

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

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

**RESISTENCIA DE *Euphorbia heterophylla* L. A ATRAZINA
APLICADA EN PRE Y POST-EMERGENCIA EN POBLACIONES
PROVENIENTES DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE
GUERRERO, MÉXICO**

TESIS

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

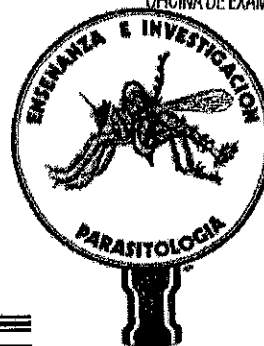
PRESENTA:

ANDRÉ AGUILAR CARPIO

CHAPINGO, MÉXICO, JULIO DE 2006



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



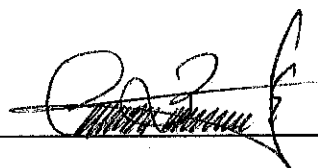
RESISTENCIA DE *Euphorbia heterophylla* L. A ATRAZINA APLICADA EN PRE Y POST-EMERGENCIA EN POBLACIONES PROVENIENTES DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO.

Tesis realizada por André Aguilar Carpio, 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

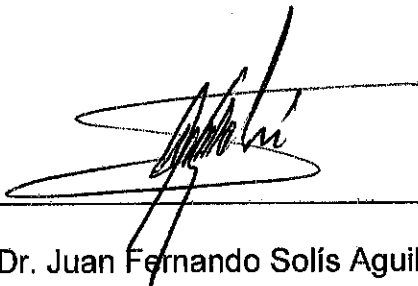
COMITÉ ASESOR:

DIRECTOR :



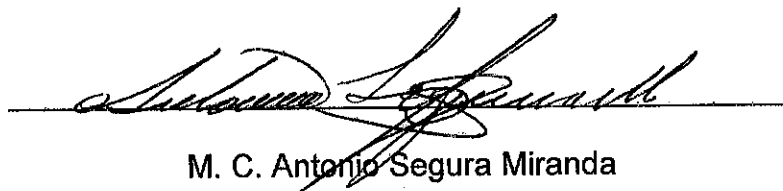
Dr. Andrés Bolaños Espinoza

ASESOR :



Dr. Juan Fernando Solís Aguilar

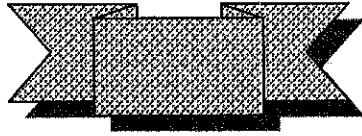
ASESOR :



M. C. Antonio Segura Miranda

Chapingo, México, Julio de 2006

DEDICATORIA

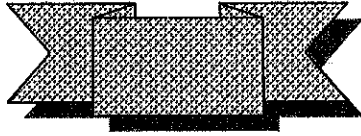


A mis padres: Immer Aguilar Mariscal y Catalina Carpio Rodríguez, porque a través de ustedes logré un objetivo más en mi vida profesional. Para ustedes con amor y respeto.

A mis hermanos: Cid e Immer, que en todo momento se han preocupado por mí y me han ayudado incondicionalmente a la culminación de este importante proyecto de mi vida, con mucho cariño y respeto para ustedes.

A mis amigos, por sus muestras de apoyo y confianza que han tenido en mí, y por hacerme saber que cuento con ellos de manera incondicional.

AGRADECIMIENTOS



A **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**. Por el apoyo a económico brindado para poder realizar los estudios de Maestría.

A LA **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**. Por brindarme las facilidades para mi formación profesional y personal.

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 apoyo y ayuda incondicional en la dirección del presente trabajo, pero sobre todas las cosas por brindarme su amistad y sus consejos, mis más 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.

AL **Dr. JUAN FERNANDO SOLÍS AGUILAR**, por brindarme su apoyo y sumarse desinteresadamente en calidad de asesor del presente trabajo, pero sobre todas las cosas por brindarme su amistad.

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

A MI PADRE **Ph D. IMMER AGUILAR MARISCAL**, por su valioso aporte en la recolección del material y del historial de campo para llevar adelante la investigación, pero sobre todo por su apoyo permanente que me ha brindado.

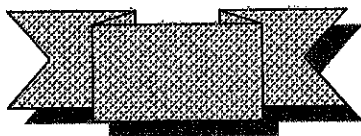
AL **DR. VICTOR MANUEL PINTO**, por su colaboración y cooperación como Coordinadores del Programa de Maestría en Protección Vegetal.

A TODOS Y CADA UNO DE LOS DOCENTES DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL, por impartirme sus conocimientos y por 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 ESPECIAL A TODOS Y CADA UNO DE MIS COMPAÑEROS DE GENERACIÓN, como así también para aquellos compañeros que sin ser de mi generación me brindaron su apoyo y amistad.

BIOGRAFÍA



André Aguilar Carpio, nació en Iguala de la Independencia del estado de Guerrero, el 7 de junio de 1977. Cursó los estudios de educación primaria en la escuela "Gregorio Torres Quintero" (1983-1989) de Iguala, Gro; el nivel medio básico en la Escuela Secundaria "Plan de Iguala" (1989-1992) de Iguala, Gro; el nivel medio superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico, Industrial y de Servicios (CBTis No. 56) (1992-1995) de Iguala, Gro.

Ingresó a la carrera de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero en el año 1998, egresando en el año 2003 y posteriormente titulándose en Abril de 2003.

Durante su formación académica de licenciatura, realizó estancias profesionales en el Vivero Floraplast S.A. de C.V. (Tetecala, Mor. 1999), en el vivero Plantec S.A. de C.V. (Puente de Ixtla, Mor. 2000) y en el FIRA (Tezoyuca, Mor. 2002).

A partir del año 2003 ingresó como becario al Programa de Máximo Rendimiento de la empresa "Syngenta Agro S.A. de C.V." en la capacitación y asesoramiento del agricultor para el manejo eficiente del uso de productos fitosanitarios en la región norte del estado de Guerrero, México; hasta Julio de 2003.

En Agosto de 2003, gracias a la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, hace su ingreso al Programa de Maestría en Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, México; egresando en Junio del 2005.

El estudio de malezas ha sido su área de interés desde su primera investigación de tesis de licenciatura **"Control pre-emergente de malezas en maíz"**. Actualmente su línea de investigación se relaciona con el uso intensivo del herbicida atrazina, el cual inicio con su tesis de Maestría en Ciencias titulada **"Resistencia de *Euphorbia heterophylla* L. a atrazina aplicada en pre-emergencia y post-emergencia en poblaciones provenientes de la región norte del estado de Guerrero, México"**.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO.....	xiii
ÍNDICE DE CUADROS EN EL ANEXO.....	xv
RESUMEN (ABSTRACT).....	xviii
 1. INTRODUCCIÓN.....	 1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
2.1. Objetivos.....	3
2.2. Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Conceptos.....	4
3.1.1. Maleza.....	4
3.1.2. Herbicida.....	4
3.1.3. Tolerancia.....	5
3.1.4. Susceptibilidad.....	5
3.1.5. Resistencia.....	5
3.1.6. Resistencia cruzada.....	6
3.1.7. Resistencia múltiple.....	6
3.2. Biología y ecología de <i>Euphorbia heterophylla</i>	6
3.2.1. Origen.....	6
3.2.2. Importancia y distribución.....	7
3.2.3. Descripción botánica.....	8
3.2.4. Taxonomía.....	11
3.2.5. Manejo y control.....	12
3.2.5.1. Control químico.....	12
3.2.5.2. Control biológico.....	12
3.2.5.3. Control cultural.....	13
3.3. Características de los herbicidas utilizados.....	14
3.3.1. Función fisiológica del fotosistema.....	14

3.3.2. Herbicidas inhibidores del fotosistema II.....	15
3.3.2.1. Mecanismo de acción de los herbicidas inhibidores del fotosistema II.....	16
3.3.3. Herbicidas del grupo de las triazinas.....	19
3.3.3.1. Principales herbicidas del grupo: Usos y malezas que controlan.....	20
3.3.4. Herbicida atrazina.....	21
3.3.4.1. Propiedades físico-químicas de la atrazina.....	22
3.3.4.2. Descripción del herbicida utilizado en el presente trabajo.....	23
3.4. Resistencia a herbicidas en las plantas.....	25
3.4.1. Antecedentes de malezas resistentes a herbicidas.....	25
3.4.2. Evolución de plantas resistentes.....	25
3.4.3. Mecanismo de resistencia.....	27
3.4.4. Estrategias para el manejo de malezas resistentes a herbicidas.....	28
3.5. Detección de resistencia de malezas a herbicidas mediante bioanálisis.....	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1. Recolección de semillas.....	32
4.2. Conducción de los bioanálisis.....	35
4.2.1. Lugar de establecimiento de los bioanálisis.....	35
4.2.2. Suelo utilizado para el establecimiento de los bioanálisis.....	35
4.2.3. Germinación de semillas, transplante y establecimiento.....	36
4.2.4. Aplicación de los tratamientos.....	37
4.3. Diseño experimental.....	37
4.3.1. Tratamientos evaluados.....	38
4.3.2. Variables respuesta y evaluaciones.....	39
4.3.2.1. Porcentaje de daño visual.....	39
4.3.2.2. Peso fresco.....	39
4.3.2.3. Peso seco.....	40

