes medidas y prácticas:

- a) Determinar el potencial para cada herbicida de desarrollar resistencia, basado en su modo y mecanismo de acción y degradación en cultivos y malezas.
- b) Empleo de tratamientos con el herbicida con la mínima presión de selección, controlando eficazmente a la maleza.
- c) Uso de mezclas de compuestos utilizando herbicidas con diferente sitio de acción y diferentes modos de degradación.
- d) Llevar a cabo la práctica de rotación de herbicidas.

Hatzios (2001) señala que la prevención y el manejo de malezas resistentes a herbicidas en todos los sistemas de explotación agrícola es imperativo para preservar a los herbicidas como herramientas de tecnología agrícola, para lo cual debe procurarse emplearlos dentro de programas o sistemas de manejo integrado de malezas, sin depender únicamente de un solo grupo de herbicidas con un solo mecanismo de acción, y que incluyan la rotación de cultivos.

3.5. Detección de resistencia de malezas a herbicidas mediante bioensayos

Por lo general , los reconocimientos para determinar la distribución de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas, dependen de estudios de invernadero en los que se aplican herbicidas, que cubren un amplio rango de dosis sobre plantas provenientes de semillas recolectadas en el campo con sospecha de resistencia, para poder garantizar un diagnóstico confiable (Valverde *et al.* 2000).

El método de análisis de la planta entera es uno de los más utilizados para determinar resistencia, el cual se inicia con la recolección de semillas de poblaciones en un reconocimiento de campo. Estas semillas se llevan al centro de diagnóstico o a la estación experimental, donde se procede a obtener plantas en macetas, que son asperjadas con el o los herbicidas a evaluar en un amplio rango de dosis, que incluye y supera la dosis comercial. Posteriormente se procede a registrar la sobrevivencia y el crecimiento subsecuente de las plantas tratadas, para compararlos con una población susceptible de referencia (testigo o control), que se incluye como parte de cada bioanálisis y que debe ser controlada con el herbicida aplicado en dosis similares o inferiores a la comercial. La población susceptible debe provenir de un campo donde el herbicida nunca haya sido empleado ó donde su uso haya sido muy limitado, con el fin de garantizar que no ha estado sujeta a la presión de selección que conduce a la evolución de resistencia (Valverde *et al.* 2000).

La relación entre la dosis del herbicida y la respuesta de la planta es de fundamental importancia para el entendimiento y la comprensión de la eficacia del herbicida y su modo de acción. Esta relación es esencial para el diseño e interpretación de la investigación en campo, invernadero o laboratorio (Steven *et al.* 1995).

El modelo estadístico más utilizado, es el referido a la curva de respuesta a dosis crecientes, basado en una regresión no lineal, logarítmica y expresado mediante la siguiente ecuación:

$$y = C + \frac{D - C}{1 + \exp [b * \ln (x / RC_{50})]}$$

donde y representa la respuesta a la dosis del herbicida, D representa el límite superior del crecimiento de las plantas a la concentración cero del herbicida (tratamiento testigo), C es el límite inferior a una dosis infinita del herbicida, b es la pendiente de la curva cercano al valor de la RC_{50} y finalmente el valor de RC_{50} es la dosis requerida del herbicida para reducir el crecimiento de la planta a la mitad del valor entre D y C (Figura 6).

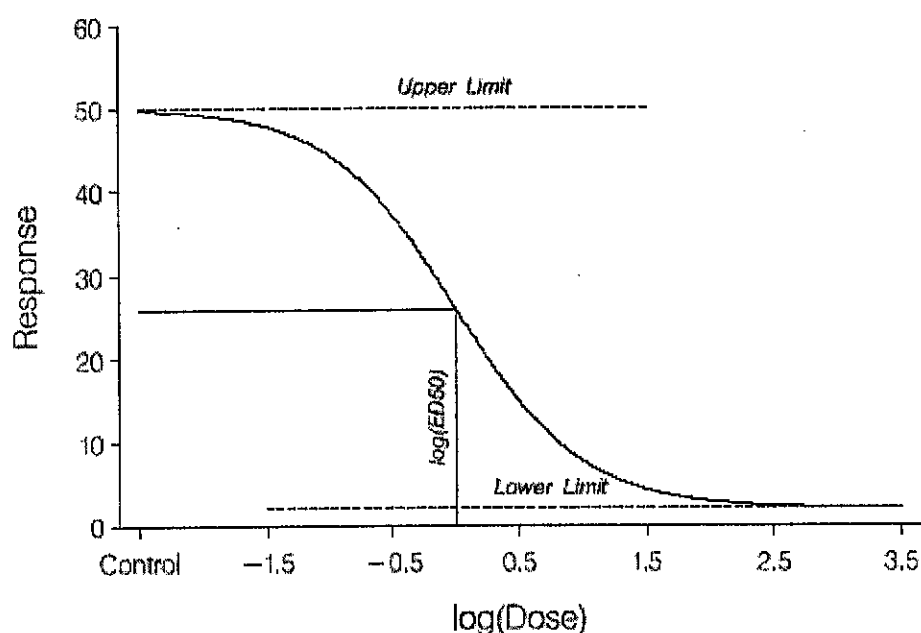


Figura 6. Curva típica del modelo no lineal de dosis – respuesta a la aplicación de dosis crecientes (Fuente: Jensen *et al.* 2001).

El peso fresco se usa comúnmente para determinar la respuesta de los biotipos en estudio a dosis crecientes del herbicida, en combinación con un método estadístico adecuado. Para comparar los niveles de resistencia entre poblaciones, se calcula el valor de RC_{50} , con base en la inhibición del crecimiento provocada por el herbicida.

Este valor representa la dosis del herbicida que inhibe el crecimiento (peso ó biomasa) de las plantas en un 50%, en relación con las plantas testigo (control).

Para la cuantificación del nivel de resistencia, se comparan las respuestas de la población desconocida o de la que se sospecha tiene resistencia, con la de la población conocida como susceptible (testigo), mediante el Índice de Resistencia (IR)

$$IR = RC_{50} \text{ biotipo en estudio} / RC_{50} \text{ biotipo susceptible de referencia}$$

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Recolección de semillas

La semilla fue recolectada en la zona norte del Departamento de Santa Cruz, Bolivia de Febrero a Abril de 2002, en lotes de producción de soya de cuatro localidades donde se sospechaba la presencia de la maleza resistente. La población testigo (control) se recolectó de un campo sin historial de uso de herbicidas (Fig. 7). El historial de campo y del uso de herbicidas en los sitios de muestreo se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Historial de campo y de uso de herbicidas de las poblaciones de *R. cochinchinensis* recolectadas en la zona Norte de Santa Cruz, Bolivia.

Población		año							
		1999		2000		2001		2002	
		Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv
San José	Cultivo	Arroz	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
	Herbicida	LM	--	--	--	--	--	--	--
Aguai	Cultivo	soya	maíz	soya	soya	maíz	soya	soya	soya
	Herbicida	clet	nc + at	clet	clet	nc + at	clet	Ima+clet	Ox+fo
Chané	Cultivo	soya	soya	soya	soya	soya	trigo	soya	Soya
	Herbicida	Haloxi	Haloxi	Haloxi	Haloxi	Flu+but	clod	Flu+but	Flu+but
San Pedro	Cultivo	Soya	soya	soya	soya	maíz	soya	soya	Soya
	Herbicida	Flu	Flu	Flu	Haloxi	nc + at	Flu+but	Flu+but	Ox+fo
Yapacaní	Cultivo	soya	soya	soya	soya	soya	soya	soya	soya
	Herbicida	Flu	Flu	Flu	Flu+but	Flu+but	clet	Ox+fo	Ox+fo

Referencias:

Flu : Fluazifop butilo

Haloxi : Haloxifop metilo

Nc : Nicosulfuron

At: Atrazina

Ox : Oxasulfuron

Fo : Fomesafen

Clet: Cletodim

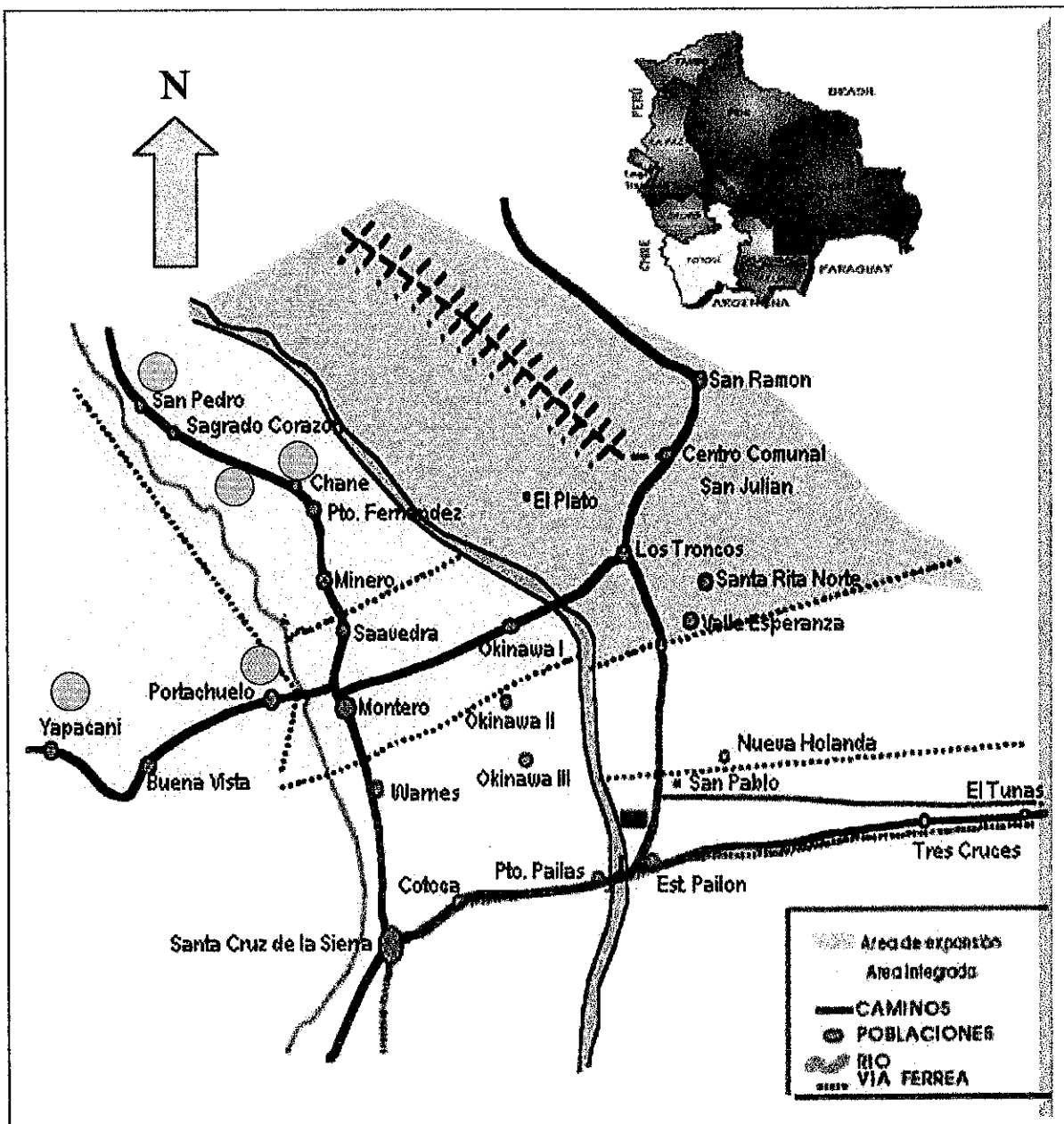
Ima : Imazetapir

But: Butroxdim

Clod: Clodinafop-propargil

LM : Limpieza manual

Bar : Barbecho



- Zona norte del Dpto. de Santa Cruz, Bolivia
- Sitios de recolección de los biotipos

Fig. 7. Mapa de la zona norte del Departamento de Santa Cruz Bolivia y ubicación de los sitios de recolección de las semillas de *Rottboellia cochinchinensis*. (Fuente: CAO, 2000).

Entre las principales características agroecológicas de la zona de donde se recolectaron las poblaciones de semillas destacan las siguientes: está ubicada a una altitud de 350 msnm, entre los paralelos 62° y 64° de Longitud Oeste y entre los 16° y 18° de Latitud Sur, con una precipitación media anual que oscila entre 1200 y 1400 mm, temperatura media anual de 25°C y suelos de origen aluvial, con una clasificación de fertilidad de Clase II, caracterizados por un contenido de materia orgánica superior al 3%, de textura predominante de franco a franco-arcillosa, profundos, con nivel de drenaje de bueno a intermedio y con una topografía predominante de plana (Proyecto fertisuelos, 1998).

4.2. Conducción de los bioanálisis

4.2.1. Lugar de establecimiento de los bioanálisis

Los bioanálisis se llevaron a cabo en el invernadero de malezas del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, localizado dentro del Municipio de Texcoco, Estado de México, que está situado a los 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2250 m, con una temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación media anual de 636 mm (García, 1988).

4.2.2. Suelo utilizado para el establecimiento de los bioanálisis

Se utilizó suelo del lote "San Ignacio", ubicado dentro del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, y destinado a la producción de agricultura orgánica desde hace seis años con la finalidad de evitar residuos de herbicidas que pudieran interferir con los resultados de los tratamientos. El suelo se desinfectó con bromuro de metilo.

4.2.3. Germinación de semillas, transplante y establecimiento

Con la finalidad de obtener germinación uniforme de esta especie, se procedió a la escarificación manual de las semillas, para posteriormente realizar una labor de pregerminación en laboratorio, colocando lotes de cajas petri debidamente identificadas, con 30 semillas sobre algodón húmedo, dentro de una estufa graduada a una temperatura de 27 °C por 72 horas, para posteriormente transplantar las plántulas emergidas en macetas de plástico de tres litros de capacidad. Se colocaron cinco plantas por maceta, distribuidas uniformemente, y se identificaron con el nombre de la población de la maleza y la fecha de transplante. Una vez establecidas las plántulas en las macetas, el suelo fue mantenido en la primer semana a capacidad de campo, mediante aplicaciones continuas de riego. Posterior a este tiempo se aplicaron riegos espaciados a intervalos de 3-4 días de acuerdo a las necesidades hídricas de las plantas.

4.2.4. Aplicación de los tratamientos

Los herbicidas se aplicaron cuando las plantas desarrollaron de 4-5 hojas verdaderas, aproximadamente a las 3 semanas posterior al transplante, utilizando un equipo experimental presurizado por CO₂ y calibrado para asperjar 185 L ha⁻¹, con una punta XR Teejet 11003, a una presión de 40 PSI. Los tratamientos siempre se aplicaron bajo condiciones de vientos calmos y temperatura de 23 °C.

4.3. Diseño experimental

Para cada uno de los bioanálisis realizados, se estableció un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental quedó constituida por una maceta conteniendo cinco plantas.

4.3.1. Tratamientos evaluados

Para la determinación de la posible resistencia de *R. cochinchinensis*, se llevaron a cabo cinco bioanálisis, distribuidos en tres etapas, durante los meses de julio a octubre de 2004, utilizando dosis crecientes de los herbicidas cuyas características son mostradas en los Cuadros 2, 3 y 4, incluyendo un tratamiento testigo (sin aplicación de herbicida), que fue considerado como el testigo absoluto.

4.3.1.1. Primera etapa de bioanálisis

Para la primera etapa de bioanálisis se utilizaron dos herbicidas del grupo AFP, fluazifop butilo y haloxifop metilo con el ámbito de dosis que se indica en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Herbicidas y dosis utilizadas en el primer y segundo bioanálisis, para la evaluación de resistencia de *R. cochinchinensis*. Chapingo, México 2003.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Formulación	Concentración (%)	Dosis	
				p.c. (L ha ⁻¹)	(g e.a. ha ⁻¹)
Galant 12 EC	Haloxifop-metil 2-4 (3-cloro-5-(trifluorometil)-2-pirimidil)oxi-fenoxi) propanoato	CE	12%	0.0	0.0
				0.048	6.0
				0.096	12.0
				0.192	24.0
				0.384	48.0
				0.768	96.0
				1.536	192.0
				3.072	384.0
Fusilade Biw	Fluazifop- p-butil butyl(R)2-(4-((S-trifluorometil)-2-piridinil)oxi)fenoxi) propanoato	CE	12.5%	0.0	0.0
				0.08	10.0
				0.16	20.0
				0.32	40.0
				0.64	80.0
				1.28	160.0
				2.56	320.0
				5.12	640.0

4.3.1.2. Segunda etapa de bioanálisis

Para la segunda etapa se utilizaron dos herbicidas del grupo CHD conforme lo indicado en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Herbicidas y dosis utilizadas en el tercer y cuarto bioanálisis para la evaluación de resistencia de *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Formulación	Concentración (%)	Dosis	
				p.c. (L ha ⁻¹)	(g i.a. ha ⁻¹)
Select ultra	Cletodim (E,E) (+,-)-2((3-cloro-2-propenil)(oxil)(imino)propil-5-(2)(etiltio)(propil)-3-3 hidroxil)-2-ciclohexeno-1-ona	C E	12.5 %	0.0	0.0
				0.076	9.6
				0.153	19.2
				0.307	38.4
				0.614	76.8
				1.228	153.6
				2.457	307.2
				4.915	614.4
Poast	Setoxidim (2-(1-(etoximino)butil)-5-(2-(etiltio)propil)-3-hidroxi-2-ciclohexen -1 -ona	C E	20 %	0.0	0.0
				0.09	18.0
				0.18	36.0
				0.36	72.0
				0.72	144.0
				1.44	288.0
				2.88	576.0
				5.76	1152.0

4.3.1.3. Tercera etapa de bioanálisis

Para la tercera etapa de bioanálisis se utilizó el herbicida imazetapir que pertenece al grupo de las imidazolinonas, en el ámbito de dosis desglosado en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Herbicidas y dosis del herbicida utilizado en el quinto bioanálisis para la evaluación de resistencia de *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Formulación	Concentración (%)	Dosis	
				p.c. (L ha ⁻¹)	(g i.a. ha ⁻¹)
Pivot 100	Imazetapir: (RS) – 5-etil-2-(4- isopropil-4-metil-5- oxo-2-imidazolin- 2-il) ácido nicotínico	SA	10.5 %	0.0	0.0
				0.095	10.0
				0.190	20.0
				0.380	40.0
				0.760	80.0
				1.523	160.0
				3.047	320.0
				6.095	640.0

4.3.2. Evaluaciones y variables respuesta

4.3.2.1. Porcentaje de daño visual

El daño provocado por los herbicidas se valoró visualmente en porcentaje a los 7 días después de la aplicación, donde el valor de 0% correspondió a las plantas que no presentaron síntoma alguno de fitotoxicidad y el valor de 100% a las plantas muertas.