4.3.3. Determinación de la tasa de reducción media del crecimiento e índice de resistencia.....	40
4.4. Análisis estadístico.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1. Bioanálisis con atrazina en pre-emergencia.....	41
5.1.1. Porcentaje de daño visual.....	41
5.1.2. Peso fresco y peso seco del follaje.....	42
5.1.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC ₅₀) e índice de resistencia (IR).....	44
5.2. Bioanálisis con atrazina en post-emergencia.....	48
5.2.1. Porcentaje de daño visual.....	48
5.2.2. Peso fresco y peso seco del follaje.....	49
5.2.3. Tasa de reducción media del crecimiento (RC ₅₀) e índice de resistencia (IR).....	52
6. CONCLUSIONES.....	56
7. RECOMENDACIONES.....	58
8. LITERATURA CITADA.....	59
9. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO

Cuadro	Página
1 Principales herbicidas del grupo químico triazina usos y malezas que controlan.....	20
2 Composición porcentual del herbicida Gesaprim Autosuspensible.	23
3 Principales malezas que controlan el herbicida Gesaprim Autosuspensible.....	24
4 Historial de campo y uso de herbicidas de las poblaciones de <i>E. heterophylla</i> recolectadas en la zona norte del estado de Guerrero, México. 2005.....	32
5 Herbicidas y dosis utilizadas en el bioanálisis para la evaluación de resistencia de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo. México. 2005.....	38
6 Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	45
7 Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO

Figura		Página
1	Mapa de distribución mundial de <i>E. heterophylla</i>	7
2	Mapa de distribución nacional de <i>E. heterophylla</i>	9
3	Principales características biológicas de <i>E. heterophylla</i>	10
4	Representación esquemática de la ruta metabólica del fotosistema en las plantas.....	15
5	Sitio de inhibición e interferencia por compuestos de herbicidas de la ruta metabólica del fotosistema en las plantas.....	18
6	Estructuras químicas de tres herbicidas del grupo de las triazinas...	19
7	Curva típica del modelo no lineal de dosis – respuesta a la aplicación de dosis crecientes.....	30
8	Mapa de la zona norte del estado de Guerrero, México y ubicación de los sitios de recolección de las semillas de <i>E. heterophylla</i>	34
9	Procedimiento del trabajo de investigación.....	37
10	Aplicación de los tratamientos con un equipo experimental presurizado a base de CO ₂	38
11	Proceso de evaluación en forma visual.....	39
12	Evaluación visual del porcentaje de daño a los 15 DDA de atrazina en pre-emergencia a <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	41
13	Efecto de la atrazina en pre-emergencia sobre el peso fresco de plantas de <i>E. heterophylla</i> 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	43
14	Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	43
15	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>E. heterophylla</i> de Apipilulco (1), Cocula (2), Col. Obregón (3), Col. Obregón (Sorgo) (4), Col. Tijuánita (5), Metlapa (6), Iguala (7) y Testigo (8) tratadas con dosis crecientes de atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	46

Figura		Página
16	Respuesta de las poblaciones de <i>E. heterophylla</i> al herbicida atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	47
17	Evaluación visual del porcentaje de daño a los 15 DDA de atrazina en post-emergencia a <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	49
18	Efecto de la atrazina en post-emergencia sobre el peso fresco de plantas de <i>E. heterophylla</i> 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	50
19	Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	51
20	Curvas de regresión para las poblaciones de <i>E. heterophylla</i> de Apipilulco (1), Cocula (2), Col. Obregón (3), Col. Obregón (Sorgo) (4), Col. Tijuana (5), Metlapa (6), Iguala (7) y Testigo (8) tratadas con dosis crecientes de atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	54
21	Respuesta de las poblaciones de <i>E. heterophylla</i> al herbicida atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	55

ÍNDICE DE CUADROS EN EL ANEXO

Cuadro	Página
1A. Porcentaje de daño visual a los 5 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	69
2A. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 5 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	69
3A. Porcentaje de daño visual a los 10 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	70
4A. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 10 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	70
5A. Porcentaje de daño visual a los 15 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	71
6A. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 15 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	71
7A. Efecto de atrazina en pre-emergencia sobre el peso fresco (g) de <i>E. heterophylla</i> a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	72
8A. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	72

Cuadro		Página
9A.	Efecto de atrazina en pre-emergencia sobre el peso seco (g) de <i>E. heterophylla</i> a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	73
10A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005....	73
11A.	Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	74
12A.	Porcentaje de daño visual a los 5 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	74
13A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 5 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	75
14A.	Porcentaje de daño visual a los 10 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	75
15A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 10 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	76
16A.	Porcentaje de daño visual a los 15 DDA, del bioanálisis de resistencia de <i>E. heterophylla</i> a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.....	76
17A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 15 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	77

Cuadro		Página
18A.	Efecto de atrazina en post-emergencia sobre el peso fresco (g) de <i>E. heterophylla</i> a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	77
19A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	78
20A.	Efecto de atrazina en post-emergencia sobre el peso seco (g) de <i>E. heterophylla</i> a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005.....	78
21A.	Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005....	79
22A.	Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de <i>E. heterophylla</i> . Chapingo, México. 2005.....	79

**RESISTENCIA DE *Euphorbia heterophylla* L. A ATRAZINA APLICADA EN PRE-
EMERGENCIA Y POST-EMERGENCIA EN POBLACIONES PROVENIENTES DE LA
REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO**

**RESISTANCE IN *Euphorbia heterophylla* L. TO ATRAZINE APPLIED IN PRE-
EMERGENCE AND POST-EMERGENCE STAGES IN POPULATIONS FROM THE
NORTHERN REGION OF THE STATE OF GUERRERO, MEXICO**

André Aguilar Carpio¹, Andrés Bolaños E.²

RESUMEN

Se llevaron a cabo bioensayos para evaluar la respuesta de poblaciones de "Lechosa" (*Euphorbia heterophylla*) asociadas a los cultivos de maíz y sorgo, provenientes de la zona norte del estado de Guerrero, México. Estas poblaciones fueron seleccionadas debido a la respuesta deficiente observada en la aplicación comercial del herbicida atrazina. Los bioensayos fueron llevados a cabo bajo condiciones de invernadero de Mayo a Octubre de 2005, en la Universidad Autónoma Chapingo Estado de México. Se determinó las dosis-respuesta del herbicida para estimar los valores de inhibición del crecimiento (RC_{50}), basado en la reducción del peso fresco, además del Índice de resistencia (IR). Se encontraron bajos niveles de resistencia en dos de las ocho poblaciones evaluadas.

Palabras claves: atrazina, resistencia, *Euphorbia heterophylla*.

ABSTRACT

Bioassays were conducted to evaluate the response of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*) populations associated with maize and sorghum crops from the northern zone of Guerrero state, Mexico. Populations were selected because of their deficient response to commercial application of atrazine herbicide. Greenhouse bioassays were carried out from May to October 2005, at Chapingo University, Mexico State. To determine the herbicide dose-response to estimate growth inhibition (GR_{50}) values based on above-ground fresh weight, also of the resistance index (IR). The lower levels of resistance were found in two of the eight populations evaluated.

Key words: atrazine, resistance, *Euphorbia heterophylla*

¹ Tesista.

² Director de Tesis

1. INTRODUCCIÓN

Euphorbia heterophylla L. conocida comúnmente como "Lechosa o Lechosilla" en México y como "Wild ponsettia o Mexican fireplant" en Estados Unidos, es una maleza de gran importancia originaria del continente Americano. Es considerada una planta invasora de diversos cultivos por su capacidad de competencia, además de que existen registros de que esta especie está presente en 65 países y 15 cultivos (Ross y Lembi, 1999). Esta maleza se le ha encontrado infestando los cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar y soya (Holm *et al.*, 1977).

Desde la identificación de los primeros biotipos ha tenido lugar un incremento fuerte en el número de malezas resistentes a diferentes herbicidas en distintas partes del mundo. La última revisión hecha por Heap (2006) señala 303 biotipos resistentes a herbicidas pertenecientes a 182 especies (109 de dicotiledóneas y 73 monocotiledóneas) distribuidos en 60 países, de los cuales 22 corresponden a herbicidas inhibidores del fotosistema II, grupo que ocupa el segundo lugar después de los inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS).

En México se encuentran reportados dos biotipos de malezas resistentes, pero probablemente existen más, ya que se tienen pocos estudios en esta área (Morgado, 1999). En algunas regiones del estado de Guerrero se ha observado una falta de control adecuado de varias malezas sobre todo en áreas donde cada año se siembran maíz y sorgo; ya que en los últimos años se han usado los mismos herbicidas para controlarlas. En particular se ha observado que *E. heterophylla* muestra cierta tolerancia a las triazinas (específicamente a atrazina), situación que se reportó para esta especie en Ecuador en 1990 (De Prado y Jorrín, 2001).

La mayoría de los herbicidas inhibidores de la fotosíntesis bloquean el transporte del electrón fotosintético por competencia con la plastoquinona ligado con la D₁, la proteína está ligada con la quinona en el fotosistema II de las membranas del tilacoides de los plástidos (Devine *et al.*, 1993). La preexistencia o resistencia

natural de los cultivos a estos herbicidas, que son conocidos como los inhibidores del fotosistema II, se determina a través de la translocación y/o un bajo crecimiento; así como, una destoxificación metabólica de los herbicidas por varias reacciones metabólicas (De Prado y Jorrín, 2001).

La incidencia de resistencia a los herbicidas inhibidores del fotosistema II se ha incrementado; la primera maleza resistente a triazinas fue *Senecio vulgaris* L., que se encontró en 1968 (Ryan, 1970). Recientes estudios indican que de 63 especies de malezas, 43 dicotiledóneas y 20 monocotiledóneas muestran resistencia a los herbicidas del grupo de las triazinas en 22 países en el mundo, haciendo este uno de los grupos más prevalecientes de biotipos resistentes de muchas malezas. En el mundo hay más de tres millones de hectáreas infestadas con malezas resistentes a triazinas, las que se pueden controlar con otros herbicidas alternos. A pesar de lo antes citado la venta de triazinas han disminuido, principalmente debido a restricciones de uso (Heap, 2006).

En Brasil se reporta que *E. heterophylla* ha desarrollado resistencia múltiple en los cultivos de maíz y soya, a los grupos de herbicidas inhibidores de la ALS, PPO, fotosistema II y otros grupos de herbicidas. Estos biotipos en particular se sabe que han mostrado resistencia al acifluorfen, atrazina, cloransulam-metil, diclosulam, flumetsulam, flumiclorac-pentil, fomesafen, imazethapyr, lactofen, metsulfurón-metil y nicosulfurón; y tal vez resistencia cruzada a otros herbicidas (Heap, 2006).

El estado de Guerrero es una zona productora de maíz que actualmente ocupa el séptimo lugar a nivel nacional. En la región norte del estado de Guerrero los principales cultivos son el maíz y sorgo ocupando una superficie aproximada de 150,000 ha que equivalen en promedio al 30% del área total sembrada en la entidad (CEA, 2004).

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

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

- 📖 Determinar la existencia de resistencia a atrazina en diferentes poblaciones de la maleza *E. heterophylla* proveniente de ocho localidades de la zona norte del estado de Guerrero, México.
- 📖 En caso de existir resistencia de *E. heterophylla* a atrazina, determinar el índice de resistencia de cada una de las poblaciones resistentes con relación a la población más susceptible.

Ante la naturaleza de la investigación y en base a los objetivos enunciados, se plantean las siguientes hipótesis:

2.2 Hipótesis

- 📖 Existe al menos una población de *E. heterophylla* con un alto nivel de resistencia a atrazina.
- 📖 El tratamiento químico aplicado en pre y post-emergencia a la maleza será eficiente para el control de *E. heterophylla*.
- 📖 El nivel de resistencia en cada población esta relacionada con la intensidad de uso del herbicida atrazina.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Conceptos

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 consideran 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. Herbicida

Son sustancias químicas utilizadas para el control de plantas nocivas, que pueden matar a las plantas, inhibir la germinación y/o el crecimiento normal de las mismas (Pitty, 1995).

3.1.3. 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.

Otro concepto que se ajusta al contexto, es el que describe Robles (1990), como la capacidad de una planta, variedad o especie de recuperarse del daño causado por insectos o por fitopatógenos.

3.1.4. Susceptibilidad

El concepto de susceptibilidad está referido para 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).

3.1.5. Resistencia

La resistencia está definida como la capacidad hereditaria natural de algunos biotipos dentro de una población para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida que, bajo condiciones normales de empleo, controla efectivamente esa población de maleza (Valverde *et al.*, 2000).

La resistencia a herbicidas es definida como la capacidad natural y heredable de algunos biotipos de malas hierbas de una población determinada para sobrevivir a un tratamiento herbicida, que debería controlar con eficacia esa población en las condiciones normales de uso. La selección de biotipos resistentes ocasiona fallas en el control (Powles *et al.*, 1997).

3.1.6. Resistencia cruzada

Es la resistencia a dos o más herbicidas debida a un mismo mecanismo fisiológico. Se señala que la presencia de un mecanismo puede complicar la selección de herbicidas alternativos como herramienta para controlar un caso de resistencia. Por ello, la estrategia de control debe incorporar algo más que un simple cambio de producto (Valverde *et al.*, 2000).

La resistencia cruzada negativa se refiere a aquellos casos en que un biotipo resistente a un herbicida exhibe un aumento en la susceptibilidad a otros herbicidas con distinto modo de acción o de degradación (Valverde *et al.*, 2000).

3.1.7. Resistencia múltiple

La resistencia múltiple describe aquellas situaciones en las que los biotipos resistentes tienen dos o más mecanismos distintos de resistencia (Valverde *et al.*, 2000). Por su parte Ross y Lembi (1999) señalan que la resistencia múltiple se presenta en poblaciones de malezas que son resistentes a dos o más herbicidas de diferentes familias químicas con diferentes modos de acción.

3.2. Biología y ecología de *Euphorbia heterophylla*

3.2.1. Origen

Esta maleza proviene de regiones tropicales y subtropicales del continente Americano. Se le designó a esta planta con el nombre de *Euphorbia* en homenaje a su médico Euphorbus; esto debido a las propiedades medicinales de la planta. El termino *Heterophylla* derivado del griego «heteros» que significa diferente y «phyllon» que significa hojas, todo ello debido a las diferentes formas de las hojas (Holm *et al.*, 1977; Radosevich y Holt, 1984).

3.2.2. Importancia y distribución

E. heterophylla es originaria del continente Americano, pero actualmente se encuentra distribuida en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo (Figura 1). Según Lorenzi y Jeffery (1987) se pueden encontrar plantas desde el nivel del mar hasta cerca de 1,400 m de altitud, pero sólo es una maleza problemática en climas cálidos. Se encuentra en diversos cultivos, hortalizas, pastos y terrenos no cultivados, y es particularmente problemática en maíz, frijol, soya y caña de azúcar.

Está considerada como una maleza principal o problemática en 10 países y como especie nociva en 37 países (Holm *et al.*, 1979; Powell, 1983). Wilson (1981) menciona que se presenta como maleza en el cultivo de frijol en Nigeria; cítricos, aguacate y mangos en la Florida (EE.UU.); soya en EE.UU., Brasil y Nigeria; y algodón en Israel. Esto ilustra su capacidad de crecer y competir en muchos ambientes y sistemas de cultivo.