4.3.2.2. Peso fresco y peso seco

El peso fresco se determinó en función a la respuesta de las plantas testigo a los herbicidas. Para el caso del fluazifop, haloxyfop y cletodim las plantas se cortaron a ras del suelo 14 días después de la aplicación del herbicida respectivo y se pesaron en una balanza digital (Ohaus, modelo NO. C305-5). Las plantas tratadas con setoxidim e imazetapir se cosecharon a los 10 y 21 después de la aplicación, respectivamente. El follaje cortado y pesado se colocó en bolsas de papel estraza debidamente identificadas que se introdujeron dentro una estufa (Riossa, modelo EC-41, serie ECML) a 65 °C por 48 horas, para luego determinar el peso seco.

4.3.3. Determinación de la tasa de reducción media del crecimiento e índice de resistencia

La tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) para cada biotipo en cada bioanálisis fue calculada con base en el peso fresco. Se usó el modelo no lineal de la relación dosis – respuesta propuesto por Streibig *et al.* (1993), Steven *et al.* (1995), Nielsen *et al.* (2001), Valverde *et al.* (2000) and Jensen *et al.* (2001), ampliamente detallados y descritos en el inciso 3.5.

4.4. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en cada bioanálisis se sometieron a un análisis de varianza, mediante el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System). La transformación angular se aplicó a los valores de porcentaje de daño antes de realizar el análisis de varianza.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Bioanálisis con el fluazifop-p-butilo

5.1.1. Porcentaje de daño visual

El daño causado por fluazifop a las plantas de *R. cochinchinensis*, independientemente de su procedencia geográfica, estimado mediante evaluación visual a los siete días después de la aplicación (DDA), como se esperaba, dependió de la dosis aplicada ($p = 0.05$).

La población de referencia (San José) y la denominada como Aguaí tuvieron una respuesta similar al herbicida dentro del ámbito de dosis aplicadas, resultando estas dos poblaciones con los mayores niveles de daño dentro de este periodo. Las poblaciones San Pedro y Yapacaní fueron menos dañadas por el fluazifop, mientras que la población Chané presentó niveles intermedios de daño (Fig. 8).

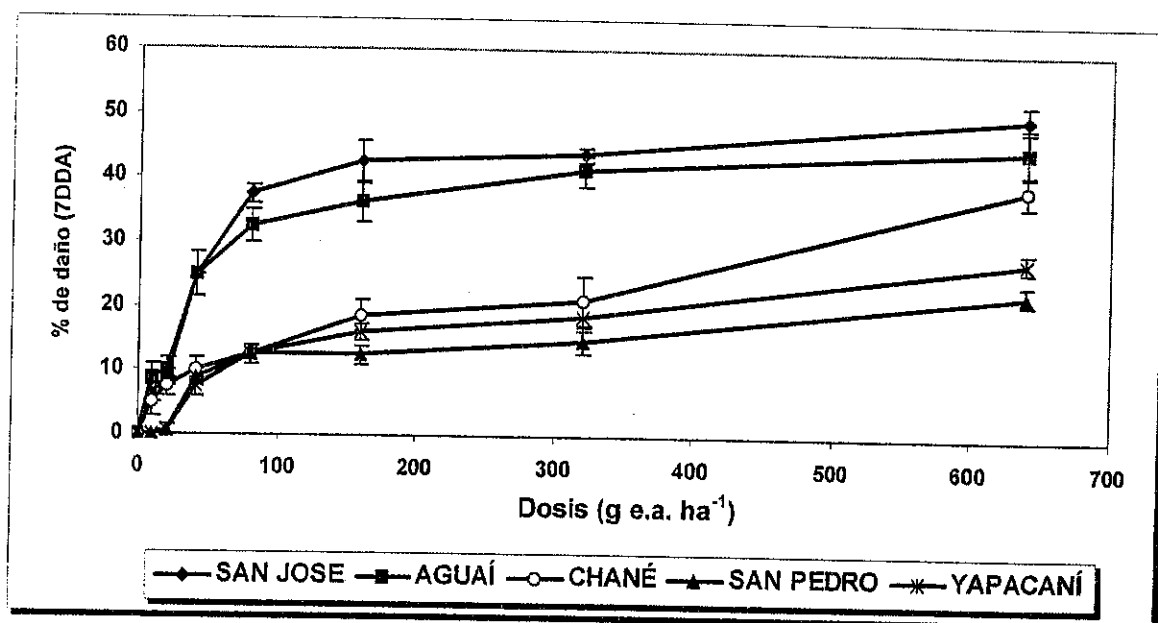


Figura 8. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de fluazifop-p-butilo a *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

El daño observado dentro de los primeros siete días después de las aplicaciones, no superó el 50%, lo cual lleva a considerar la necesidad de ampliar el tiempo de evaluación visual para obtener una mejor respuesta diferencial entre las poblaciones en estudio, ya que bajo condiciones de campo, la muerte total de la planta a dosis comerciales ocurre entre los 12 y 14 días. Sin embargo, es importante recalcar que la evaluación temprana de síntomas de toxicidad permitió diferenciar las poblaciones resistentes de las susceptibles y observar claramente la relación entre fitotoxicidad y las dosis crecientes del herbicida.

5.1.2. Peso fresco y peso seco del follaje

La reducción del peso fresco causada por el fluazifop butilo a los 14 DDA fue menor en las poblaciones San Pedro y Yapacaní que en las restantes (Fig. 9), lo cual coincide con el desarrollo de síntomas de toxicidad evaluados visualmente a los 7 DDA (Fig. 8). Como era de esperarse, los pesos fresco y seco, están altamente correlacionados ($R = 0.96$), según se aprecia en la Fig. 10. Por tal motivo, para la comparación de la respuesta de las poblaciones al fluazifop, los índices de resistencia fueron calculados con base en el peso fresco.

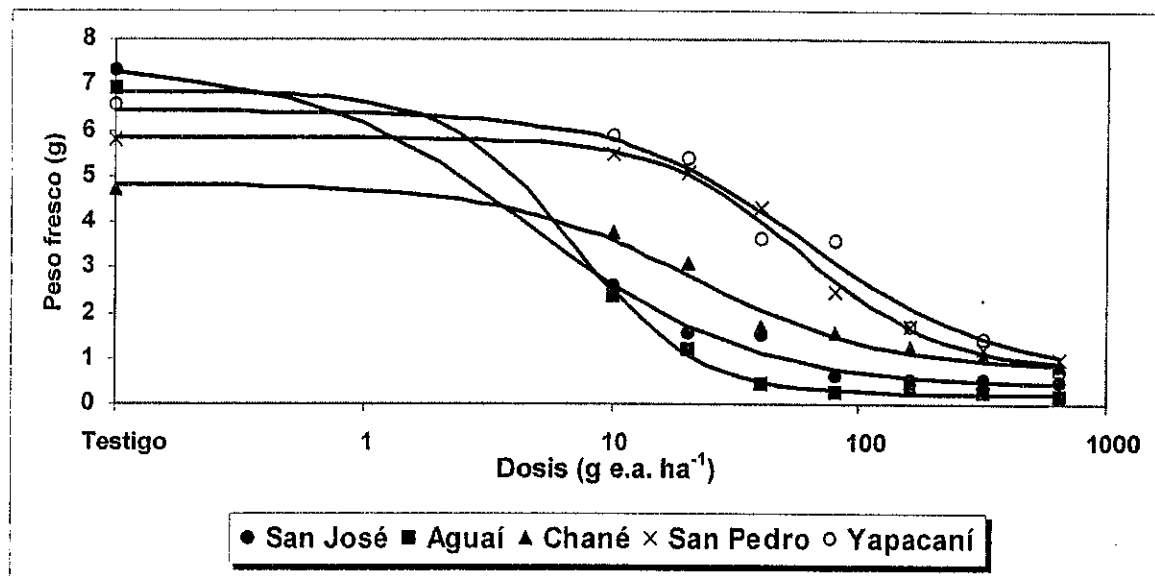


Figura 9. Efecto del fluazifop-p-butilo sobre el peso fresco de plantas de *R. cochinchinensis* 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003

Este tipo de respuesta diferencial a las dosis crecientes de fluazifop es un indicador de que las poblaciones San Pedro y Yapacaní evolucionaron resistencia a este herbicida, mientras que las poblaciones Aguaí y San José se comportaron como susceptibles. La población Chané aparentemente tiene una respuesta intermedia (Fig. 11).

La valoración comparativa de la disminución de peso fresco debe de considerar la respuesta de las plantas a través de todo el ámbito de dosis, tomando en cuenta el tamaño alcanzado por las plantas testigo (sin tratar), lo cual se logra con el calculo de la RC_{50} , el cual es uno de los parámetros del modelo de regresión. Así, el análisis apropiado para verificar la resistencia de poblaciones de malezas a herbicidas requiere el cálculo del valor de RC_{50} y los correspondientes índices de resistencia.

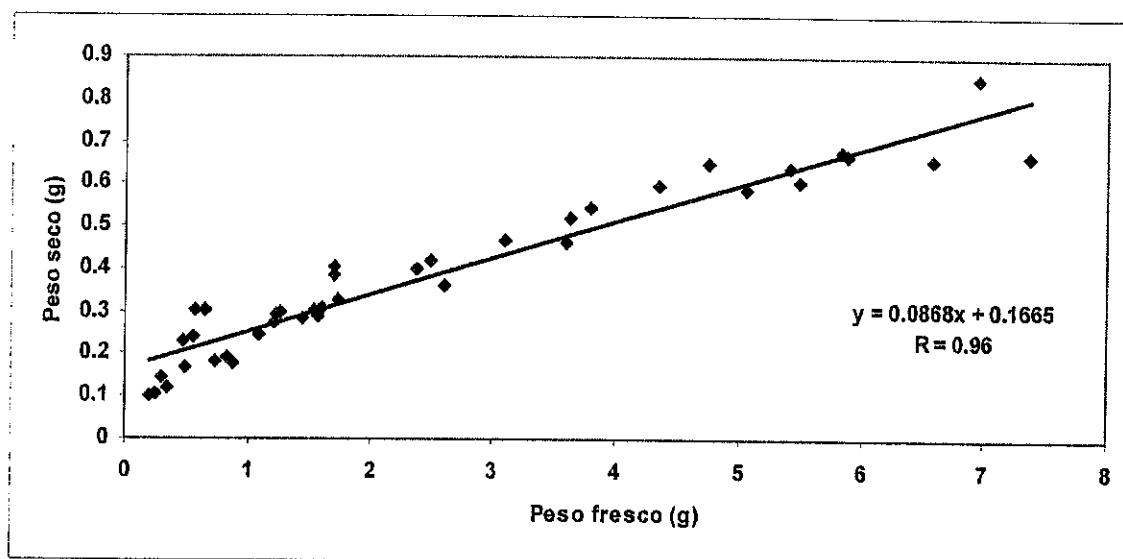


Figura 10. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003.

5.1.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)

El análisis de varianza para los datos obtenidos de cada población y en cada uno de los tratamientos muestran que el modelo empleado describe adecuadamente el comportamiento de los datos con un nivel de confiabilidad de 95%, ya que los valores de $Pr > F$ fueron de 0.0001, para todas las poblaciones (Anexo 31).

En el Cuadro 7 se muestran los valores de los parámetros de la ecuación de regresión que describe la reducción de peso fresco de las plantas tratadas con fluazifop-p-butilo (Streibig *et al.* 1993). Los valores de RC_{50} variaron entre 4.8 y 62.0 g e.a. ha^{-1} (Figs. 9 y 11). Los índices de resistencia se calcularon referidos al valor de RC_{50} de la población San José. Con base en dichos valores, se confirma que las poblaciones San Pedro y Yapacani son altamente resistentes al fluazifop-p-butilo, en tanto que la población Chané mostró resistencia intermedia al herbicida (Fig.12). La población de Aguaí (susceptible) no difiere de la de San José puesto que los intervalos de confianza de sus respectivas RC_{50} se traslapan.

Cuadro 7. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al fluazifop-p-butilo. Chapingo, México. 2003.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
San José	7.29	0.42	1.03	4.80	1.82	7.78	1.00
Aguaí	6.83	0.22	1.77	6.84	4.73	8.94	1.42
Chané	4.82	0.75	1.13	20.72	8.97	32.47	4.31
San Pedro	5.83	0.81	1.57	57.34	41.32	73.35	11.94
Yapacani	6.42	0.65	1.14	62.05	28.42	65.69	12.92

* : Al 95% de probabilidad estadística para el parámetro de RC_{50}

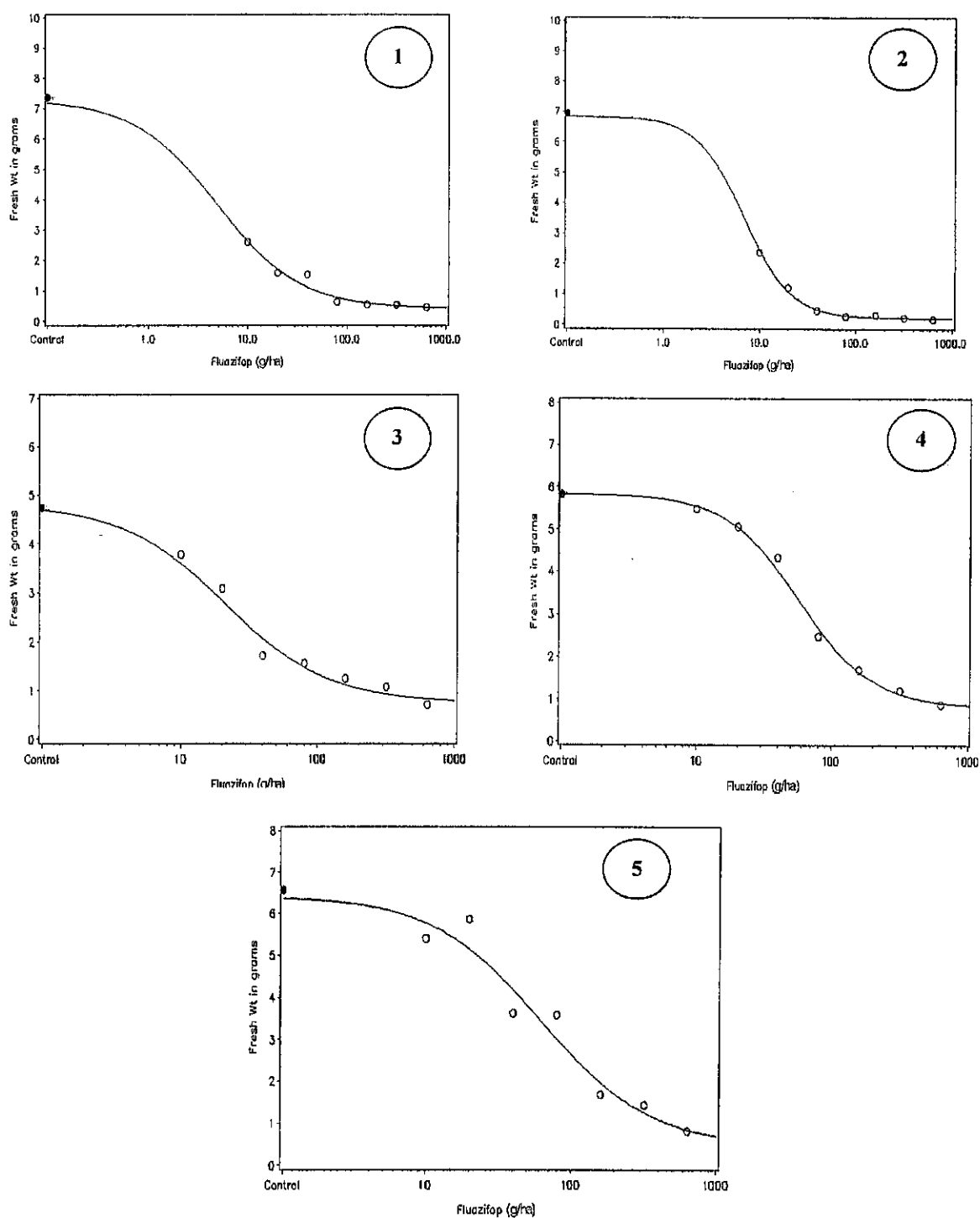


Fig. 11. Curvas de regresión para las poblaciones de *R. cochinchinensis* de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de fluzifop-p-butilo. Chapingo, México. 2003.

En las poblaciones San Pedro y Yapacaní que presentaron los valores más altos de IR's, el historial agronómico muestra que provienen de campos bajo el sistema de monocultivo de soya, con el uso intensivo principalmente de fluazifop, y en menor proporción de haloxifop, cletodim y butroxdim, todos ellos, herbicidas inhibidores de ACCasa, por lo que se sometieron a una intensa presión de selección por herbicidas del mismo grupo químico y bajo un mismo cultivo.

La población Chané, que presentó resistencia intermedia al fluazifop-p-butilo, también estuvo sujeta a una intensa presión de selección en años recientes, especialmente por el herbicida haloxifop-metilo dentro del cultivo de soya; sin embargo, la resistencia exhibida no fue proporcional a la mostrada por las poblaciones San Pedro y Yapacaní, por lo que no se descarta que estas dos ultimas poblaciones hayan estado sometidas con anterioridad a un sistema de manejo similar y en consecuencia de presión de selección, puesto que son campos de explotación mas antiguos que la población Chané.

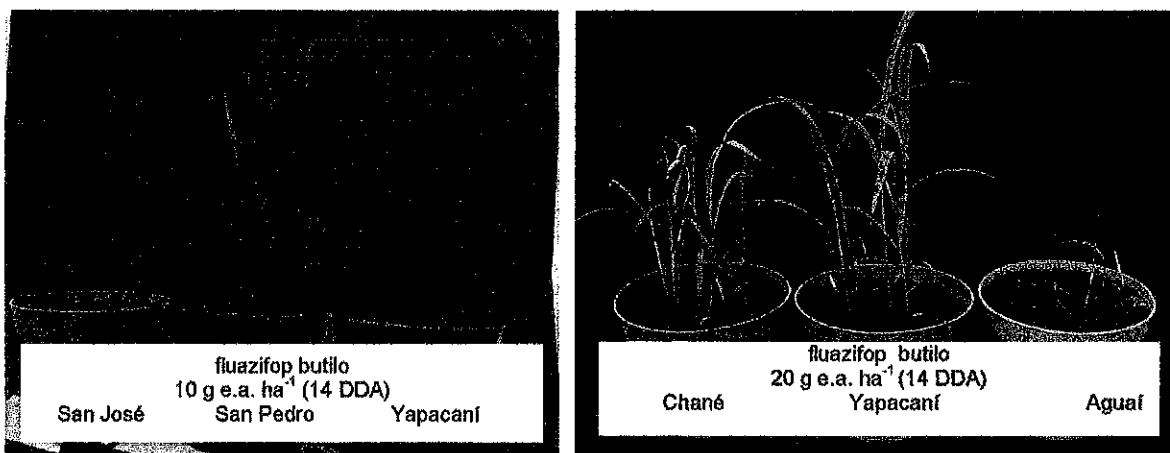


Fig. 12. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003.

Powles *et al.* (1997), Powles (1997), y Valverde *et al.* (2000), señalan que el principal factor involucrado en la aparición de malezas resistentes es la presión de selección impuesta por el uso continuo de uno o más herbicidas con similar mecanismo de acción, así como la ausencia de prácticas de rotación de cultivos.

De ahí que la población Aguaí, al haberse incluido el nicosulfuron (inhibidor de ALS) en el cultivo de maíz, en rotación con el cultivo de soya donde se utilizó el cletodim (inhibidor de ACCasa), se logró disminuir la presión de selección por la inclusión de un herbicida con diferente mecanismo de acción, permitiendo que esta población mantuviera niveles de susceptibilidad similares a los de la población testigo (San José), que en los últimos cuatro años no recibió tratamiento alguno con herbicida.

Para lograr entender el proceso de selección de poblaciones resistentes y proponer pautas de prevención y manejo, es importante relacionar la respuesta de las poblaciones a dosis crecientes del herbicida con las condiciones de campo en que tales poblaciones han sido expuestas a dicho producto. En este contexto las poblaciones susceptibles a fluazifop-p-butilo, tanto la designada como de referencia como la procedente de Aguaí en los últimos cuatro años estuvieron sujetas a un mínimo de presión de selección por herbicidas inhibidores de la ACCasa. La población de Aguaí proviene de campos de maíz en rotación con soya donde se han empleado herbicidas con un modo de acción alternativo como lo es el nicosulfuron, un inhibidor de la enzima ALS.

5.2. Bioanálisis con el haloxifop-metilo

5.2.1. Porcentaje de daño visual

De manera similar con la respuesta de las poblaciones al fluazifop, tanto la designada como San José (testigo) como Aguaí fueron susceptibles al haloxifop, de acuerdo con la evaluación visual de daño a los 7 DDA (Fig. 13).

La fitotoxicidad del haloxifop en las poblaciones San Pedro y Yapacaní fue comparativamente muy baja y en el caso de Chane, intermedia. Sin embargo, cuando las dosis del herbicida son muy elevadas, se pierde la respuesta diferencial entre poblaciones. Cuando se aplicó 192 g e.a. ha⁻¹ y, especialmente,

284 g e.a. ha⁻¹ todas las poblaciones respondieron de manera similar, con niveles de daño que alcanzaron hasta 86% para la dosis más alta, mostrando síntomas caracterizados por necrosamiento y desecamiento del área foliar.

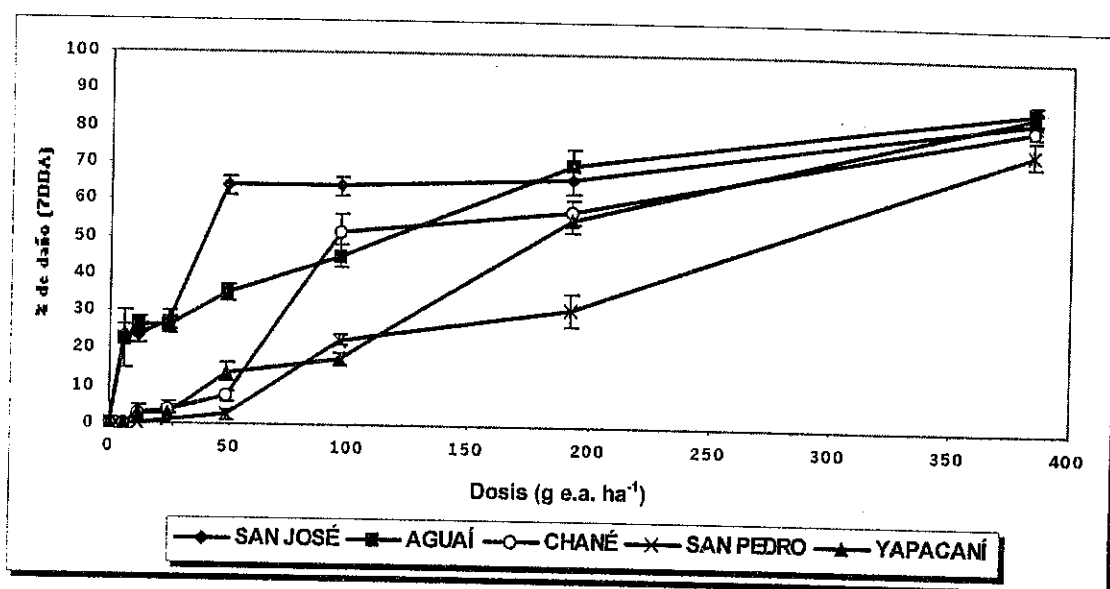


Figura 13. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de haloxifop-metilo a *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

Estas observaciones demuestran la importancia de evaluar la respuesta de las poblaciones a un ámbito de dosis adecuado. Si la comparación entre poblaciones se hubiera realizado solo con dosis elevadas (como lo sería la dosis comercial) podría haberse concluido erróneamente que no existe resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa.

La evaluación visual realizada a los siete días mostró diferencias importantes en la respuesta de las poblaciones al ámbito de dosis empleado, lográndose diferenciar en este tiempo a las poblaciones resistentes de las poblaciones susceptibles.

5.2.2. Peso fresco y peso seco del follaje

La reducción del peso fresco y peso seco causada por el haloxifop a los 14 DDA fue marcadamente menor en las poblaciones San Pedro y Yapacaní que en las restantes (Fig. 14), lo cual coincide con el desarrollo de síntomas de toxicidad evaluados visualmente a los 7 DDA (Fig. 13). Al igual que en el caso del fluazifop, hubo una alta correlación entre los pesos fresco y seco, ($R = 0.98$), según se aprecia en la Fig. 15, por lo que las curvas de respuesta y los índices de resistencia a haloxifop fueron calculados con base en el peso fresco.

La respuesta diferencial observada entre las poblaciones en estudio, con base en la respuesta a dosis crecientes de haloxifop, permite establecer claramente que las poblaciones San José (testigo) y Aguaí son susceptibles, puesto que aun la dosis mas baja reduce considerablemente el peso fresco y seco.

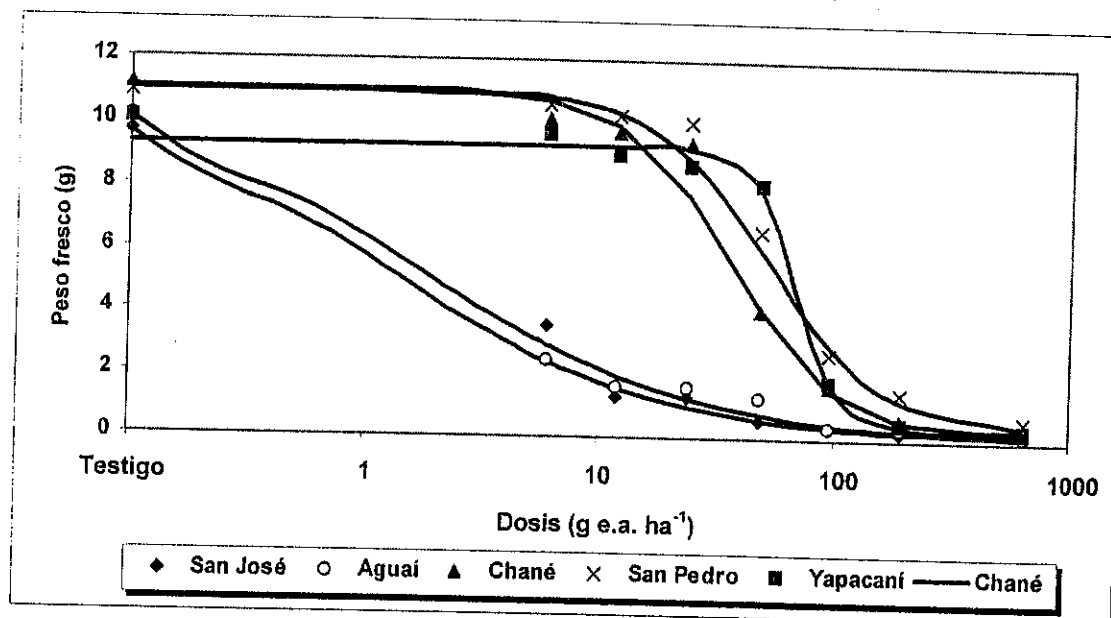


Figura 14. Efecto del haloxifop-metilo sobre el peso fresco de plantas de *R. cochinchinensis* 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003

La diferencia de respuesta observada entre las poblaciones fueron mas notorias que la obtenida con fluazifop butilo, puesto que claramente se destacan los grupos de poblaciones susceptibles y resistentes.

Estas diferencias observadas son analizadas y discutidas con base en los parámetros del modelo de regresión, que permite establecer una comparación fidedigna de las tasas de reducción media del crecimiento y los índices de resistencia.

También puede notarse que el ámbito de dosis de haloxifop empleado permite una mejor descripción de la respuesta a dosis inferiores del herbicida comparado con el fluazifop en cuyo caso habría sido provechoso incluir al menos una dosis más en el ámbito inferior.

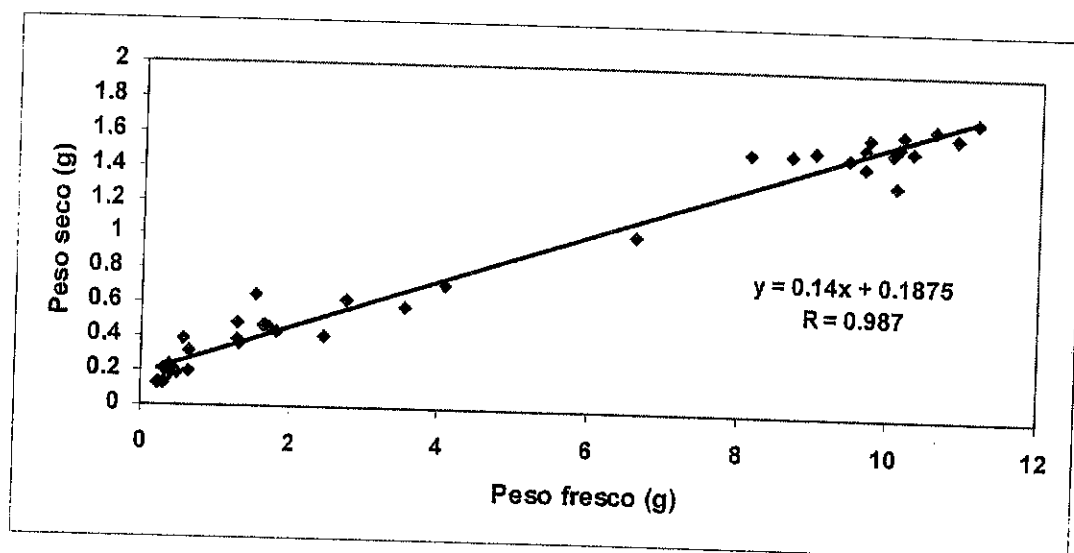


Figura 15. Regresión y correlación entre el peso fresco y peso seco del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003.

5.2.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)

El análisis de varianza convencional de las variables estudiadas se incluye en el anexo 32. En el Cuadro 8 se muestran los valores de los parámetros de la ecuación de regresión que describe la reducción de peso fresco de cada una de las poblaciones de *R. cochinchinensis* tratadas con haloxifop metilo (Streibig *et al.* 1993). Los valores de RC_{50} variaron entre 1.5 y 68.3 g e.a. ha^{-1} .

Los índices de resistencia calculados (RC_{50}) de la población San José sirvieron de base para confirmar que las poblaciones San Pedro y Yapacaní fueron altamente resistentes al haloxifop metilo, en tanto que la población Chané mostró resistencia intermedia al herbicida. La población de Aguaí (susceptible) no difiere de la de San José (testigo), ya que sus intervalos de confianza de RC_{50} se traslapan.

Cuadro 8. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
San José	9.62	0.14	0.86	1.54	0.56	2.52	1.00
Aguaí	10.07	--	0.73	1.93 [†]	0.28	3.58	1.25
Chané	10.95	0.21	2.02	36.52	24.07	48.96	23.71
San Pedro	11.42	--	1.81	51.46 [†]	36.83	66.10	33.41
Yapacaní	9.30	0.38	4.81	68.35	60.36	76.34	44.38

* : Al 95% de probabilidad estadística y para el parámetro de RC_{50}

† : Valor de RC_{50} obtenido sin el parámetro C, por presentar valores negativos.

Los datos obtenidos a través del modelo estadístico fueron consistentes con las evaluaciones realizadas del porcentaje de daño visual, peso fresco y seco,

corroborándose la resistencia a inhibidores de ACCasa en tres de las cinco poblaciones estudiadas: Chané, San Pedro y Yapacaní (Figs. 16 y 17).

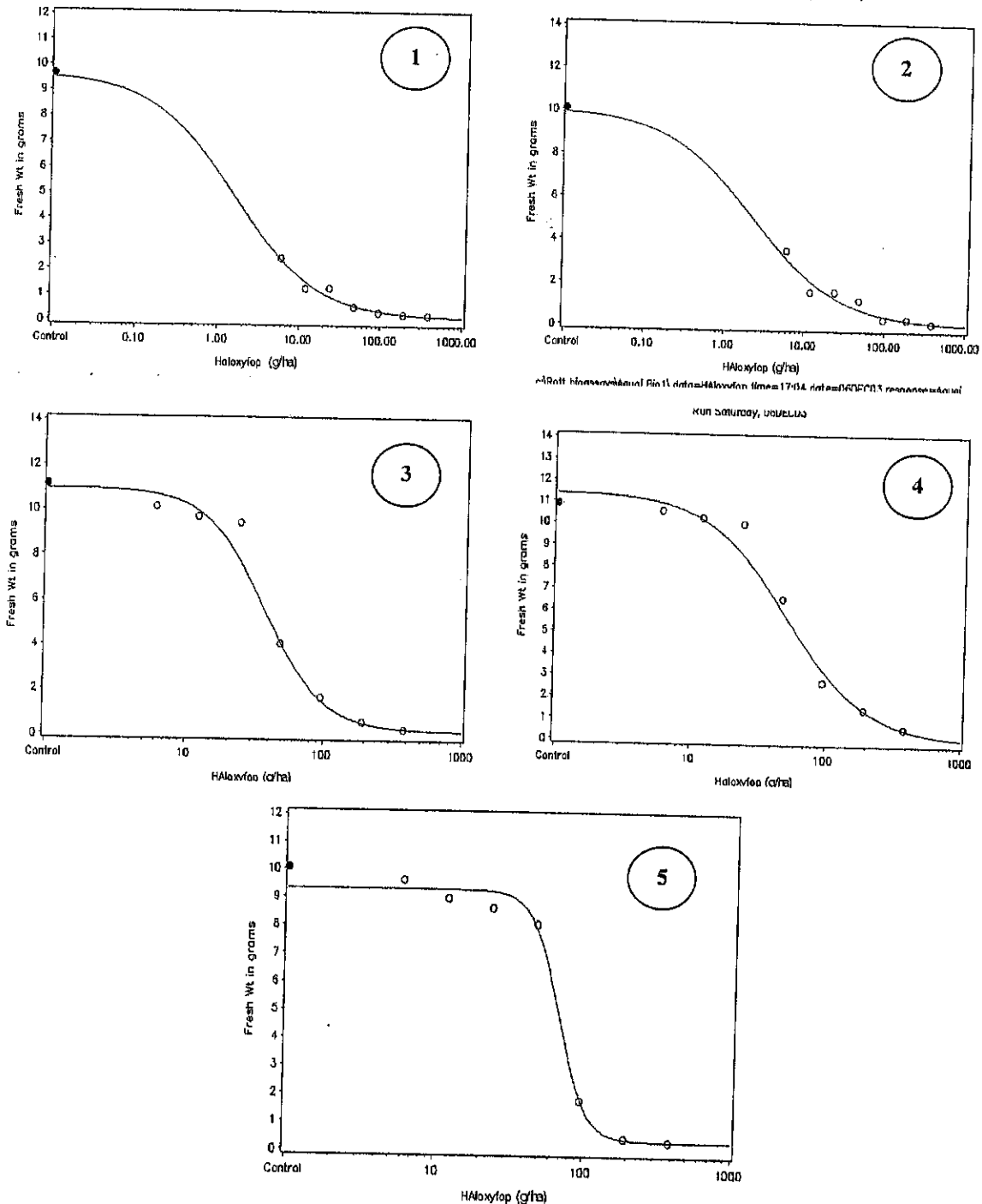


Fig. 16. Curvas de regresión para las poblaciones de *R. cochinchinensis* de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de haloxifop-metilo. Chapingo, México. 2003.