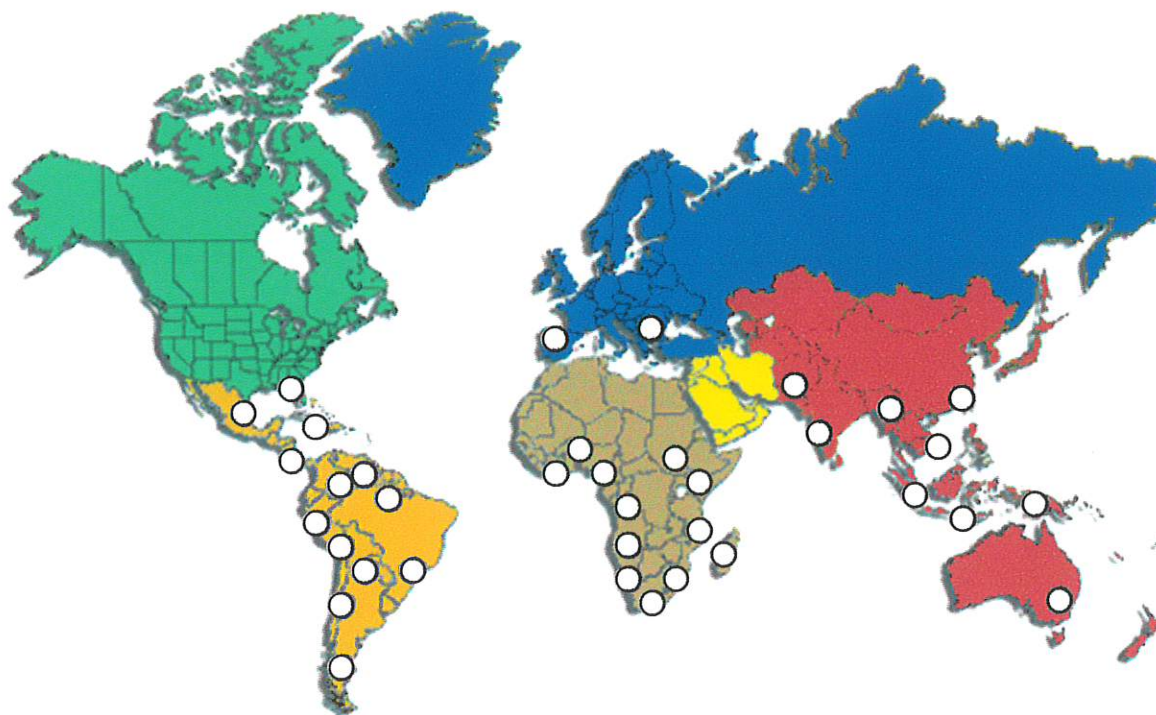


Figura 1. Mapa de distribución mundial de *E. heterophylla*.

E. heterophylla esta ampliamente distribuida y establecida en la Republica Mexicana (Figura 2) infestando principalmente a los cultivos de ajonjolí, algodón, arroz, cacahuete, café, caña de azúcar, cártamo, cítricos, estropajo, frijol, frutales, girasol, leguminosa forrajeras, maíz, mango, okra, papaya, plátano, potreros, sandia, sorgo y soya (Villaseñor y Espinosa, 1998).

E. heterophylla infesta más del 25% de los campos de soya en Brasil. Hoffmann *et al.* (1979) señala densidades de 75 plantas·m² de maleza reduciendo así su rendimiento en un 12%. Las pérdidas fueron mucho mayores en EE.UU., donde 8 plantas·m² de maleza compitiendo de 8 a 12 semanas redujeron el rendimiento; y cuando la competencia se dio todo el ciclo el rendimiento se redujo hasta en un 33%. También se menciona que densidades de 50 plantas·m² de malezas condujeron al fracaso del cultivo. Lorenzi (2000) menciona que con seis semanas sin competencia de *E. heterophylla* el rendimiento no se ve afectado en maíz, soya y caña de azúcar. Sin embargo, el látex pegajoso en la savia de las plantas emergidas tardíamente o de poblaciones no competitivas de la maleza contamina el grano con tierra y la paja en la cosecha elevando su contenido de humedad (Brecke, 1995).

Según Gelmini *et al.* (2001) los rendimientos de una variedad de maíz y soya en Brasil fueron reducidos en un 25 y 53%, respectivamente; esto cuando 10 plantas·m² de *E. heterophylla* compiten con el cultivo durante todo el ciclo. Las malezas que emergen a los 20 días o más después de la siembra no tuvieron efecto sobre los rendimientos, pero aquéllas que emergieron con el cultivo y que no fueron controladas, sombrearon completamente al cultivo a las seis semanas (Akobundu, 1987).

3.2.3. Descripción botánica

E. heterophylla es una maleza de hoja ancha anual, erecta y alta; con látex lechoso y pegajoso en todas sus partes, razón por la cual se le conoce como "lechosa", "lechosilla" y "lechón". Esta planta llega a crecer de 30 a 100 cm. de altura y

presenta tallos huecos, sencillos o ramificados, con nervaduras angulares. Las hojas tienen formas variable, tanto dentro como entre las poblaciones. Las hojas inferiores son alternas y las superiores son opuestas y a menudo presentan una base blanquecina o rojo-brillante. Los frutos tienen tres lóbulos y cuando están maduros explotan, dispersando las semillas a 1 m o más desde la planta progenitora (Figura 3). (Almazán, 1991).



Figura 2. Mapa de distribución nacional de *E. heterophylla* (adaptado de Villaseñor y Espinosa, 1998).

Esta maleza crece desde el nivel del mar hasta 1,700 m de elevación pero es más común en elevaciones bajas. Las hojas son alternas en su mayoría y las hojas superiores son opuestas o verticiladas y pecioladas. Los pecíolos son cortos o ausentes; son de color verde opaco en la parte inferior y verde más intenso en la superior. Su forma es variable en la misma planta (Muñoz y Pitty, 1994). Además, señalan que su inflorescencia es en grupo compacto terminal subtendido por pequeñas hojas o brácteas. El pedicelo es corto y los pétalos y sépalos están ausentes. Las glándulas solitarias son cóncavas y grandes. El fruto es una cápsula

de tres lóbulos con tres semillas de color castaño, ásperas, con una proyección en el extremo apical. Se propaga por semillas. El látex lechoso se usa en medicina doméstica. Es hospedero de algunos virus (Muñoz y Pitty, 1994).

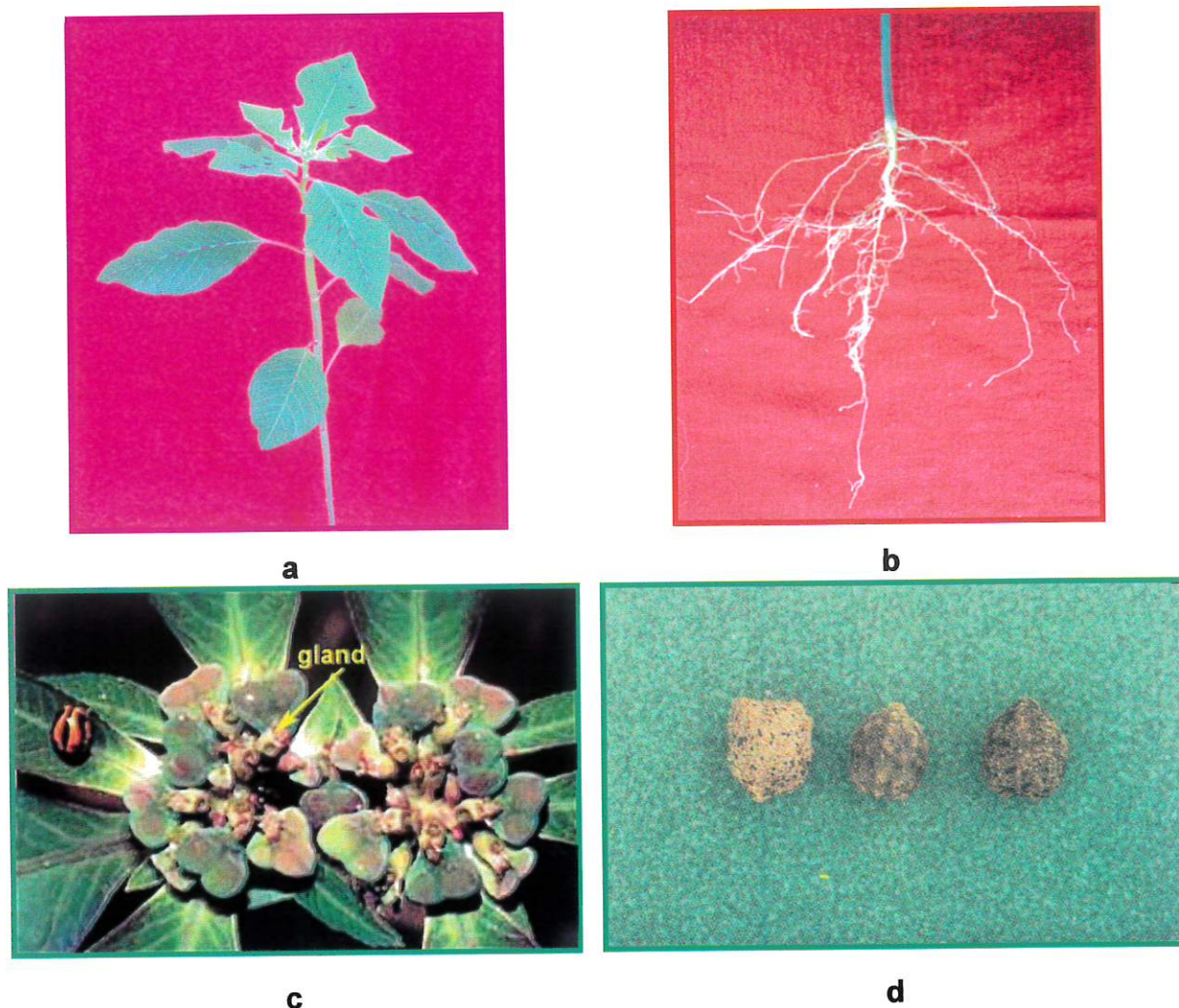


Figura 3. Principales características biológicas de *E. heterophylla*: a) planta completa, b) sistema radicular, c) inflorescencias y e) semilla.