En las poblaciones San Pedro y Yapacaní que presentaron los valores más altos de IR's (33 y 44 respectivamente). El historial de campo reflejó que provienen de sitios en los cuales se empleó de manera intensiva el haloxifop dentro de los cultivos sucesivos de soya, además de los herbicidas fluazifop, cletodim y butroxidim, pero en mucha menor proporción.

Así, estas poblaciones estuvieron sometidas a una intensa presión de selección por herbicidas del mismo grupo químico sobresaliendo de entre todos precisamente el haloxifop cuyos valores de RC_{50} dentro del grupo de las poblaciones resistentes son superiores a los obtenidos en los bioanálisis de fluazifop.

Estos resultados confirman que mientras mayor sea el uso de herbicidas con modo o sitio de acción similar, mayor será la probabilidad de seleccionar malezas resistentes, lo cual queda manifestado en la población Aguaí que de acuerdo con el historial de campo estuvo bajo la presión del herbicida cletodim en el cultivo de soya, pero la inclusión de la práctica de la rotación con el cultivo del maíz, en el cual se empleó nicosulfurón del grupo químico Sulfonilurea, cuyo mecanismo de acción se basa en la inhibición de la enzima ALS, permitió prevenir la evolución de resistencia (Figura 17).

Lo señalado anteriormente confirma la importancia de la práctica de la rotación de herbicidas de diferente mecanismo de acción y la rotación de cultivos (Powles 1997) como medida para retardar la aparición de poblaciones de malezas resistentes.

El uso continuo de los herbicidas del grupo ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas incrementan año tras año los niveles de resistencia de las malezas tratadas, tal como ocurrió en poblaciones de *Alopecurus myosuroides* (Orson y Harris 1997).

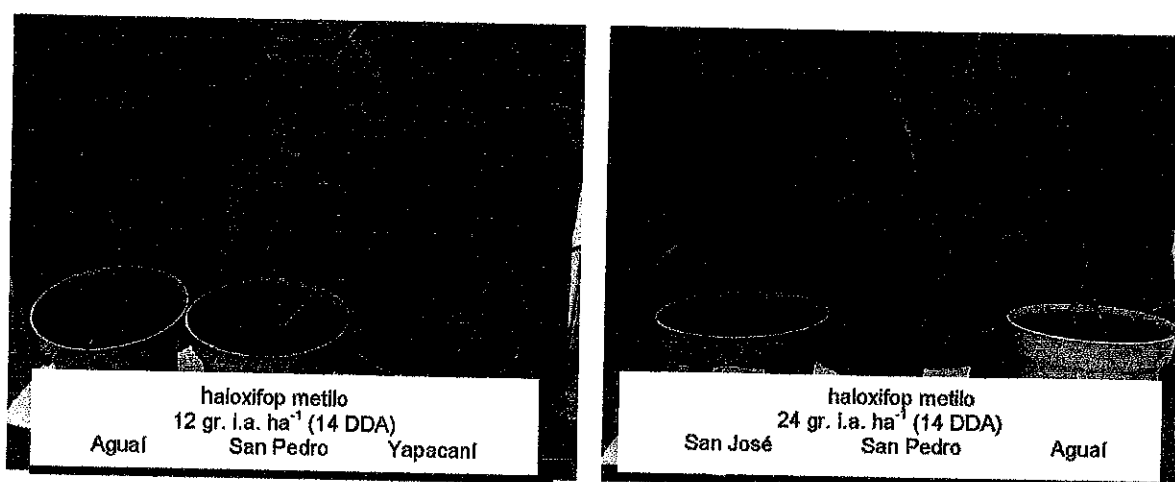


Fig. 17. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003.

5.3. Bioanálisis con el setoxidim

5.3.1. Porcentaje de daño visual

La población de referencia (San José) y Aguaf, susceptibles a los dos herbicidas ariloxifenoxipropanoicos, también fueron susceptibles a la ciclohexanodiona setoxidim, con base en el desarrollo de síntomas de toxicidad a los siete DDA. (Fig. 18).

Dentro del ámbito de dosis aplicado, la población de San Pedro presentó el menor daño mientras que las poblaciones Chané y Yapacaní presentaron niveles intermedios de resistencia al setoxidim.

Cabe señalar que los niveles de daño observados con respecto a anteriores evaluaciones (fluazifop y haloxifop), fueron marcadamente mayores y permitieron diferenciar más fácilmente a los grupos de poblaciones resistentes y susceptibles en el corto período de evaluación.

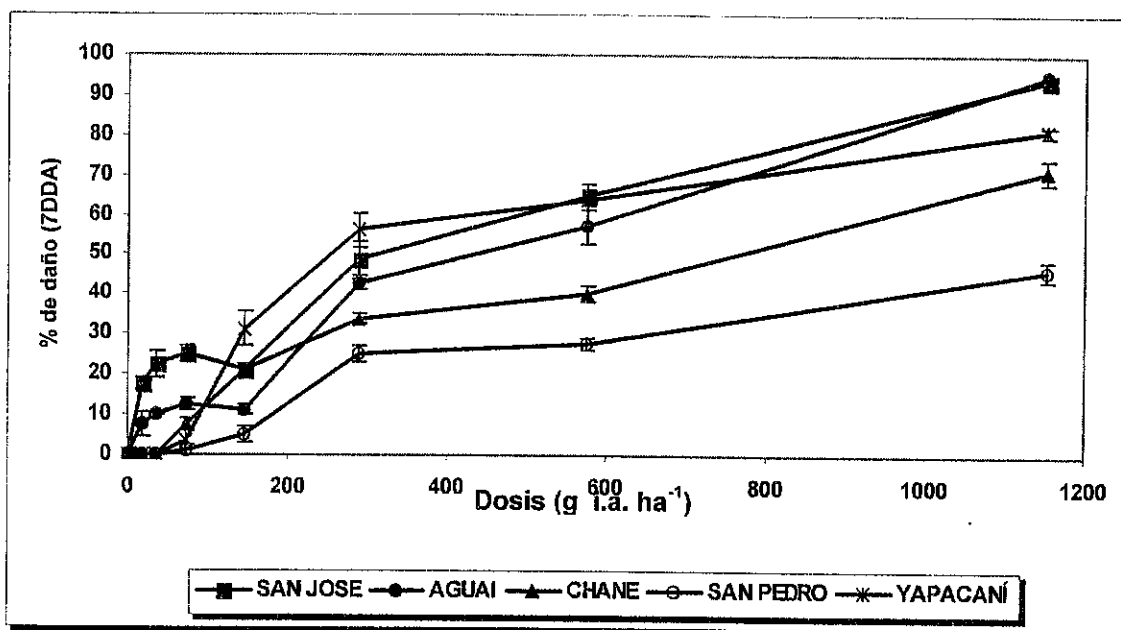


Figura 18. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de setoxidim a *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

5.3.2. Peso fresco y peso seco del follaje

Debido al rápido efecto del setoxidim sobre las plantas testigo, la evaluación del peso fresco fue realizada a los 10 DDA, observándose que la reducción del peso fresco y seco fue menor en las poblaciones San Pedro y Yapacaní que en las restantes (Fig. 19), lo que coincide con las observaciones a los 7 DDA (Fig. 18).

Los pesos fresco y seco, estuvieron altamente correlacionados ($R = 0.96$), según se aprecia en la Fig. 20. Para la comparación de las curvas de respuesta de las poblaciones al setoxidim, los índices de resistencia fueron calculados con base en el peso fresco.

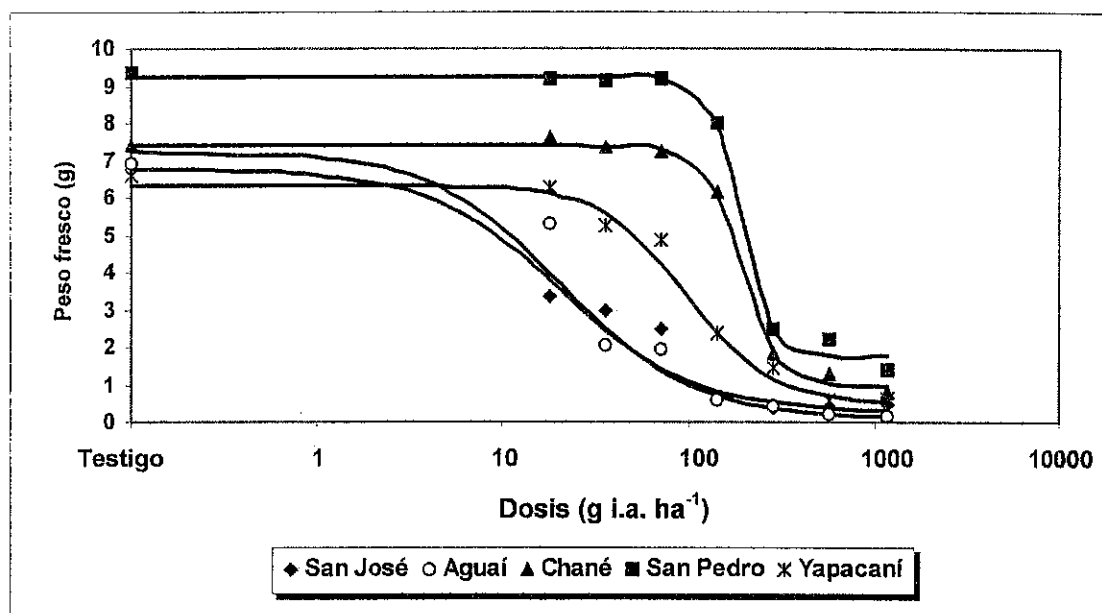


Figura 19. Efecto del setoxidim sobre el peso fresco de plantas de *R. cochinchinensis* 14 DDA. Chapingo, México, 2003

El patrón de desarrollo de síntomas de toxicidad y el análisis de las curvas de respuesta en peso fresco y seco a dosis crecientes de setoxidim permiten concluir que las poblaciones resistentes a herbicidas ariloxifenoxipropionatos han desarrollado resistencia cruzada a setoxidim.

La población Chané que presentó en los bioanálisis del fluazifop y haloxifop niveles de resistencia intermedia, detrás de las poblaciones San Pedro y Yapacaní, tuvo un comportamiento diferente en este bioanálisis, y por ello se catalogó como altamente resistente a setoxidim junto con la población de San Pedro. Por su parte, Yapacaní presentó resistencia intermedia.

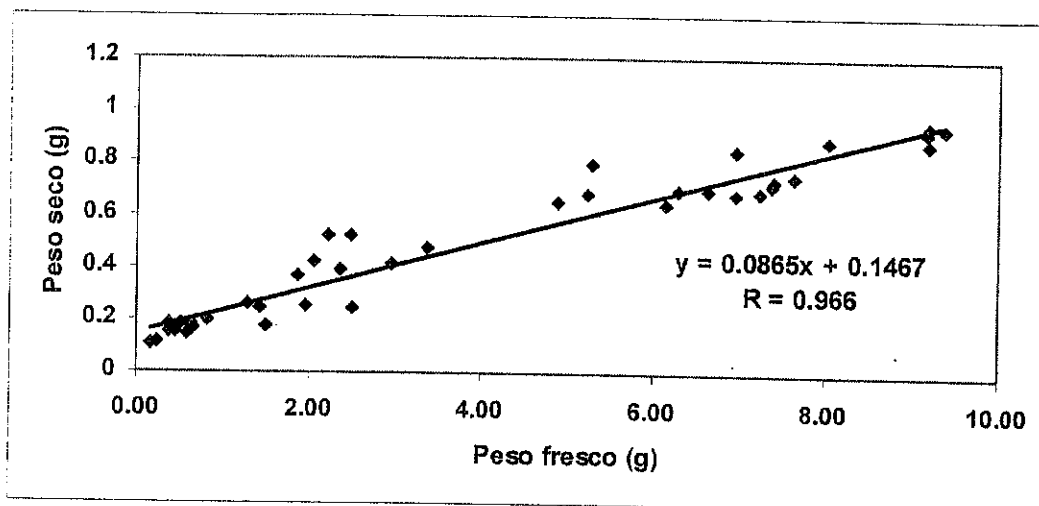


Figura 20. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al setoxidim. Chapingo, México. 2003.

De acuerdo con el historial de campo de las poblaciones en estudio, el setoxidim no fue utilizado en los campos de producción, por lo que este herbicida no llegó a ejercer presión de selección sobre las poblaciones que se documentaron como resistentes.

5.3.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)

En el Anexo 33 se muestra el análisis de varianza para los datos obtenidos de cada población. Los valores de RC_{50} de la población testigo (San José) y la de Aguaí fueron idénticos y sustancialmente inferiores a los de las poblaciones Chané, San Pedro, y en menor proporción, Yapacaní (Cuadro 9, Fig. 21).

Los resultados obtenidos indicaron que las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní, desarrollaron resistencia cruzada al setoxidim, al haberse detectado la resistencia de estas mismas poblaciones en los bioanálisis de fluazifop butilo y haloxifop metilo del grupo químico ariloxifenoxipropionato, y cabe añadir que de

acuerdo al historial de campo ninguna de las poblaciones en estudio estuvieron sujetas a aplicaciones de setoxidim. Si bien este último herbicida pertenece al grupo de las ciclohexanodionas, su mecanismo de acción también es la inhibición de la enzima ACCasa.

Cuadro 9. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al setoxidim. Chapingo, México. 2003.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
San José	6.74	0.30	1.24	20.49	9.30	31.68	1.00
Aguai	7.23	0.11	1.24	20.34	3.34	37.33	1.00
Chané	7.38	0.97	4.53	193.0	165.2	220.9	9.41
San Pedro	9.22	1.77	5.45	190.9	160.3	221.6	9.31
Yapacaní	6.31	0.50	1.91	96.89	43.61	150.2	4.72

* : Al 95% de probabilidad estadística y para el parámetro de RC_{50}

Con base en los IR's, Chané y San Pedro son nueve veces más resistentes al setoxidim que la población de referencia y la susceptible de Aguaí. Yapacaní presentó un índice de resistencia de 4.7 (Figs. 21 y 22).

Cortez *et al.* (2001) encontraron poblaciones de *Brachiaria plantaginea* resistentes al setoxidim, en campos de cultivo de soya expuestos intensamente a herbicidas inhibidores de ACCasa. Aguanta (2000) documentó la resistencia cruzada de *Sorghum sudanense* a diferentes herbicidas de los grupos ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas.

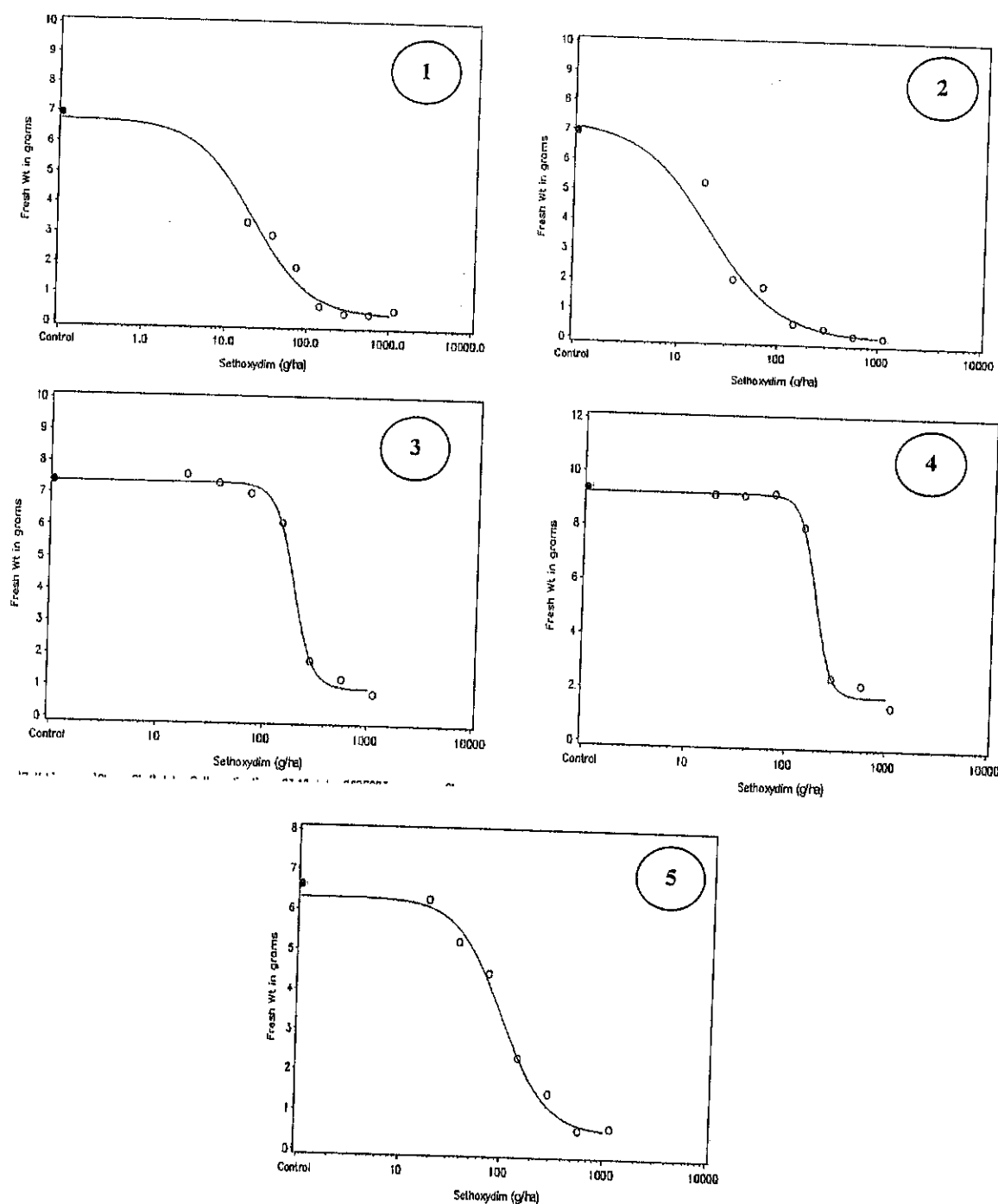


Fig. 21. Curvas de regresión para las poblaciones de *R. cochinchinensis* de San José (1), Aguaí (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de setoxidim. Chapingo, México. 2003.