En áreas tropicales las semillas recién cosechadas no presentan latencia, pero en regiones templadas cálidas si. Esto es una aparente adaptación a esos ambientes, ya que las plantas que empiezan a crecer al final del año en las áreas subtropicales serían destruidas por las temperaturas invernales (Molina, 1999). Las semillas germinan durante un período prolongado en el campo y las plantas crecen muy rápido y, por lo tanto, son muy competitivas con los cultivos (Pitty, 1997). Puede

cubrir completamente un cultivo de maíz o soya dentro de 2 a 3 semanas de la emergencia. Esta maleza llega a florecer a los 30 días de la emergencia. La polinización se realiza mediante insectos que son atraídos a las flores por las grandes cantidades de néctar producido por glándulas que se encuentran en las misma (Melhoranca y Pereira, 2000). Después de 20 a 25 días se forman semillas maduras. Las plantas individuales pueden tener 100 semillas en un momento dado y pueden producir más de 4,500 semillas durante el ciclo de vida (Brecke, 1995). Las semillas germinan fácilmente bajo temperaturas de 25 a 35 °C. La emergencia es mayor cuando las semillas están de 0 a 8 cm. de profundidad (40 a 47%) disminuye a 22% a 10 cm., 12% a 12 cm. y 0% a 14 cm. Esta capacidad de emerger desde tales profundidades aumenta la habilidad competitiva y hace más difícil el control de *E. heterophylla* (Cerdeira y Voll, 1980).

Son plantas dioicas con látex blanco, que aparece al cortar hojas y tallos. Las flores masculinas y femeninas se reúnen en un pequeño involucro en forma de cáliz, simulando una flor hermafrodita. De color ordinariamente amarillento y reunidas en umbela, provista en la base de un verticilo foliar y bajo las flores aparecen dos brácteas. El fruto en cápsula, contiene tres logias monospermas (Villariás, 2000).

3.2.4 Taxonomía

La clasificación botánica de la especie *E. heterophylla* ha sido establecida de la siguiente forma según Espinosa y Sarukhán (1997):

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Euphorbiales
Familia:	Euphorbiaceae
Genero:	<i>Euphorbia</i>
Especie:	<i>E. heterophylla</i>

3.2.5. Manejo y control

3.2.5.1. Control químico

Heap (2006) reporta para el control de *E. heterophylla*, en maíz y sorgo la aplicación de 2,4-D, dicamba, picloram, atrazina, dimetenamida, nicosulfurón y oxyfluorfen; además, la aplicación de acifluorfen, fomesafen, lactofen, imazethapyr, imazaquin, bentazona y metribuzina en soya; y el herbicida metsulfurón-metil en caña de azúcar y trigo.

Las triazinas como atrazina y metribuzina pueden producir un control aceptable durante varias semanas (especialmente cuando las lluvias son abundantes después de la aplicación), pero raras veces durante todo el ciclo del cultivo (Ritter y Membere, 1997). Las ureas sustituidas como linurón y diurón, no tienen efecto alguno sobre esta maleza. Actualmente existen otros herbicidas para el control de esta maleza como mesotrione, cloransulam-metil, diclosulam, flumetsulam, flumiclorac-pentil y chlorimuron (Heap, 2006).

3.2.5.2. Control biológico

Ávila (2004) menciona el uso de "micoherbicidas" para el control de malezas mediante hongos es una de las alternativas más promisorias hacia un futuro a mediano plazo como una estrategia complementaria dentro de un programa de manejo integrado.

Se han tenido algunos éxitos con insectos, pero se tienen mejores oportunidades con el uso de microorganismos. Actualmente son comerciales las esporas de *Colletotrichum gleosporoides* para controlar malezas en maíz y soya. Existen otros patógenos que han mostrado buenos resultados para el control de algunas malezas como son *Fusarium moniliforme*, *Curvularia* sp. *Cladosporium* sp. y *Helminthosporium* sp (Rojas, 1990).

3.2.5.3. Control cultural

En la mayoría de los cultivos las medidas de control mecánicas y manuales son efectivas si se realizan oportunamente en varias ocasiones durante el ciclo de desarrollo de la maleza, pero la alteración del suelo crea condiciones favorables para que otras semillas de maleza germinen, ya que continúan creciendo y compitiendo (Burril *et al.*, 1977). La integración de las medidas mecánicas, manuales, culturales y el uso de herbicidas en sistemas de manejo bien planeados es el mejor enfoque para el control de *E. heterophylla*.

Otra estrategia que ha dado excelentes resultados para el control de esta maleza, es la práctica de la mínima o cero labranza. Burril *et al.* (1977) 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 funcionará mejor y más 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 (Ávila, 2004).

Extensos estudios sobre competencia realizado por investigadores de la Universidad del Estado de Carolina del Norte (EE.UU.) condujeron al desarrollo de un programa de computación (HERB) que predice los efectos de densidades específicas de *E. heterophylla* no controlada sobre el rendimiento de soya; con sólo 5 plantas·9.5 m² la pérdida de rendimiento pronosticada fue del 8% (Gelmini *et al.*, 2001). El programa entonces calcula el valor de la cosecha perdida y determina los ingresos de varias estrategias de control para los rendimientos y el valor de cosecha esperados, basado en los costos del control a los tamaños actuales de la maleza y los niveles de humedad del suelo; para 5 plantas·9.5 m², entre 5 y 10 cm. de altura, en un campo con buena humedad, tres herbicidas producirían ingresos superiores a los costos.

3.3. Características del herbicida utilizado

3.3.1. Función fisiológica del fotosistema

Existen dos tipos de fotosistemas, el fotosistema I (FS I), está asociado a moléculas de clorofila que absorben a longitudes de ondas largas (700 nm) y se conoce como P700. El fotosistema II (FS II), está asociado a moléculas de clorofila que absorben longitudes de ondas de 680 nm, por eso se denomina P680. El fundamento de la fotosíntesis es la conversión de la energía lumínica en energía química por medio de un transporte de electrones. Existen dos reacciones encadenadas producidas por el transporte de electrones que finalizan en la producción de ATP (molécula que emplean las células para los procesos que requieren energía). En la primera parte, en el FS I (sistema de pigmentos que captan la energía lumínica) se produce NADPH (generado de fructosa-6-fosfato) y ATP para realizar los procesos metabólicos, que se empleará en la síntesis de azúcares. En la segunda reacción, en el FS II, se extraen electrones del agua para producir oxígeno (Bidwell, 2000).

La luz es recibida en el FS II por la clorofila P680 que se oxida al liberar un electrón que asciende a un nivel superior de energía; ese electrón es recogido por una sustancia aceptora de electrones que se reduce, la plastoquinona (PQ) y desde ésta va pasando a lo largo de una cadena transportadora de electrones, entre los que están varios citocromos (b y f) y así llega hasta la plastocianina (PC) que se los cederá a moléculas de clorofila del FS I (Salisbury y Ross, 1992).

La PQ son quinonas (Q) especiales localizadas en los plástidos; llevan dos electrones desde el FS II al FS I, y también transportan H^+ desde el estroma hacia la luz (lumen) de los tilacoides. En la actualidad se acepta que la mayor parte del FS II se presenta sólo en las regiones apresadas del grana tilacoidal. En las regiones no apresadas de la grana, así como en los tilacoides del estroma, el FS II participa mucho menos. La función general del FS II es utilizar energía luminosa para reducir

la PQ oxidada a su forma completamente reducida (PQH₂) utilizando los electrones del agua; tal como se muestra en la Figura 4 (Salisbury y Ross, 1992).

El FS II se reduce al recibir electrones procedentes de una molécula de H₂O, que también por acción de la luz, se descompone en hidrógeno y oxígeno, en el proceso llamado fotólisis del H₂O. De este modo se puede mantener un flujo continuo de electrones desde el agua hacia el FS II y de éste al FS I (Barceló *et al.*, 1988).