La resistencia a los herbicidas inhibidores de ACCasa, en la mayoría de los biotipos de gramíneas estudiados se atribuye a la reducción de la sensibilidad de la ACCasa, enzima sobre la que actúan estos herbicidas (Devine, 1997). Los patrones de resistencia cruzada son variables entre los biotipos de una misma especie, como ocurrió en *Setaria viridis*, que presentó altos niveles de resistencia al setoxidim, con resistencia cruzada en menor proporción al fenoxaprop y diclofop. Tales diferencias en los patrones de resistencia posiblemente están relacionadas con el tipo de mutación en la ACCasa que confiere resistencia a estos herbicidas.

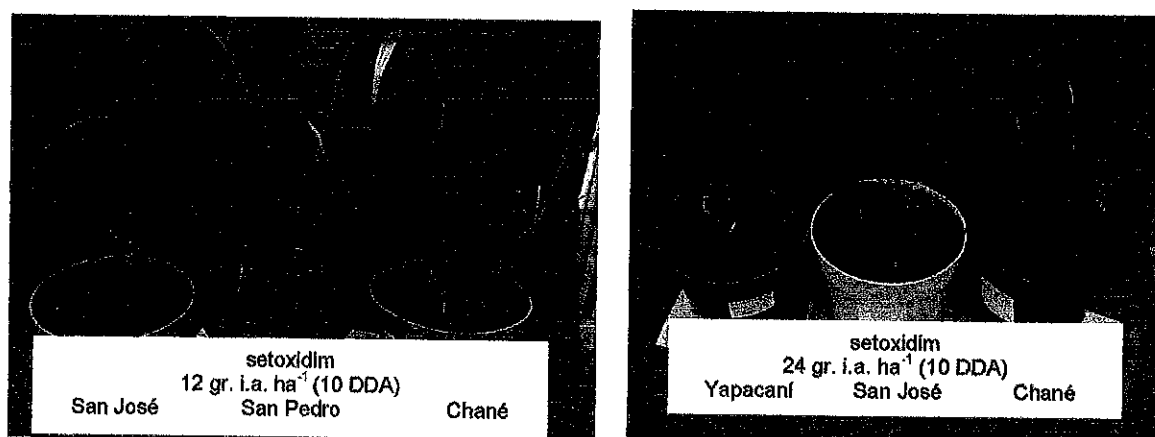


Fig. 22. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al setoxidim. Chapingo, México. 2003.

Valverde (1995) reportó de igual manera poblaciones de *Echinochloa colona* resistentes al fenoxaprop, con resistencia cruzada al fluazifop butilo, quizalofop, setoxidim y cicloxidim, demostrando de este modo que estas poblaciones habían estado expuestas en los últimos cinco años al menos una vez por año, al fenoxaprop, lo que condujo a esta maleza al desarrollo de resistencia cruzada.

Aguanta (2000) encontró biotipos bolivianos de *Sorghum sudanense* con altos niveles de resistencia precisamente en la misma zona en la que se recolectaron las poblaciones de *R. cochinchinensis* incluidas en el presente estudio, lo que

demuestra que el sistema de manejo de cultivos y herbicidas empleado en esta región propicia la aparición de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas.

5.4. Bioanálisis con el cletodim

5.4.1. Porcentaje de daño visual

El daño causado por el cletodim sobre las poblaciones de *R. cochinchinensis*, estimado mediante evaluación visual a los siete DDA dependió de la dosis aplicada ($p = 0.05$), observándose de manera consecuente con anteriores bioanálisis, similitudes en susceptibilidad entre las poblaciones de San José y Aguai (Fig. 23).

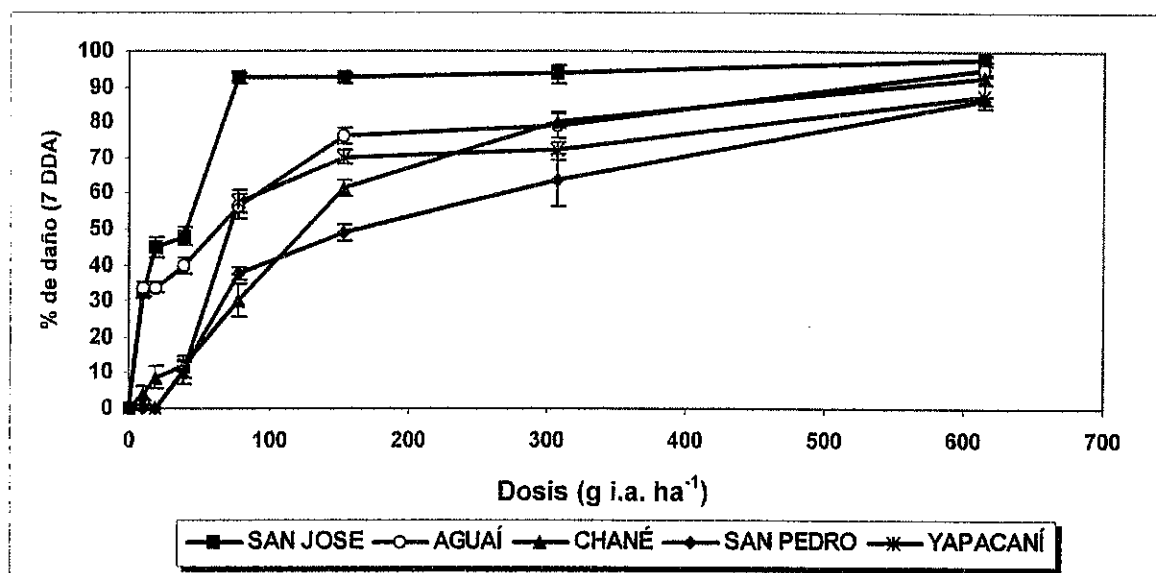


Figura 23. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de cletodim a *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

Nuevamente las poblaciones San Pedro, Yapacaní y Chané, presentaron niveles de daño menores que los observados en las poblaciones susceptibles, lo cual indicó que también evolucionaron resistencia cruzada al cletodim. En estas últimas poblaciones se observó daño severo solo a las dosis mayores.

5.4.2. Peso fresco y peso seco del follaje

La reducción del peso fresco y en consecuencia del peso seco, causada por el cletodim a los 14 DDA fue mucho menor en las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní que en las susceptibles a herbicidas inhibidores de la ACCasa (Figs. 24 y 26), lo cual coincide con el desarrollo de síntomas de toxicidad evaluados visualmente a los 7 DDA (Fig. 23). Como en los casos anteriores, en virtud de la alta correlación ($R = 0.98$) entre peso fresco y seco, los índices de resistencia se calcularon con base en el peso fresco (Fig. 25).

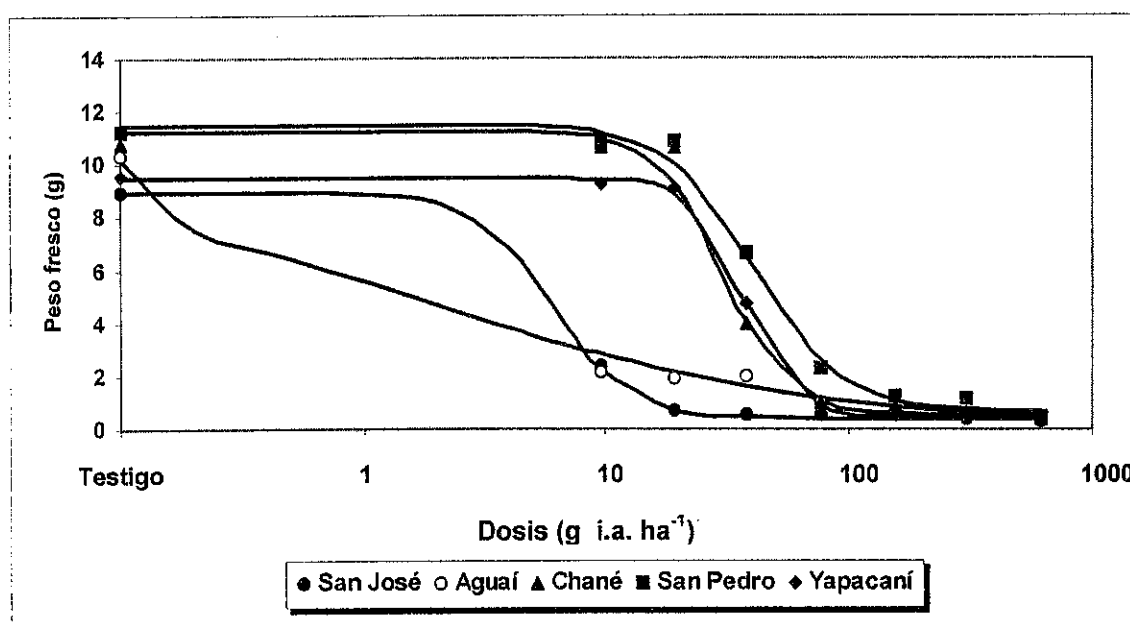


Figura 24. Efecto del cletodim sobre el peso fresco de plantas de *R. cochinchinensis* 14 DDA. Chapingo, Mexico, 2003

Al igual que en el bioanálisis efectuado con el otro herbicida ciclohexanodiona (setoxidim), la población Chané sufrió un nivel de daño muy bajo. Esta población estuvo sujeta a presión de selección por cletodim, herbicida que no se empleó en las otras localidades donde se recolectó semilla.

Nuevamente debe destacarse, la importancia de la rotación de herbicidas que queda de manifiesto en la población Aguaí, puesto que la incorporación del nicosulfurón dentro de la rotación del cultivo de maíz con el cultivo de soya, permitió mantener los niveles de susceptibilidad de esta población.

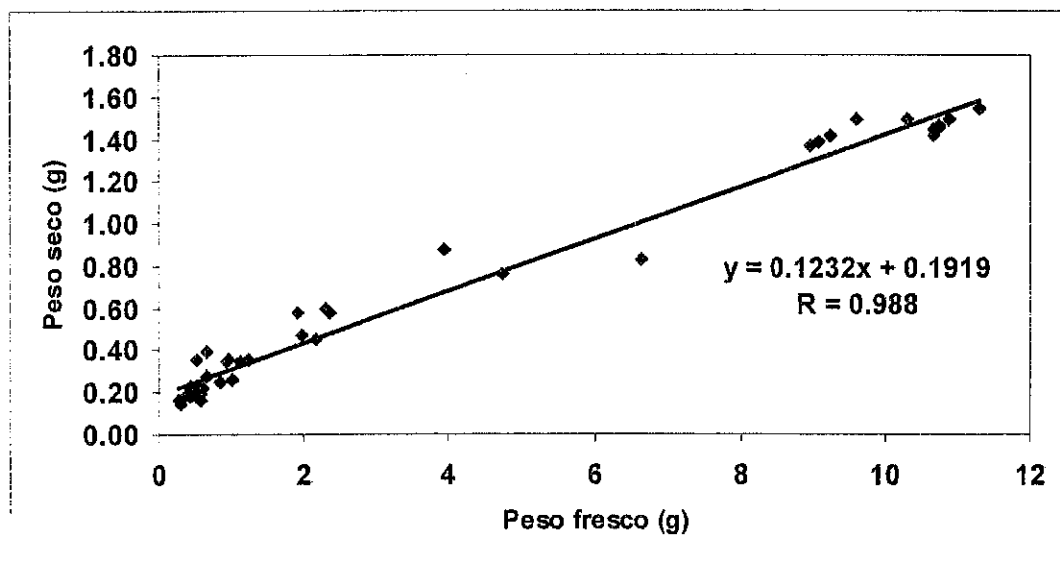


Figura 25. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al cletodim. Chapingo, México. 2003.

5.4.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)

El análisis de varianza de los datos se muestra en el anexo 34. De acuerdo con los valores estimados de RC_{50} la población Aguaí es susceptible. Su índice de resistencia es inferior a 1,0 lo que indicaría que es más susceptible al cletodim que la población de referencia, San José. Sin embargo, debe tomarse en consideración que el ajuste de la curva no fue enteramente satisfactorio pues el intervalo de confianza para el parámetro RC_{50} se extiende a un valor negativo (Cuadro 10).

Al observar la representación gráfica de la respuesta de las poblaciones Aguaí y San José a dosis crecientes de cletodim (Fig. 26) se puede inferir fácilmente que el ámbito de dosis debió incluir dosis muy bajas (menores a 10 g i.a. ha⁻¹) para una mejor estimación del valor de inhibición media del crecimiento. Las poblaciones Chané, San Pedro, y Yapacaní fueron resistentes en grado similar al herbicida cletodim (Cuadro 10 y Figs. 26 y 27), con índices de resistencia de 5.1, 6.7 y 6.2, respectivamente.

Cuadro 10. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC₅₀ e IR del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al cletodim. Chapingo, México. 2003.

Población	Límites de confianza*		D	C	b	RC ₅₀	IR
	Inferior	Superior					
San José	4.05	8.02	8.95	0.41	2.84	6.03	1.00
Aguaí	0.90	3.80	10.19	0.0001	0.51	1.44	0.23
Chané	24.23	37.09	11.26	0.52	3.17	30.66	5.08
San Pedro	32.66	48.77	11.50	0.68	2.44	40.72	6.75
Yapacaní	34.07	40.68	9.46	0.47	4.09	37.38	6.19

* : Al 95% de probabilidad estadística y para el parámetro de RC₅₀

A pesar de que el cletodim se empleó regularmente en el cultivo de soya sobre la población Aguaí, la aplicación de nicosulfuron más atrazina en la rotación con maíz, aparentemente tuvo un impacto sustancial en la prevención de la evolución de resistencia a los inhibidores de ACCasa evaluados .

Los resultados obtenidos de manera consistente en cada uno de los bioanálisis, permiten afirmar que las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní presentaron resistencia cruzada entre los herbicidas del grupo químico ariloxifenoxipropionato y ciclohexanodionas.

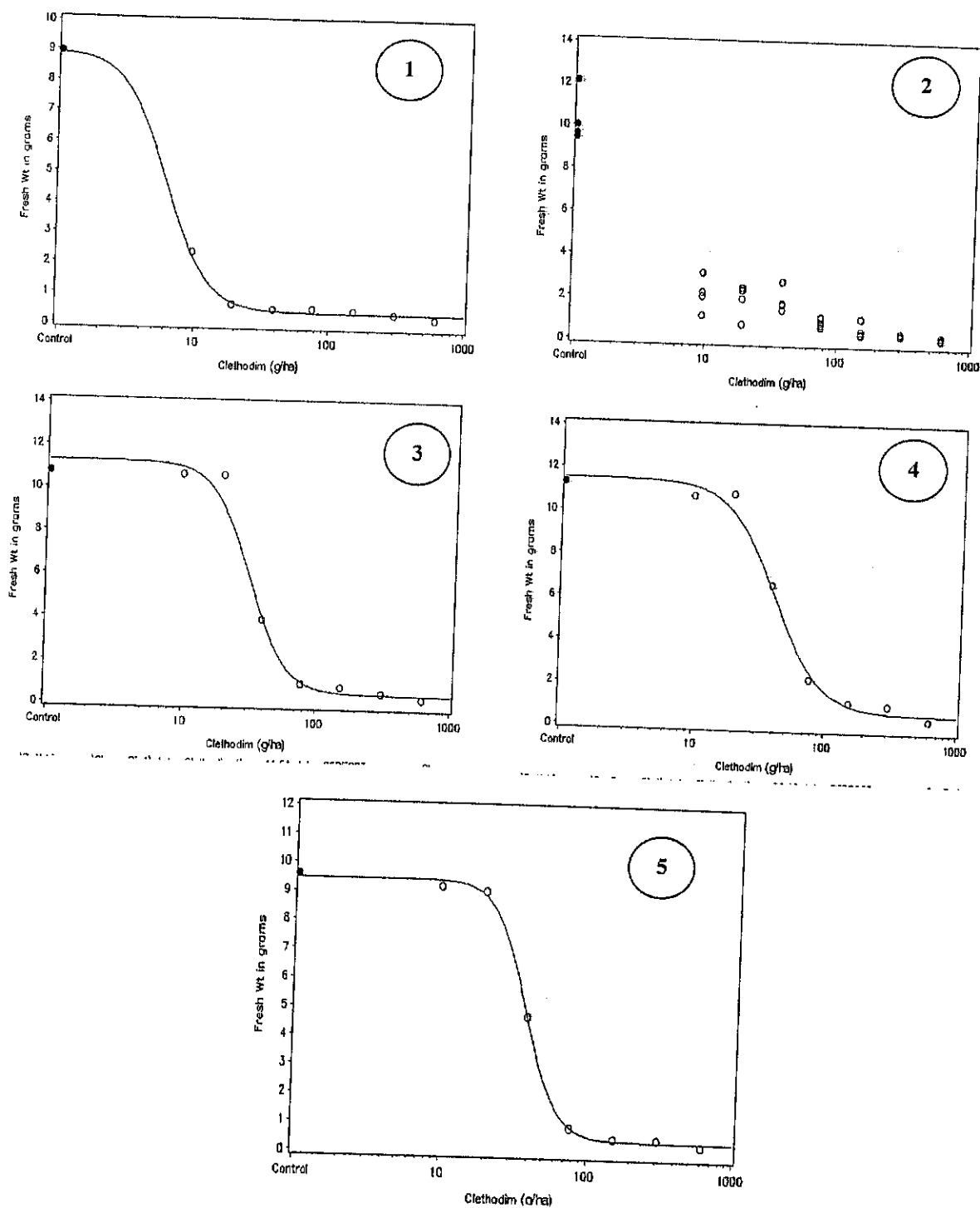


Fig. 26. Curvas de regresión para las poblaciones de *R. cochinchinensis* de San José (1), Aguai (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de clethodim. Chapingo, México. 2003.