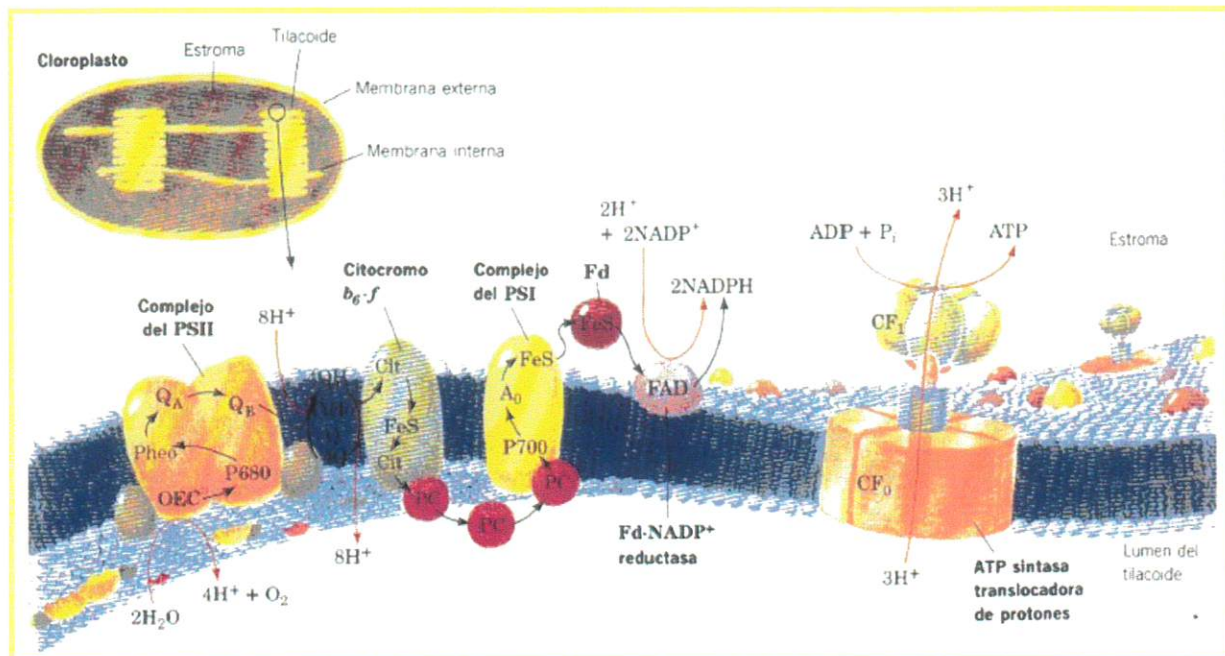


Figura 4. Representación esquemática de la ruta metabólica del fotosistema en las plantas.

3.3.2. Herbicidas inhibidores del fotosistema II

Los herbicidas que inhiben el fotosistema II suelen interferir en alguna reacción durante el transporte de electrones. Estos herbicidas se aplican en pre-emergencia y post-emergencia temprana, y son absorbidos con facilidad por las raíces y el follaje, y se translocan por el apoplasto. Algunos derivados de la urea, como el monuron o CMU (3-p-clorofenil-1,1 dimetilurea) y el diuron o DCMU [3-(3,4 di cloro fenil) -1,1 dimetil urea], que se aplican al suelo, se desplazan por el xilema hasta las hoja,

donde bloquean el transporte de electrones entre las plastoquinonas Q_A y Q_B en el polipéptido D_1 que Inhiben la reacción de Hill en el fotosistema II, por lo que no ocurre la fotólisis del agua ni la liberación de O_2 (Ashton y Crafts, 1981).

Ciertos herbicidas del grupo de las triazinas, como la simazina y atrazina bloquean el transporte de electrones entre Q_A y Q_B . El maíz y el sorgo son tolerantes a las triazinas, pero no así a los derivados de la urea; ya que contienen enzimas que detoxifican dichos compuestos. Los herbicidas como el diquat y paraquat, actúan inhibiendo el flujo de electrones entre la ferredoxina y el NADP, y reduce el oxígeno a un radical superóxido (O_2^-), que produce la pérdida de la actividad de los cloroplastos (Cobb, 1992).

Durante los últimos 20 años, más de 40 especies consideradas como malezas se han vuelto resistentes a las triazinas, lo que se debe, en gran medida, a una mutación en el gen del cloroplasto que codifica el aminoácido serina en la posición 264 en D_1 . En los no mutantes, este polipéptido se une tanto a Q_B como a las triazinas; el mutante de D_1 también se une a Q_B , por lo que puede efectuarse el transporte de electrones, pero ya no puede unirse a triazinas, monurón, diurón o a los uracilos (Salisbury y Ross, 1992).

3.3.2.1. Mecanismo de acción de los herbicidas inhibidores del fotosistema II

Estos herbicidas inhiben el proceso fotosintético interfiriendo en la reacción de Hill, en el transporte de electrones en el fotosistema I ó II. En general, se da un cambio en la secuencia de aminoácidos serina por glicina lo que con lleva a la destrucción por fotooxidación de los carotenoides, por lo tanto, de la clorofila. Pueden ser degradados por plantas superiores, existiendo diferencias entre ellas en cuanto a la tasa y velocidad de metabolización y pueden ser a través de algunos procesos como la dealquilación, conjugación o absorción. Cuando se aplican al suelo son absorbidos por el sistema radical y rápidamente transportados hacia las hojas, vía apoplasto (xilema). Cuando se aplican al follaje se comportan como herbicidas de

contacto, al no poder movilizarse vía simplasto (floema), puede darse un significativo movimiento vía apoplasto funcionando como herbicida de contacto. La acción fitotóxica de estos compuestos se debe principalmente al estrés oxidativo provocado por la interrupción del flujo de electrones en la fotosíntesis. Estos herbicidas generalmente producen clorosis gradual en las plantas, que aparece a los pocos días de aplicación (Devine *et al.*, 1993).

Los inhibidores de fotosíntesis son primariamente tóxicos para latifoliadas pero algunos herbicidas de este grupo son tóxicos para algunas gramíneas en estado inicial de crecimiento. El transporte de estos herbicidas dentro de la planta es en forma ascendente, desde su absorción por raíces junto con el agua y los minerales; por esta razón son de aplicación al suelo. También exhiben cierta actividad foliar si se aplican con coadyuvantes y con una buena cobertura del pulverizado. En las gramíneas los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas, cerca de la base de la planta. Los ápices y bordes foliares muestran primero clorosis y luego necrosis. En las latifoliadas las hojas más viejas son las primeras en afectarse y muestran clorosis en los márgenes y entre las nervaduras, siguiendo una necrosis (Devine *et al.*, 1993).

Se estima que posiblemente la mitad de los herbicidas disponibles presentan un mecanismo de acción que involucra de alguna manera su interacción con componentes de la cadena de transferencia de electrones del FS II. Debemos recordar que la transferencia de electrones del FS II al FS I es esencial para la producción de energía fotosintética. Una etapa crítica en esta cadena de transferencia de electrones es la reducción de la PQ por la proteína D₁ en la membrana del tilacoide. Estos herbicidas se enlazan a la proteína D₁, con lo que se obstruye el enlace de la PQ. Al inhibirse el enlace de la PQ a la proteína D₁, el proceso de transferencia fotosintética de electrones es interrumpido y por lo tanto la síntesis de ATP y NADPH en el cloroplasto es afectada (Figura 5). Esto da como resultado una incapacidad para la fijación de CO₂, necesaria para la producción de los carbohidratos indispensables para la sobrevivencia de la planta. La interrupción

en la transferencia de electrones causa además un estrés oxidativo libre que producen daños celulares rápidamente (Valverde *et al.*, 2000).

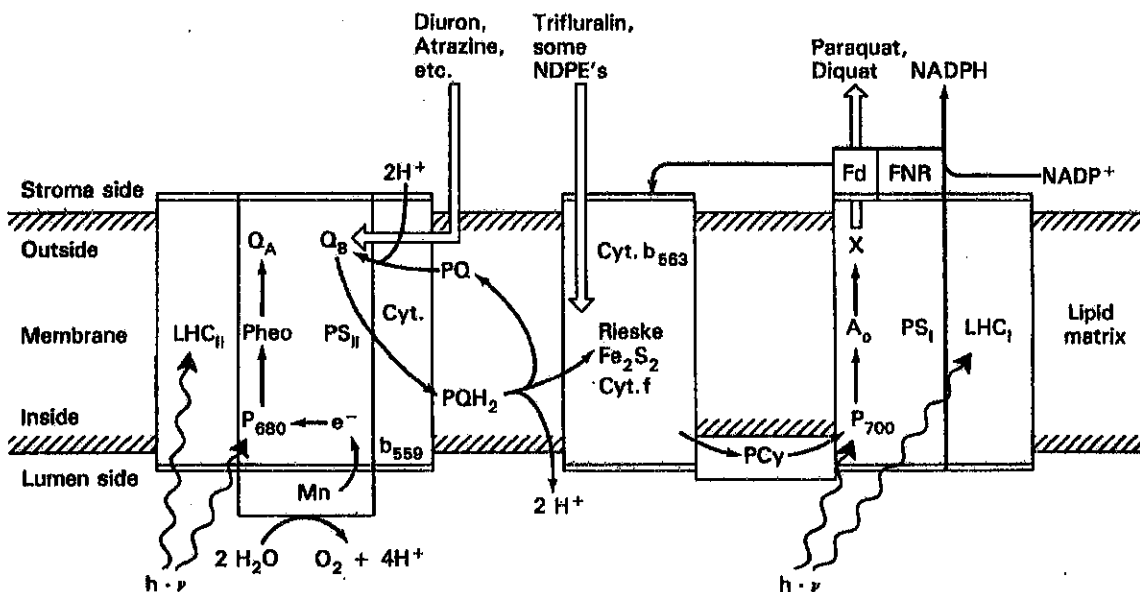


Figura 5. Sitios de inhibición e interferencia por compuestos de herbicidas de la ruta metabólica del fotosistema en las plantas (Fuente: Devine *et al.*, 1993).

Mucho esfuerzo se ha invertido en el diseño de esta clase de herbicidas inhibidores ya que el modo de acción involucra la competencia por un sitio de enlace dentro de una membrana, la efectividad de un herbicida de esta clase será fuertemente afectada por pequeños cambios en su estructura molecular. Por lo tanto, ligeras modificaciones en la estructura de un herbicida puede causar una sensibilidad diferencial entre especies de plantas (Rubin, 1995). Además, debido a que entre especies vegetales la proteína D₁ puede presentar ligeras diferencias en su secuencia de aminoácidos, una efectividad diferencial puede observarse aún con una misma molécula herbicida. Asimismo, las plantas poseen también mecanismos de detoxificación que pueden afectar significativamente la respuesta de los cultivos a los herbicidas. Por ejemplo, el maíz es relativamente insensible a la atrazina debido a su eficiente sistema de detoxificación que involucra una reacción del herbicida con el glutatión (un tripéptido protector) y posterior transporte a la vacuola de la célula (Heap, 2006).

3.3.3. Herbicidas del grupo de las triazinas

La estructura básica de este grupo de herbicidas, son anillos de seis miembros que contienen tres nitrógenos (el prefijo *tri-* quiere decir "tres" y *azina* se refiere a un anillo que contiene nitrógeno) y forman los nitrógenos heterocíclicos. Probablemente las más familiares de éstas son atrazina (Aatrex®), simazina (Princep®), cianazina (Bladex®), prometón (Pramitol®) y propazina (Milogard®). Estos herbicidas son aplicados al suelo principalmente en pre y post-emergencia. La EPA estimó que la atrazina fue el plaguicida de mayor uso en los EE.UU. en 1997, principalmente en maíz (Ritter y Membere, 1997). Las triazinas son fuertes inhibidores del transporte fotosintético de electrones. Inhiben el crecimiento de todos los órganos de plantas intactas, un efecto atribuido a una deficiencia de fotosintato. El mecanismo de acción es el bloqueo de la fotosíntesis, en el Sitio A del FS II (Byrd *et al.*, 1997).

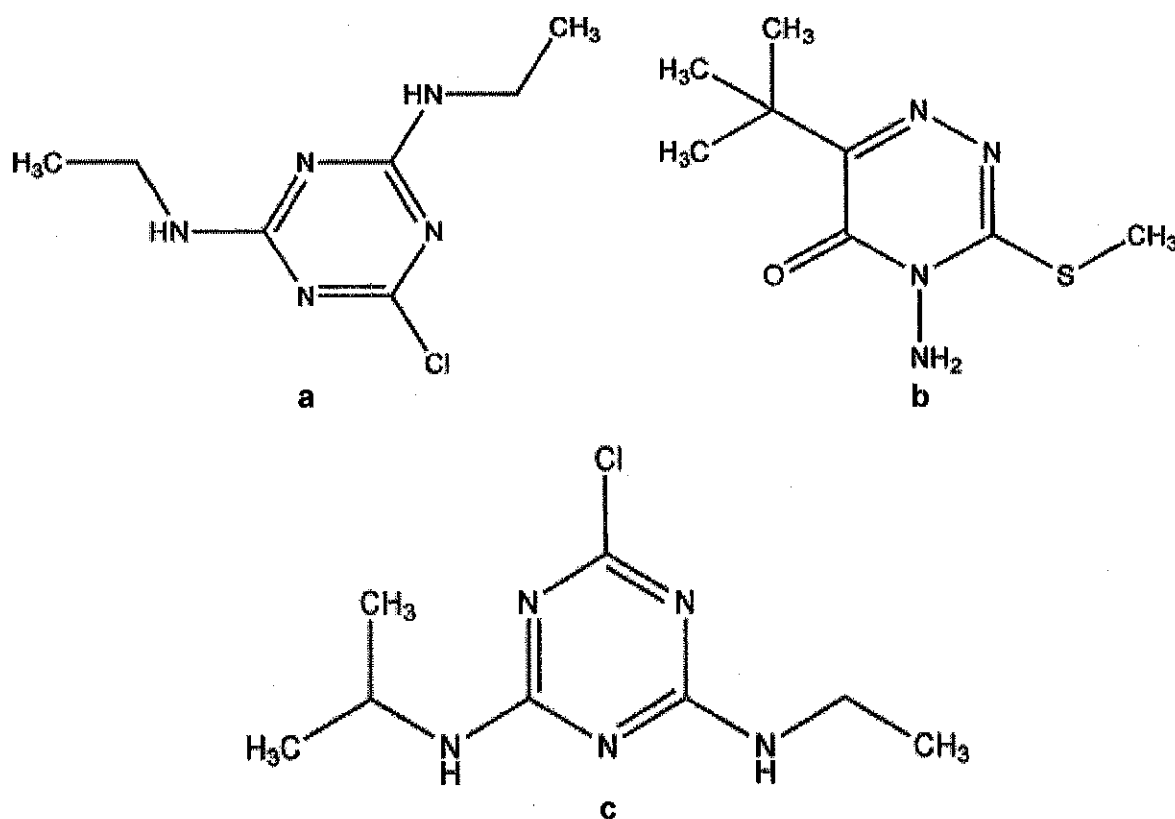


Figura 6. Estructuras químicas de tres herbicidas del grupo de las triazinas: a) simazina b) metribuzina y c) atrazina (Fuente: Vencill, 2002).

Su estructura química aparece en la Figura 6. Se emplean para controlar malas hierbas anuales, salvo alguna excepción. Son principalmente absorbidas por la raíz, aunque las muy solubles en agua pueden entrar por las hojas. Inhiben la síntesis de pigmentos fotosintéticos, y los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes. Los nervios se vuelven amarillos, y la clorosis se extiende después al resto del limbo. Finalmente, la hoja se seca. La más conocida es la simazina, pero también destacan: atrazina, metribuzina, prometina, terbutrina, cianazina, hexazinona y prometrón (Vencill, 2002).

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

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

Herbicida	Cultivos	Malezas que controla
Atrazina	Maíz, Sorgo y Caña de Azúcar.	<i>Brassica</i> sp., <i>Euphorbia heterophylla</i> , <i>Euphorbia</i> sp.,
Cianazina	Maíz, Caña de Azúcar, Soya, Papa y hortalizas	<i>Amaranthus hybridus</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Helianthus</i>
Metribuzina	Maíz, Espárrago, Papa, Jitomate y Soya.	sp., <i>Echinochloa</i> sp., <i>Sorghum</i> sp., <i>Portulaca oleracea</i> , <i>Malva</i>
Simazina	Maíz, Espárrago, Caña de Azúcar, Alfalfa, Fresa, Vid, Naranja, Almendro, Limón, Nogal, durazno, Manzana y Aguacate.	sp. <i>Cynodon</i> sp., <i>Datura</i> sp., <i>Encelia mexicana</i> , <i>Eleusine</i> sp., <i>Eriochloa</i> sp. <i>Rumex crispum</i> , <i>Digitaria</i> sp., <i>Setaria</i> sp. <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Sicyos</i>
Ametrina	Maíz, Papa, Caña de Azúcar, Piña, Plátano y Cítricos.	<i>angulata</i> , <i>Poa annua</i> , <i>Polygonum aviculare</i> ; Sorgo (voluntario), Maíz (voluntario) y
Terbutrina	Maíz y Sorgo	Caña de azúcar (voluntario)

Fuente: Rosenstein (2005) y Vencill (2002).