Con base al historial de campo, la práctica de la rotación de cultivos y en consecuencia la rotación de herbicidas con diferente mecanismo de acción permiten alargar el periodo potencial para la aparición de poblaciones resistentes, máxime si se considera que en la zona de donde provienen las poblaciones el sistema del monocultivo de soya es una práctica frecuente e intensiva por ser realizada en dos ciclos anuales, incrementando de este modo la presión de selección.

Está documentado que los herbicidas inhibidores de ACCasa seleccionan biotipos resistentes de malezas cuando se utilizan continuamente por seis a diez años (Devine 1977).

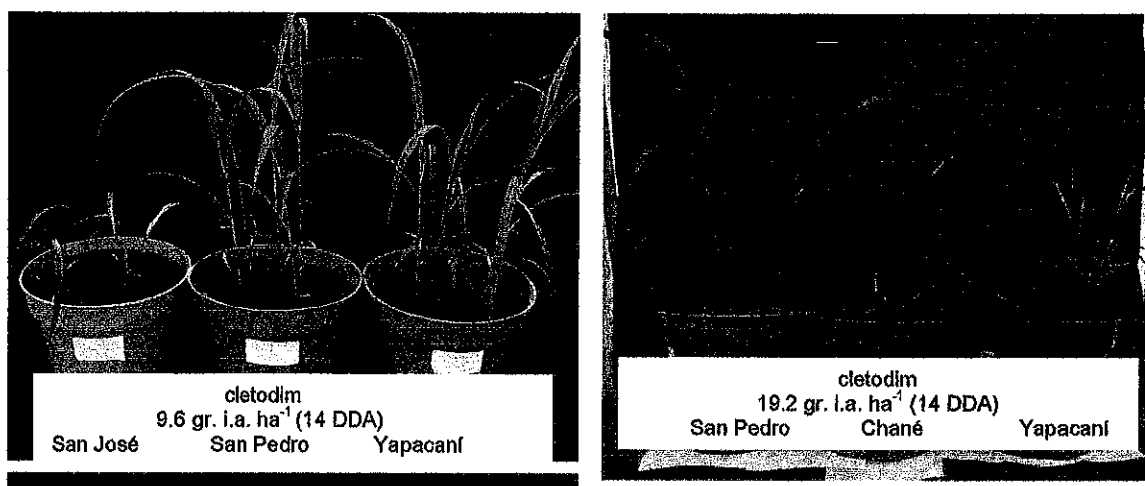


Fig. 27. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al clethodim. Chapingo, México. 2003.

Hatzios (2001) y Osuna *et al.* (2001) señalan que los niveles y las proporciones observadas en biotipos de malezas gramíneas resistentes a estos herbicidas, se comportan de manera diferente para los grupos ariloxifenoxipropionato y ciclohexanodionas.

Los resultados coinciden con las respuestas obtenidas con *R. cochinchinensis*, donde si bien los patrones de resistencia de las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní fueron similares, los niveles no fueron los mismos entre estos dos grupos químicos, ya que los mayores índices de resistencia se presentaron para el haloxifop metilo y fluazifop butilo.

A su vez, Devine (1997) reporta que *Eleusine indica* resultó con altos niveles de resistencia para el fluazifop y fenoxaprop, pero los índices de resistencia cruzada para el setoxidim y cletodim resultaron mucho menores.

Estas diferencias de respuesta entre estos dos grupos químicos de herbicidas inhibidores de ACCasa, parecen indicar la existencia de diversas mutaciones en la ACCasa de las especies resistentes, que son capaces de proporcionar una respuesta diferencial en grado de resistencia a ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas (Delyé, et al., 2002)

5.5. Bioanálisis con el imazetapir

5.5.1. Porcentaje de daño visual

En la búsqueda de herbicidas alternativos para el control de los biotipos resistentes se llevó a cabo el bioanálisis con el herbicida imazetapir, el cual causó daño a las poblaciones de *R. cochinchinensis*, a medida que se fueron incrementando las dosis aplicadas, de acuerdo a la evaluación visual a los diez DDA. Todas las poblaciones en estudio mostraron una respuesta similar al herbicida dentro del ámbito de las dosis aplicadas (Fig. 28).

No se observaron diferencias entre los grupos que presentaron resistencia cruzada a los grupos químicos ariloxifenoxipropionato y ciclohexanodiona, por lo que las poblaciones San Pedro, Yapacaní y Chané que se destacaron como resistentes en anteriores bioanálisis presentaron niveles de fitotoxicidad idénticos

a los de las poblaciones San José y Aguaí, en los 10 primeros días de aplicado el herbicida.

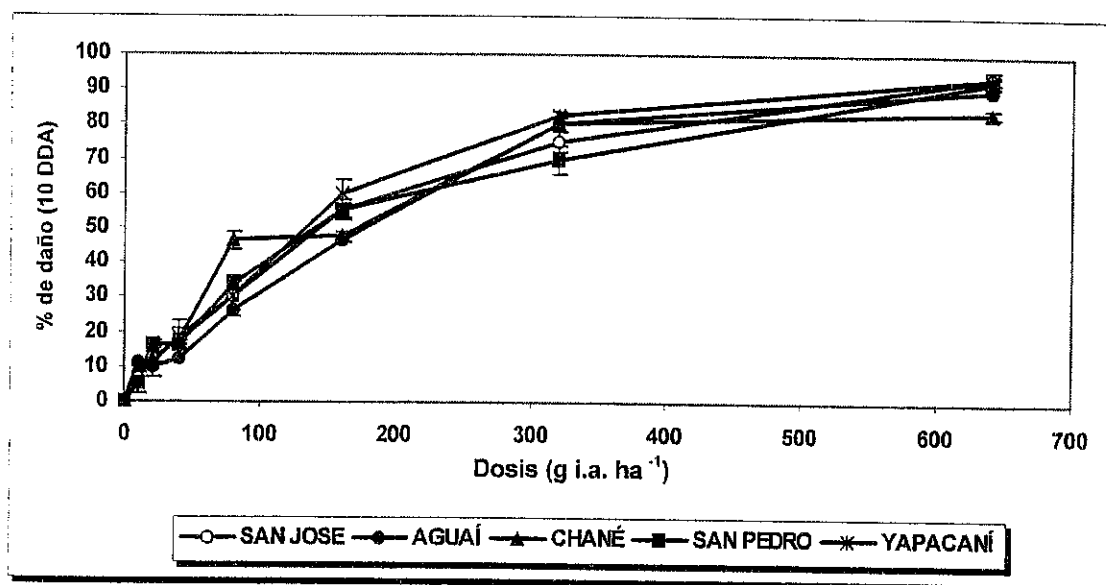


Figura 28. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 7 días después de la aplicación de imazetapir a *R. cochinchinensis*. Chapingo, México. 2003.

5.5.2. Peso fresco y peso seco del follaje

La evaluación del peso fresco fue realizada a los 21 DDA, debido al lento efecto del herbicida sobre las poblaciones, en el cual se observó que la reducción del peso fresco y seco fue casi uniforme entre las poblaciones, con la salvedad que las poblaciones San Pedro y Chané mostraron una pérdida mínima de peso que las restantes (Fig. 29).

Los pesos fresco y seco, estuvieron altamente correlacionados ($R = 0.97$), según se aprecia en la Fig. 30. Siguiendo con la metodología empleada las curvas de respuesta de las poblaciones al imazetapir y los índices de resistencia fueron calculados con base en el peso fresco.

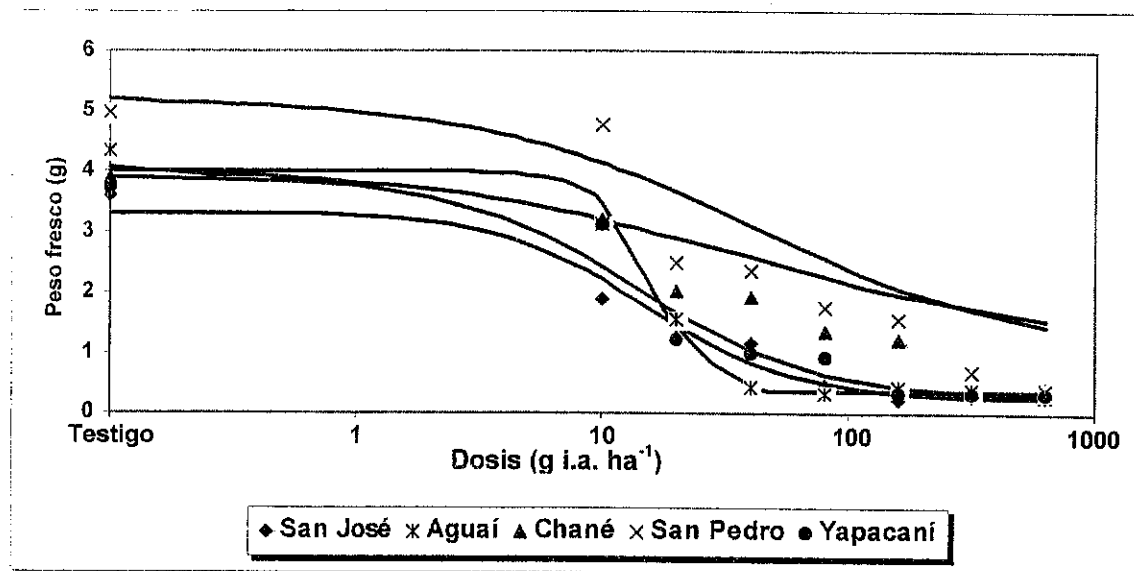


Figura 29. Efecto del imazetapir sobre el peso fresco de plantas de *R. cochinchinensis* 14 DDA. Chapingo, México, 2003

Si bien se observó un nivel de resistencia bajo a las aplicaciones de imazetapir para las poblaciones de Chané y San Pedro, estas no resultaron tan marcadas como las observadas en los anteriores bioanálisis.

Aquí cabe resaltar de acuerdo a los resultados obtenidos que las poblaciones testigo tuvieron un marcado descenso en cuanto a desarrollo, considerando anteriores bioanálisis realizados, puesto que las reducciones de peso fresco fueron considerables (50%).

Esto fue debido a que este bioanálisis fue llevado a cabo en el mes de noviembre, donde las temperaturas sufrieron drástico descenso lo que influyó fuertemente no solo sobre el desarrollo de las poblaciones sino también sobre las respuestas a la aplicación del imazetapir, razón por la cual tuvo que llevarse el bioanálisis hasta los 21 DDA, cuando bajo condiciones normales los efectos del imazetapir sobre gramíneas se presentan entre los 12 y 14 DDA.

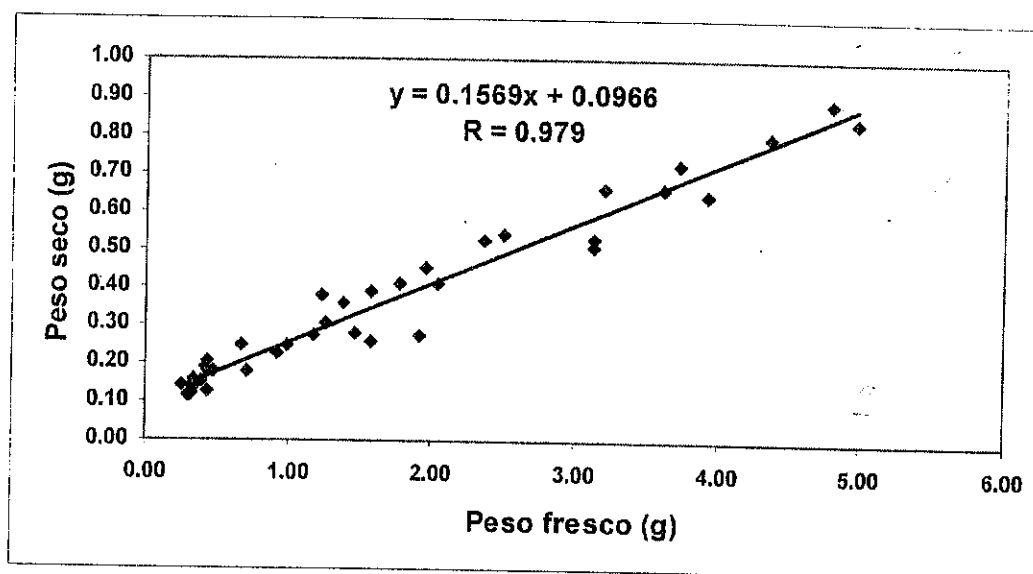


Figura 30. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al imazetapir. Chapingo, México. 2003.

5.5.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC_{50}) e índice de resistencia (IR)

El análisis de varianza para los datos obtenidos se muestran en el Anexo 35, donde se observa el comportamiento de los datos con un nivel de confiabilidad de 95%.

Los valores de los parámetros obtenidos a través del modelo de Streibig, mostraron que los valores de RC_{50} de las poblaciones San José y Aguaí, para este bioanálisis resultaron prácticamente similares, por lo que los índices de resistencia fueron de 1 y 1.05 respectivamente, de igual manera la población Yapacaní se mostró muy susceptible al imazetapir, puesto que el valor de RC_{50} resultó mas bajo que el de la población testigo (San José), y en consecuencia el índice de resistencia resulto menor a 1 (Cuadro 11 y Fig. 31).

Cuadro 11. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al imazetapir. Chapingo, México. 2003.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
San José	3.31	0.24	1.44	15.17	8.05	22.29	1.00
Aguaí	4.00	0.35	3.72	15.98	13.24	18.73	1.05
Chané	3.95	--	0.70	36.43 [†]	16.58	56.28	2.40
San Pedro	5.01	--	0.82	38.57 [†]	12.20	64.95	2.54
Yapacaní	3.89	0.27	1.23	13.73	7.13	20.33	0.90

* : Al 95% de probabilidad estadística y para el parámetro de RC_{50}

†: Valor de RC_{50} obtenido sin el parámetro C, por presentar valores negativos.

Aguanta (2000) al evaluar el imazetapir en poblaciones resistentes de *Sorghum sudanense* a inhibidores de ACCasa, encontró biotipos con resistencia cruzada negativa, es decir, que resultaron mucho mas susceptibles que la población testigo de referencia.

Si bien las poblaciones Chané y San Pedro resultaron con los mayores valores de RC_{50} e índices de resistencia ligeramente por encima del valor mínimo para considerar a una especie como resistente, se debe considerar el factor anteriormente mencionado (descenso de la temperatura) que influyó de manera considerable sobre la acumulación de peso fresco en los testigos (Fig. 32).

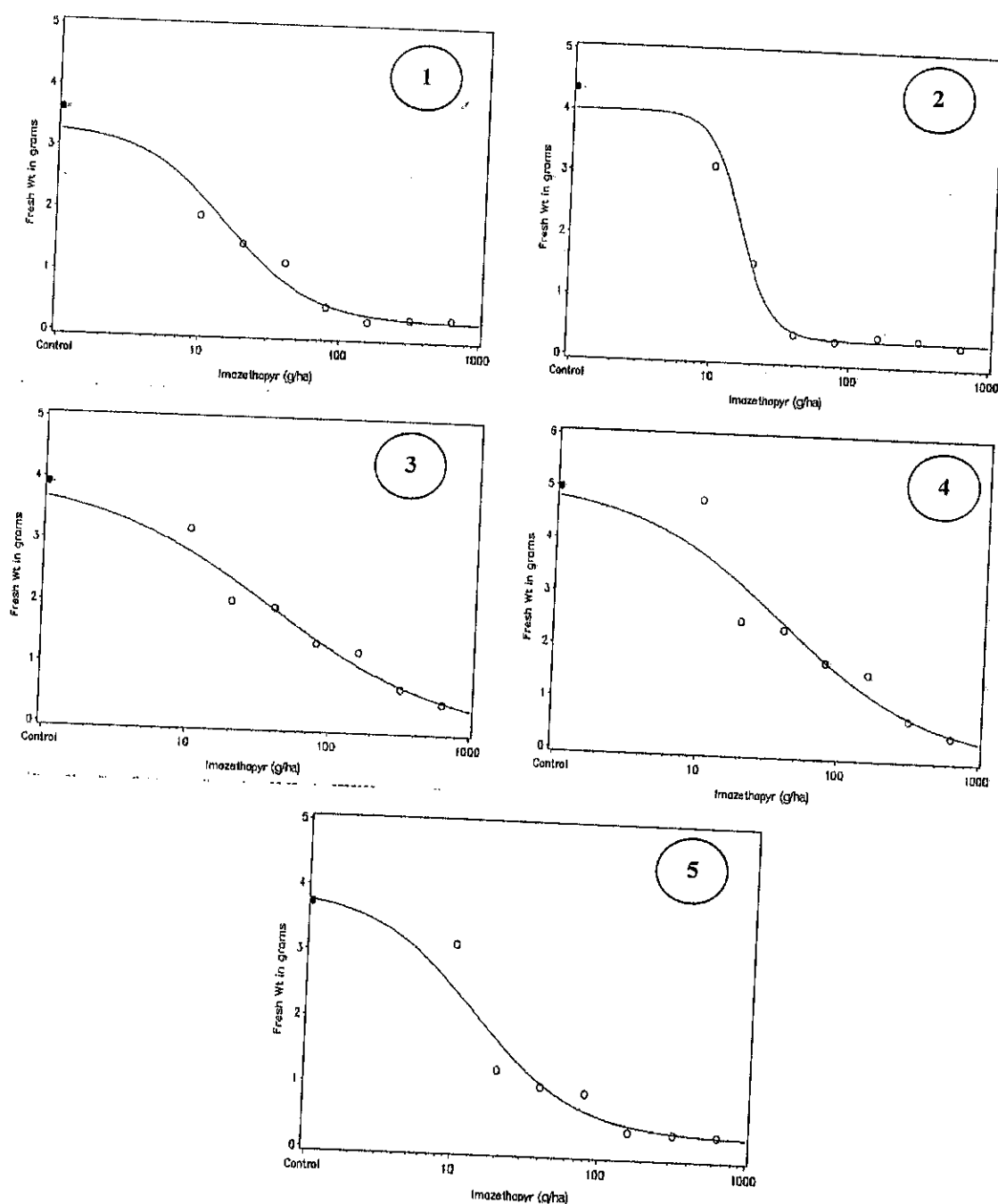


Fig. 31. Curvas de regresión para las poblaciones de *R. cochinchinensis* de San José (1), Aguai (2), Chané (3), San Pedro (4) y Yapacaní (5) tratadas con dosis crecientes de imazetapir. Chapingo, México. 2003.

Este factor pudo dar lugar a algún sesgo por este factor, lo cual implica la necesidad de repetir este bioanálisis para confirmar o descartar el desarrollo de resistencia de estas dos poblaciones al imazetapir.

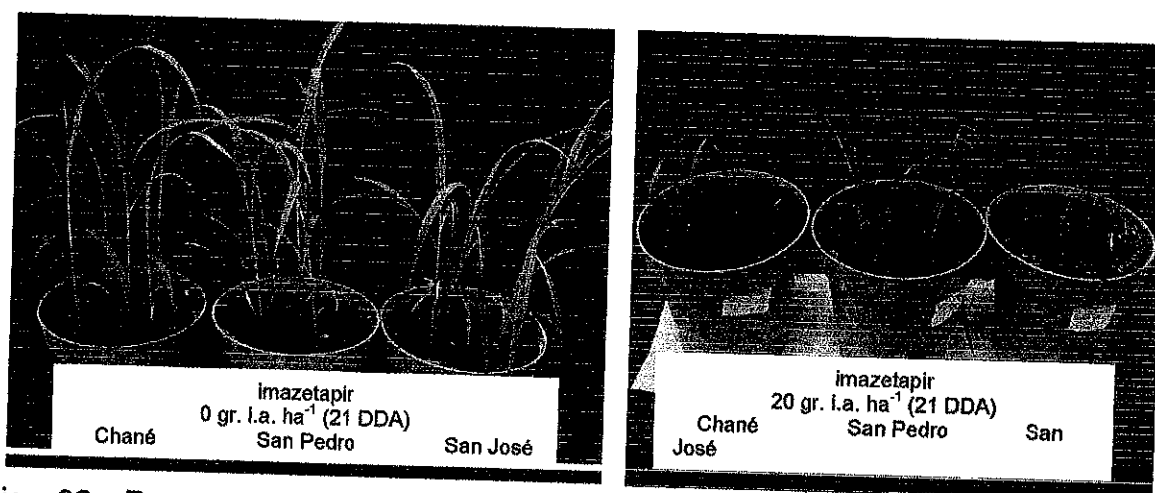


Fig. 32. Respuesta de las poblaciones al bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al imazetapir. Chapingo, México. 2003.

6. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos e hipótesis planteadas para realizar el presente estudio y de acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

1. De las cinco poblaciones estudiadas, tres (Chané, San Pedro y Yapacaní) resultaron con resistencia al fluazifop butilo, haloxifop metilo, setoxidim y cletodim, razón por la cual pueden considerarse como biotipos con resistencia cruzada entre los herbicidas de los grupos químicos ariloxifenoxipropionatos y ciclohexanodionas.
2. Las poblaciones que resultaron con resistencia cruzada presentaron el mismo patrón de respuesta a las aplicaciones, sin embargo el nivel de resistencia no fue el mismo, ya que los mayores índices de resistencia se presentaron en los bioanálisis de haloxifop metilo, donde las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní resultaron con IR's de 23, 33 y 44 respectivamente, observándose de manera general que los biotipos respondieron con mayores índices de resistencia a los herbicidas del grupo químico ariloxifenoxipropionatos que los observados en los herbicidas pertenecientes a las ciclohexanodionas.
3. En el bioanálisis de imazetapir, los resultados sitúan a las poblaciones Chané y San Pedro como resistentes, en niveles de IR's apenas por encima del valor de 2 (2.4 y 2.5 respectivamente). Sin embargo se debe considerar las condiciones en las que fue realizado el experimento, caracterizada por el inicio de la época invernal con descenso de la temperatura, lo cual influyó notoriamente sobre la acumulación de peso fresco en los testigos, por lo que se sugiere repetir este bioanálisis antes de considerar a estas dos poblaciones como resistentes al imazetapir.

4. El hecho que las poblaciones Chané, San Pedro y Yapacaní, resistentes al fluazifop y haloxifop resultaron con resistencia cruzada al setoxidim y cletodim sugiere que el mecanismo involucrado del desarrollo de esta resistencia se deba a algún tipo de mutación en el sitio de acción o del metabolismo de herbicidas, por lo que se deberán hacer estudios complementarios a este nivel para contar con la certeza de esta hipótesis.
5. Con base en el historial de campo y del cultivo de las poblaciones evaluadas se confirma que el principal factor involucrado en la aparición de malezas resistentes fue la presión de selección ejercida por el uso continuo y repetitivo de herbicidas con mecanismo de acción similar, ya que la población Aguaí que si bien había recibido tratamientos con inhibidores de ACCasa al igual que las demás poblaciones, el historial mostró la inclusión del nicosulfurón, dentro del cultivo de maíz en rotación con soya, por lo que la presión de selección fue disminuida por la incorporación de un herbicida con diferente mecanismo de acción, permitiendo a esta población mantener su nivel de susceptibilidad similar a la población testigo (San José).
6. De acuerdo con los resultados obtenidos para la determinación de los valores de las tasas de reducción media del crecimiento (RC_{50}), mediante el modelo estadístico logístico es importante que en los tratamientos se incluyan al menos ocho dosis crecientes, para tener una mejor respuesta mediante el modelo con la libertad de incluir dosis menores y/o mayores en las poblaciones que resulten extremadamente susceptibles o extremadamente resistentes para obtener una mejor respuesta diferencial entre las poblaciones en estudio.
7. La correlación altamente significativa obtenida entre las variables respuesta de peso fresco y peso seco en cada uno de los bioanálisis realizados, mostraron que cualquiera de estos dos parámetros pueden ser válidos para

la interpretación de los valores de RC_{50} , sin embargo, de acuerdo con lo observado, es preferible utilizar el peso fresco por ser mas consistente ya que de este modo se evita el manejo de valores demasiado bajos que pueden sesgar de algún modo los resultados.

7. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos y a las conclusiones establecidas se sugieren las siguientes recomendaciones:

- a) Las actuales herramientas existentes en el área de investigación de resistencia de malezas, permiten hacer estudios para establecer las bases específicas del o los mecanismos de resistencia desarrollados por las malezas evaluadas por lo que se recomienda realizar evaluaciones complementarias de absorción, transporte, actividad enzimática y caracterización basada en marcadores moleculares para contar con mayores elementos de juicio y análisis que permitan comprender mejor el proceso fisiológico y/o genético de los principios de la resistencia mostrada por estos biotipos.
- b) Dado que en los últimos cinco años es la tercera especie de maleza gramínea reportada como resistente proveniente de la zona norte del Departamento de Santa Cruz, Bolivia a graminicidas inhibidores de ACCasa, se sugiere la implementación de un programa de asistencia técnica y extensión en el que se contemple la capacitación de agricultores y técnicos, para que basados en esta investigación y a las anteriores se demuestre que los sistemas de producción y explotación agrícola basados en el uso persistente de herbicidas con mecanismo de acción similar, conducen a la rápida evolución de malezas resistentes. Este problema se acentúa porque en la zona se siembran dos ciclos anuales y muy frecuentemente la secuencia soya-soya, imponiendo una alta presión de selección sobre las malezas.

- c) Se recomienda realizar un monitoreo exhaustivo en campo, para detectar a tiempo la aparición de poblaciones de malezas resistentes, y de esta forma tomar medidas integradas que eviten el incremento del problema.

8. LITERATURA CITADA

- Aguanta J. A. 2000. Identificación de diferentes especies de *Sorghum* sp. y evaluación de la susceptibilidad a gramínicidas sistémicos de poblaciones provenientes de la zona Chané – Piraí. Tesis de Grado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia. pp 56-76.
- ANAPO 2000. Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo. Soya: Manual de recomendaciones técnicas. Santa Cruz, Bolivia. pp. 63, 73
- APIA. Asociación de Proveedores de Insumos Agropecuarios. 1999. Guía de Uso de Productos para la protección de cultivos. Santa Cruz-Bolivia. pp 97, 107, 180, 113, 117 y 140.
- Ashton F., A. Crafts. 1981. Mode of Action of Herbicides. 2nd Edition. USA. 59 p.
- Barceló J. G., Nicolás, B. Sabater, R. Sánchez. 1988. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide S.A., Madrid. pp. 408-410.
- Bidwell R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. 1ra. Edición en español, México. pp. 120-121.
- CABI Bioscience 2003. Project summary Report itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*). Disponible en: <http://www.cabi.org/bioscience/rottboellia.htm>. Consultado 02 de Octubre de 2003.
- CAO 2000. Cámara Agropecuaria del Oriente. Números de Nuestra Tierra. Santa Cruz, Bolivia. pp. 5-7.

- CIAT 2000. Informe Técnico Anual 1999-2000. Ed. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz, Bolivia pp. 405-407.
- Christoffers M.J. 1999. Genetics aspects of herbicide-resistant weed management. *Weed Technology* 12: 647-652.
- Cobb A. 1992. Herbicides and plant physiology. First Edition. pp. 107 – 123.
- Cortez M.G., P. J. Christoffoleti, R.V. Vilho, R. De Prado. 2001. Resistance of *Brachiaria plantaginea* (Link.) Hitch. Biotypes to cyclohexanodiones herbicides in Brazil. pp. 538. In: De Prado R., Jorrín J. V., (eds.) *Uso de herbicidas en la Agricultura del siglo XXI*. Universidad de Córdoba, España.
- De la Cruz R., E. Rojas y A. Merayo 1994. Manejo de la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton) en el cultivo de maíz y el periodo de barbecho con leguminosas de cobertura. *Manejo Integrado de Plagas*. CATIE (Costa Rica) No. 31. pp. 29-35.
- Delyé C., A. Metějicek and J. Gasquez 2002. PCR-based detection of resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) and ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud). *Pest Management Science* 58: 474-478.
- Devine M. 1997. Mechanism of Resistance to Acetyl-Coenzyme A Carboxylase Inhibitors: a Review. *Pesticide Science* 51: 259-264.
- Escuela Agrícola Panamericana Zamorano 1996. Manejo Racional de Plagas y Plaguicidas. pp. 4, 19 y 25.

- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen, para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. 4ta. Edición. Talleres Larios S.A. México. 217 p.
- Garita I., B.E. Valverde, E. Vargas, L. Chacón, R. De la Cruz, C. Riches and J. Caseley. 1995. Occurrence of propanil resistance in *Echinochloa colona* in Central America. *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp 193 – 195.
- Gómez F.M. 1985. *Rottboellia exaltata* L.F. gramínea, una nueva maleza en el cultivo de caña de azúcar en la región de Papaloapan, Instituto para el Mejoramiento de la producción de la caña de azúcar. Centro Nacional de Investigaciones Azucareras. México. pp 22-25.
- González W. y M. Webb. 1989. Manual para la identificación y control de malezas. Ed. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz, Bolivia. pp. 13, 45 y 46.
- Gressel J. and L. Segel. 1990. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology* 6: 509 – 525.
- Häflinger E. and H Scholz. 1980. Grass Weed 1: Panicoid grass weeds. CIBA – GEIGY Document. 119 p.
- Hatzios K. 2001. Mechanism of resistance to herbicides. 275-287. In: R. De Prado, J.V. Jorrín (eds.) *Uso de herbicidas en la Agricultura del siglo XXI*. Universidad de Córdoba, España.

- Heap I. 2004. International survey of herbicide resistant weeds. Annual report Internet. Disponible en: <http://www.weedscience.com>; consultado el 05 de Enero de 2004.
- Herbert D., K. Walker, L. Price, D. Cole, K. Pallet, S. Ridley and J. Harwood. 1997. Acetyl-CoA Carboxylase, a graminicide Target Site. *Pesticide Science* 50: 67-71.
- Holm L.G., D. Plucknett, J. Pancho, J. Herberger 1977. The World's Worst Weeds, Distribution and Biology. pp. 139-144.
- Jensen J., J. Streibig, C. Andreasen. 2001. Fundamentals of modern weed control with herbicides. To be held at the Department of agriculture Chatuchak, Bangkok, Thailand. pp. 12-23.
- Kissmann K. 1996. Resistencia de plantas infestantes a herbicidas. BASF. pp. 2,16.
- Lorenzi H. L.S. Jeffery. 1987. Weeds of the United States and their control. 77 p.
- Lorenzi H. 2000. Manual de indentificação e controle de plantas danhinas. 5ta. Edición. Instituto Plantarum de Estudos da Flora. Brazil. 339 p.
- Mársico J.V. 1980. Herbicidas y fundamentos del control de malezas. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires-Argentina. pp. 1-2.
- Medina J. L. y J.A. Domínguez-Valenzuela 2001. *Rottboellia cochinchinensis* en México: una maleza fuera de la ley. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza*. Vol 1. No. 1.

- Merril A. R., C. Lembi. 1985. Applied Weed Science. 171 p.
- Molina A.R. 1999. Malezas presentes en la zona templada, Tropical y Subtropical de América del Sur. Parte I. Argentina. 206 p.
- Nielsen O. K., C. Ritz, J. Streibig. 2001. Analysis of herbicide dose response bioassays using non-linear mixed modeling. 1-3 pp.
- Orson J.H. and D. Harris. 1997. The technical and financial impact of herbicide resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides*) on individual farm bussineses in England. *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp 1127-1132.
- Osuna M. D., J. L. De Prado, R. De Prado 2001. Resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa en España. 289 – 296 pp. In: De Prado R., Jorrín J. V., (eds.) Uso de herbicidas en la Agricultura del siglo XXI. Universidad de Córdoba, España.
- Pérez A. and M. Kogan 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. In: European Weed Research Society 43: 12-19.
- Piazza A., J. Lissarrague y J. Barbado. 2000. Guía práctica para el profesional en fitoterápicos. Buenos Aires, Argentina. pp. 239, 240.
- Pitty A. 1995. Modo de acción y Síntomas de Fitotoxicidad de los herbicidas. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. pp. 1,2 y 59.
- Pitty A. 1997. Introducción a la Biología, Ecología y Manejo de Malezas. Ed. Zamorano. Honduras. pp. 271-283.

- Powell W. 1983. *Weed Science: Principles*. 2nd. Edition. USA. 4 p.
- Powles S., C. Preston, I. Bryan and A. Jutsum 1997; Herbicide resistance: impact and management. *Advances in Agronomy* 58: 57-93.
- Powles S. 1997. Success from adversity: herbicide resistance can drive changes to sustainable weed management systems. In: *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp. 1119-1140.
- Prieto M. L. y S. León 1975. Las malezas del Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en el estado Portuguesa. Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas Venezuela. pp. 60-61.
- Proyecto Fertisuelos 1998. El proceso de erosión hídrica: GCPF/BOL/018/NET: Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz, Bolivia. Documento de campo No. 17.
- Ritter R. and H. Membere 1997. Distribution and management of triazine-resistant weeds in the mid-atlantic region of the USA. *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp. 1147-1151.
- Rojas E., A. Merayo y R. De la Cruz 1992. Determinación de posibles ecotipos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton en varias zonas ecológicas de Costa Rica. In: *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) No. 24-25, pp. 22-25.
- Rojas E., A. Merayo y R. De la Cruz. 1993. Comportamiento de Posibles ecotipos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D Clayton bajo condiciones de campo. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) No. 28, pp. 30-32.

- Rojas E., R. De la Cruz, P. Shannon y A. Merayo. 1994. Estudio y Manejo de la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D Clayton) en el Pacífico de Costa Rica. *Semana Científica*. CATIE. pp. 181-183.
- Ross M.A. and C.A. Lembi 1999. Applied Weed Science. Second Edition. USA. pp. 1, 11, 144.
- Ryan P. and C. Millis. 1997. Quantification of the development of herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides*) under herbicide-based resistance management regimes. In: *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp 1141-1146.
- Salisbury F.B. y C.W. Ross 1992. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, México. pp. 301-302.
- Steven S., J. Seefeldt, E. Jensen and P. Fuerst 1995. Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationship. *Weed Technology* 1995, Vol. 9: 218-227.
- Streibig J.C., M. Rudemo and J.E. Jensen 1993. Dose-response curves and statistical models. In *herbicide bioassays*, ed by Streibig JC and Kudsk P. CRC Press, Boca Raton, pp. 29-55.
- Unterladstätter R. 1979. Untersuchungen zur biologie und bekämpfung von *Rottboellia exaltata* E. F. unter berucksichtigung des Bolivianischen befallsgebietes. pp. 8-77.
- Unterladstätter R. 1998. Manual para el manejo, identificación y control de malezas. Ed. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia. pp. 79, 69 y 116-117

- Valverde B.E. 1995. Resistencia de *Echinochloa colona* a herbicidas usados en arroz en América Latina. CATIE, Hoja Técnica No. 15. pp. I-II.
- Valverde B. E., A. Merayo, R. Reeder and R. Riches.1999. Integrated management of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) in maize in seasonally-dry Central America: Facts and perspectives. In: *Brighton Conference – Weeds*. pp. 131-140.
- Valverde B. E., Ch. Riches y J. Casely 2000. Prevención y Manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz. CATIE, San José, Costa Rica. pp. 1-12.
- Vidal R. 1997. Herbicidas, mecanismo de acción y resistencia de plantas. Porto Alegre, RS, Brasil. pp. 19-27.
- Villa-Casarez J.T. 1998. Respuesta de *Echinochloa colona* (L) Link a propanil en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en áreas selectas de México. Tesis de grado, Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 67-72.
- Zimdahl R. L. 1993. Fundamentals of weed science. 165 p.

A N E X O S

Anexo 1. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los siete días después de la aplicación del fluazifop butilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004 [‡].

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	2.336	0.333	0.981	9.131	184.8	0.0001 **
Aguai	Tratam.	7	1.865	0.266	0.951	13.95	67.27	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	1.138	0.162	0.902	21.29	31.67	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	1.207	1.172	0.945	25.46	59.00	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	1.498	0.214	0.956	22.89	75.42	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

‡ : Los valores de porcentaje originales fueron transformados mediante la formula $\arcseno (X)^{0.5}$

Anexo2. Porcentaje de daño visual a los 7 DDA, del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al fluazifop butilo. Chapingo, México. 2003. ^º

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	0.0	6	9	25	38	43	44	50
Aguai	0.0	9	10	25	33	36	41	45
Chané	0.0	5	8	10	13	19	21	39
San Pedro	0.0	0	1	9	13	13	15	23
Yapacaní	0.0	0	1	8	13	16	19	28

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 3. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los siete días después de la aplicación del haloxifop metilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004 [‡].

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	3.847	0.549	0.980	8.187	171.71	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	3.659	0.522	0.917	18.52	38.05	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	5.605	0.800	0.963	23.12	89.46	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	4.188	0.598	0.967	26.40	103.6	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	5.244	0.749	0.964	24.13	92.73	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

‡ : Los valores de porcentaje originales fueron transformados mediante la formula $\arcseno (X)^{0.5}$

Anexo 4. Porcentaje de daño visual a los 7 DDA, del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al haloxifop metilo. Chapingo, México. 2003 ^º.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	6	12	24	48	96	192	384
San José	0.0	24	24	28	64	64	66	84
Aguaí	0.0	23	26	26	35	45	70	86
Chané	0.0	0.0	3.0	4.0	8.0	51	58	82
San Pedro	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	23	31	75
Yapacaní	0.0	0.0	3.0	3.0	14	18	55	85

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 5. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los siete días después de la aplicación del setoxidim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004 [‡].

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	4.271	0.61	0.987	8.03	278.07	0.0001 **
Aguai	Tratam.	7	5.129	0.732	0.975	14.13	134.61	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	3.988	0.569	0.991	9.92	394.64	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	2.562	0.366	0.958	26.25	79.21	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	6.255	0.893	0.978	16.83	153.64	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

‡ : Los valores de porcentaje originales fueron transformados mediante la formula $\arcseno (X)^{0.5}$

Anexo 6. Porcentaje de daño visual a los 7 DDA, del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al setoxidim. Chapingo, México. 2003. ^º

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	18	36	72	144	288	576	1152
San José	0.0	18	23	25	21	49	65	94
Aguai	0.0	8.0	10	13	11	43	58	95
Chané	0.0	0.0	0.0	8.0	21	34	40	71
San Pedro	0.0	0.0	0.0	2.0	5.0	25	28	46
Yapacaní	0.0	0.0	0.0	4.0	31	56	64	81

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 7. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los siete días después de la aplicación del cletodim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004[‡].

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	6.934	0.990	0.986	6.764	247.10	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	4.868	0.695	0.977	8.588	150.27	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	6.630	0.947	0.961	17.79	86.71	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	6.264	0.894	0.983	13.42	201.37	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	7.385	1.055	0.982	13.03	196.39	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

‡ : Los valores de porcentaje originales fueron transformados mediante la formula $\arcseno (X)^{0.5}$

Anexo 8. Porcentaje de daño visual a los 7 DDA, del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al cletodim. Chapingo, México. 2003^º.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6	307.2	614.4
San José	0.0	33	45	48	93	93	94	98
Aguaí	0.0	34	34	40	57	77	79	95
Chané	0.0	4.0	9.0	12	30	61	80	93
San Pedro	0.0	0.0	0.0	11	38	49	64	86
Yapacaní	0.0	2.0	2.0	10	58	70	72	88

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 9. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los siete días después de la aplicación del imazetapir ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004 [‡].

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	5.603	0.800	0.961	16.18	86.61	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	5.100	0.728	0.985	9.468	238.38	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	4.561	0.651	0.989	7.408	318.90	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	5.273	0.753	0.972	13.39	119.76	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	5.968	0.852	0.954	17.27	76.65	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

‡ : Los valores de porcentaje originales fueron transformados mediante la formula $\arcseno (X)^{0.5}$

Anexo 10. Porcentaje de daño visual a los 10 DDA, del bioanálisis de resistencia de *R. cochinchinensis* al imazetapir. Chapingo, México. 2003 ^º.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	0.0	6.0	13	17	30	55	75	94
Aguaí	0.0	10	10	12	26	46	80	90
Chané	0.0	11	13	17	46	47	80	84
San Pedro	0.0	5.0	16	16	34	55	70	93
Yapacaní	0.0	10	11	19	30	60	83	94

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 11. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de fluazifop butilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	151.15	21.53	0.971	22.39	116.7	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	150.60	21.51	0.963	32.40	89.58	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	58.719	8.388	0.908	22.02	34.18	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	114.66	16.38	0.944	15.70	58.32	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	133.25	19.03	0.873	24.76	23.57	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 12. Efecto del fluazifop butilo sobre el peso fresco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003 ^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	7.36	2.61	1.59	1.54	0.65	0.56	0.55	0.49
Aguaí	6.94	2.37	1.22	0.47	0.28	0.34	0.25	0.19
Chané	4.74	3.78	3.09	1.72	1.57	1.26	1.08	0.85
San Pedro	5.82	5.48	5.06	4.33	2.49	1.71	1.21	1.01
Yapacaní	6.57	5.41	5.41	3.62	3.59	1.69	1.43	0.71

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 13. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de haloxifop metilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	282.57	40.36	0.982	22.39	196.6	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	303.91	43.41	0.950	33.83	65.62	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	611.04	87.29	0.904	27.74	32.64	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	543.86	77.69	0.923	20.62	41.15	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	519.05	74.15	0.948	17.97	63.33	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 14. Efecto del haloxifop metilo sobre el peso fresco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	6	12	24	48	96	192	384
San José	9.66	3.54	1.28	1.31	0.57	0.36	0.28	0.25
Aguaí	10.11	2.46	1.63	1.64	1.27	0.39	0.40	0.21
Chané	11.14	10.15	9.71	9.43	4.07	1.70	0.63	0.30
San Pedro	10.88	10.59	10.28	10.03	6.60	2.74	1.50	0.64
Yapacaní	10.07	9.64	8.99	8.66	8.10	1.82	0.49	0.37

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 15. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de setoxidim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	146.15	20.87	0.903	37.87	31.99	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	183.57	26.22	0.911	39.45	35.17	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	259.97	37.13	0.946	15.74	61.23	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	370.63	52.94	0.919	18.23	39.01	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	173.65	24.80	0.941	19.44	54.86	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 16. Efecto del setoxidim sobre el peso fresco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	18	36	72	144	288	576	1152
San José	6.94	3.37	2.95	2.48	0.62	0.38	0.37	0.50
Aguaí	6.94	5.28	2.05	1.94	0.59	0.43	0.22	0.16
Chané	7.39	7.63	7.37	7.23	6.14	1.85	1.28	0.82
San Pedro	9.37	9.20	9.15	9.19	8.02	2.47	2.21	1.42
Yapacaní	6.62	6.28	5.23	4.89	2.36	1.48	0.58	0.64

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 17. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de cletodim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	247.75	35.394	0.983	23.63	199.5	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	305.01	43.573	0.968	27.34	105.9	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	689.69	98.527	0.963	21.50	90.27	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	657.35	93.908	0.971	15.96	118.0	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	519.99	74.284	0.980	15.03	170.6	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 18. Efecto del cletodim sobre el peso fresco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6	307.2	614.4
San José	8.96	2.36	0.67	0.53	0.56	0.5	0.4	0.27
Aguaí	10.30	2.17	1.93	1.98	0.96	0.66	0.44	0.30
Chané	10.75	10.67	10.66	3.95	1.0	0.86	0.6	0.35
San Pedro	11.28	10.75	10.88	6.64	2.3	1.24	1.12	0.45
Yapacaní	9.59	9.23	9.07	4.75	0.92	0.57	0.57	0.37

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 19. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de imazetapir ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	37.880	5.411	0.949	24.37	64.67	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	67.800	9.685	0.969	21.81	108.6	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	40.412	5.773	0.925	19.89	42.30	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	80.797	11.54	0.897	25.97	30.03	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	48.833	6.976	0.980	14.60	172.3	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 20. Efecto del imazetapir sobre el peso fresco (g) de *R. cochinchinensis* a los 21 DDA. Chapingo, México. 2003^o.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	3.61	1.91	1.46	1.17	0.47	0.25	0.29	0.30
Aguaí	4.35	3.12	1.57	0.43	0.33	0.42	0.39	0.30
Chané	3.91	3.20	2.04	1.94	1.38	1.25	0.66	0.43
San Pedro	4.97	4.78	2.50	2.36	1.76	1.57	0.71	0.41
Yapacaní	3.73	3.12	1.23	0.99	0.92	0.35	0.33	0.32

^o: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 21. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de fluazifop butilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	0.610	0.087	0.869	18.52	2.92	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	1.791	0.255	0.943	23.74	57.65	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	0.727	0.103	0.942	11.45	56.34	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	0.896	0.128	0.851	17.28	19.72	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	0.888	1.266	0.879	14.92	24.94	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 22. Efecto del fluazifop butilo sobre el peso seco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^º.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	0.67	0.36	0.31	0.30	0.30	0.30	0.24	0.17
Aguaí	0.85	0.40	0.29	0.23	0.14	0.12	0.10	0.10
Chané	0.65	0.54	0.46	0.32	0.28	0.30	0.24	0.18
San Pedro	0.68	0.60	0.58	0.59	0.42	0.38	0.27	0.18
Yapacaní	0.66	0.66	0.64	0.51	0.46	0.40	0.28	0.19

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 23. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de haloxifop metilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	5.152	0.736	0.980	14.65	176.16	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	5.957	0.851	0.937	24.69	51.07	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	13.12	1.874	0.925	20.65	42.53	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	8.395	1.199	0.930	14.25	45.85	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	11.67	1.668	0.925	18.95	42.61	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 24. Efecto del haloxifop metilo sobre el peso seco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	6	12	24	48	96	192	384
San José	1.46	0.41	0.39	0.36	0.38	0.24	0.12	0.13
Aguaí	1.59	0.59	0.46	0.46	0.49	0.21	0.22	0.13
Chané	1.74	1.65	1.63	1.51	0.72	0.45	0.19	0.20
San Pedro	1.65	1.69	1.56	1.54	1.02	0.62	0.65	0.31
Yapacaní	1.35	1.57	1.55	1.53	1.53	0.42	0.19	0.18

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 25. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de setoxidim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	1.018	0.145	0.840	28.54	18.10	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	2.577	0.368	0.876	34.26	24.29	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	1.477	0.211	0.877	17.04	24.58	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	2.005	0.286	0.855	16.21	20.28	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	1.874	0.267	0.880	22.88	25.21	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 26 . Efecto del setoxidim sobre el peso seco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003 ^e.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	18	36	72	144	288	576	1152
San José	0.68	0.47	0.41	0.24	0.18	0.18	0.15	0.18
Aguaí	0.85	0.79	0.41	0.25	0.18	0.15	0.11	0.10
Chané	0.73	0.74	0.71	0.68	0.64	0.36	0.26	0.19
San Pedro	0.94	0.94	0.92	0.88	0.88	0.52	0.52	0.24
Yapacaní	0.69	0.67	0.68	0.65	0.39	0.17	0.14	0.16

^e: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 27. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de cletodim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	4.495	0.642	0.970	12.25	113.3	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	5.140	0.734	0.955	20.19	73.75	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	10.18	1.454	0.955	18.42	73.14	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	8.804	1.257	0.941	17.57	55.64	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	10.06	1.437	0.975	13.70	138.9	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 28. Efecto del cletodim sobre el peso seco (g) de *R. cochinchinensis* a los 14 DDA. Chapingo, México. 2003^o.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6	307.2	614.4
San José	1.36	0.58	0.39	0.35	0.23	0.21	0.19	0.16
Aguaí	1.49	0.57	0.45	0.47	0.35	0.27	0.18	0.18
Chané	1.46	1.41	1.44	0.88	0.26	0.24	0.22	0.14
San Pedro	1.54	1.45	1.49	0.82	0.59	0.35	0.34	0.23
Yapacaní	1.48	1.41	1.38	0.76	0.34	0.19	0.16	0.19

^o: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 29. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de imazetapir ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
San José	Tratam.	7	0.895	0.127	0.911	23.57	35.23	0.0001 **
Aguaí	Tratam.	7	1.617	0.231	0.874	33.79	23.80	0.0001 **
Chané	Tratam.	7	0.851	0.121	0.785	24.12	12.52	0.0001 **
San Pedro	Tratam.	7	1.953	0.279	0.800	28.76	13.75	0.0001 **
Yapacaní	Tratam.	7	1.323	0.189	0.920	21.99	39.73	0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 30. Efecto del imazetapir sobre el peso seco (g) de *R. cochinchinensis* a los 21 DDA. Chapingo, México. 2003^º.

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	10	20	40	80	160	320	640
San José	0.66	0.27	0.28	0.27	0.17	0.14	0.11	0.11
Aguaí	0.79	0.51	0.25	0.20	0.16	0.12	0.15	0.12
Chané	0.64	0.66	0.41	0.45	0.36	0.30	0.25	0.18
San Pedro	0.84	0.88	0.54	0.42	0.41	0.38	0.18	0.18
Yapacaní	0.72	0.53	0.38	0.24	0.22	0.14	0.13	0.12

º: Promedio de cuatro repeticiones con cinco plantas por repetición

Anexo 31. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de fluazifop butilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
San José	Regresión	4	29.649	7.412	124.55	< 0.0001 **
Aguaí	Regresión	4	49.268	12.31	230.27	< 0.0001 **
Chané	Regresión	4	30.812	7.703	100.80	< 0.0001 **
San Pedro	Regresión	4	65.296	16.32	413.31	< 0.0001 **
Yapacaní	Regresión	4	102.90	25.72	148.47	< 0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 32. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de haloxifop metilo ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
San José	Regresión	4	60.185	15.04	243.13	< 0.0001 **
Aguaí	Regresión	4	56.023	14.00	75.710	< 0.0001 **
Chané	Regresión	4	121.40	30.34	229.39	< 0.0001 **
San Pedro	Regresión	4	133.20	33.30	576.34	< 0.0001 **
Yapacaní	Regresión	4	159.50	39.86	842.67	< 0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 33. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de setoxidim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
San José	Regresión	4	57.143	14.288	60.290	< 0.0001 **
Aguaí	Regresión	4	56.346	14.086	118.18	< 0.0001 **
Chané	Regresión	4	282.10	70.512	399.41	< 0.0001 **
San Pedro	Regresión	4	326.70	81.664	495.17	< 0.0001 **
Yapacaní	Regresión	4	32.991	8.2479	117.78	< 0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 34. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de cletodim ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
San José	Regresión	4	40.594	10.148	116.44	< 0.0001 **
Aguaí	Regresión	4	265.90	66.476	67.01	< 0.0001 **
Chané	Regresión	4	97.543	24.385	290.35	< 0.0001 **
San Pedro	Regresión	4	177.00	44.246	423.27	< 0.0001 **
Yapacaní	Regresión	4	141.20	35.296	695.24	< 0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.

Anexo 35. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de imazetapir ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *Rottboellia cochinchinensis*. Chapingo, México. 2004.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
San José	Regresión	4	28.517	7.129	104.19	< 0.0001 **
Aguaí	Regresión	4	34.278	8.569	208.07	< 0.0001 **
Chané	Regresión	4	32.851	8.212	88.990	< 0.0001 **
San Pedro	Regresión	4	38.811	9.702	88.280	< 0.0001 **
Yapacaní	Regresión	4	25.177	6.294	100.91	< 0.0001 **

** : Diferencia altamente significativa, con un $\alpha = 0.05$.