Los herbicidas de este grupo, también conocidos como Inhibidores de la fotosíntesis en el fotosistema II, son herbicidas altamente selectivos pre y 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.

3.3.4. Herbicida atrazina

La atrazina (6-cloro-N-etil-N'-(1-metiletil)-1,3,5-triazina-2,4-diamina) es un herbicida sistémico selectivo ampliamente usado desde principios de la década de 1960 en Estados Unidos, Australia, Sudáfrica, Venezuela y la mayoría de los países europeos, para controlar la aparición de malezas en cultivos y el crecimiento de malezas acuáticas en lagos y estanques (CICOPLAFEST, 2001).

Es un herbicida sistémico pre y post-emergente (puede actuar sobre monocotiledóneas y dicotiledóneas ya que actúa inhibiendo la reacción de Hill en el transporte de electrones). Posee baja solubilidad en solución acuosa, por lo tanto, poco puede penetrar a la parte profunda del suelo, por esto difícilmente ataca a plantas o cultivos con raíz profunda (árboles) (CICOPLAFEST, 2001).

La atrazina puede ser introducida al ambiente, vía efluentes de los sitios de manufactura o por los puntos de aplicación en sitios donde se usa como herbicida. El aro químico de la atrazina es resistente a la degradación, pero es factible de ser modificada en otros productos mediante transformación microbiana (CICOPLAFEST, 2001).

La atrazina es un compuesto relativamente móvil, que puede tener efectos nocivos sobre las comunidades de los ecosistemas acuáticos, a los que ingresa principalmente por escurrimiento de aguas pluviales provenientes de áreas cultivadas tratadas. En ambientes acuáticos tiene un tiempo de vida medio estimado entre 3 y 30 días. La atrazina es absorbida por las algas y las plantas acuáticas a través de las paredes celulares. Su acción tóxica es ejercida principalmente

mediante la inhibición de la fotosíntesis, ya que bloquea el transporte de electrones del fotosistema II. La degradación química de este herbicida puede ser más importante ambientalmente que la biodegradación. Además, puede hidrolizarse medianamente rápido en ambientes ácidos o básicos, siendo resistente a la hidrólisis en ambientes neutros. Análisis de campo demostraron que tras un período inicial de reducción de la atrazina, su transformación se detiene y mantiene estable su tasa de reducción en suelo. Es importante señalar que la persistencia de atrazina en suelos, se ve disminuida drásticamente en presencia de ácido húmico y de ácido fúlvico y mientras más ácido sea el suelo, la persistencia de la atrazina disminuye (DeSutter *et al.*, 2003).

La selectividad en maíz es bioquímica ya que esta planta es capaz de degradar el herbicida a una forma inactiva. La degradación puede ser por hidrólisis del anillo en la posición dos o por medio de de-alkilación de las cadenas R₂ y R₃. La sintomatología de la vegetación afectada se da cuando el herbicida es absorbido por la raíz y la planta se torna amarillenta (clorótica) y muere. La toxicidad es ligeramente tóxica; DL₅₀ oral 9,000 mg·kg⁻¹ en ratón; 1,000 mg·kg⁻¹ en hámster y >2,000 mg·kg⁻¹ en patos. La persistencia es de 27 a 52 semanas (CICOPLAFEST, 2001).

3.3.4.1. Propiedades físico-químicas de la atrazina

Grupo químico: triazinas

Formula empírica: C₈ H₁₄ Cl N₅

Peso molecular: 215.69

Estado físico: sólido cristalino; polvo

Color: Incoloro; blanco

Olor: inodoro

Densidad: 0.363 g·mL⁻¹ a 20 °C

Punto de fusión: 175-177 °C

Tensión de vapor: 20 °C: 0.3x10⁻⁶ mm Hg (40μPa)

Punto de inflamación: no es combustible

Coefficiente de partición (*n*-octanol/agua): Log P 2.34

Corrosivo: no corrosivo en condiciones normales de aplicación

Explosivo: no es explosivo

Solubilidad: a 20 °C y pH 7: en agua 28-33 mg·L. Y, en g·kg a 27 °C: en dimetil sulfóxido 183; en cloroformo 52; en acetato de etilo 28; en metanol 18; en dietiléter 12; en octan-1-ol 10; en *n*-pentano 0.36 (De Liñan, 1998).

Estabilidad: estable en medios neutros, ligeramente ácidos y ligeramente básicos. Se hidroliza a derivados hidroxil inactivos en ácidos y bases fuertes y, a más altas temperaturas, en medio neutro. Se sublima a alta temperatura. Puede almacenarse durante tres años en su envase original sin abrir (De Liñan, 1998).

Producto técnico: ≥91%, ≥92%, ≥95% y ≥96%

Impurezas: diclorotriazina, hidroxitriazinas, propazina, simazina, NaCl, humedad.

3.3.4.2. Descripción del herbicida utilizado en el presente trabajo

Origen: CIBA-Geigy Corp (Novartis Agro), 1959. EE.UU.

Toxicidad: LD₅₀ – 940 mg·kg⁻¹. Puede causar ceguera o irritación en los ojos. Es un producto ligeramente tóxico (Vencill, 2002).

Formulación: Polvo mojable, suspensión líquida y Gránulos dispersables en agua.

Dosis: Se aplica de 2.0 a 5.0 L·ha⁻¹. Las dosis más bajas se aplican en suelos ligeros (franco-arenosos) y las más altas en suelos pesados (arcillosos) o ricos en materia orgánica.

Cuadro 2. Composición porcentual del herbicida Gesaprim® Autosuspensible.

Ingrediente activo:	% en peso
Atrazina: 6-cloro-N2-etil-N4-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina (Equivalente a 480 g de I.A L ⁻¹)	
No menos de: -----	43.00%
Ingredientes inertes: Diluyentes, humectantes y dispersantes	
No más de: -----	57.00%
Total: -----	100.00%

Fuente: Rosenstein (2005).

Aplicación: Se usa en pre y post-emergencia temprana; cuando la maleza se encuentra en un estado de 3 a 4 hojas o no más de 5 cm. de altura; el efecto se notará de 10 a 15 días después de la aplicación (dda). El suelo deberá estar bien mullido y húmedo. Las hierbas nacen y forman las primeras hojas, se ponen amarillentas y mueren dentro de los 5 a 14 dda (Rosenstein, 2005).

Características: Es un herbicida selectivo que es absorbido por las raíces y las hojas de las malas hierbas. No controla hierbas perennes establecidas (zacate Johnson y coquillo), tal como se indica en el Cuadro 3 (Rosenstein, 2005).

Cuadro 3. Principales malezas que controla el herbicida Gesaprim® Autosuspensible

Nombre común	Nombre científico	Familia
Hoja angosta		
Pata de gallo	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae
Cola de zorra	<i>Setaria glauca</i> (L.) P. Beauv.	Poaceae
Hoja ancha		
Coralillo	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Primulaceae
Bledo o quelite	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amaranthaceae
Quesito	<i>Argythamnia neomexicana</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae
Bolsa de pastor	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Brassicaceae
Quelite cenizo	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae
Chipilín	<i>Crotalaria sigittalis</i> L.	Leguminosae
Mala mujer, toloache	<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae
Acahual	<i>Encelia mexicana</i> Mart. ex DC.	Asteraceae
Lechón	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae
Lechocilla, golondrina	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae
Anisillo	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumariaceae
Rosilla	<i>Gallinsoga hispida</i> Cav.	Asteraceae
Verdolaga de marrano	<i>Kallstroemia maxima</i> (L.) Hook. & Arn.	Zygophyllaceae
Malva	<i>Malva parviflora</i> L.	Malvaceae
Rosa amarilla	<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.	Asteraceae
Llanté	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantaginaceae
Chilillo	<i>Polygonum erectum</i> L.	Polygonaceae
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae
Rabanillo	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Brassicaceae
Escobilla	<i>Sida mexicana</i> Scop.	Malvaceae
Sida	<i>Sida neomexicana</i> A. Gray	Malvaceae
Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae
Gigantón	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Mill.) S. F. Blake	Asteraceae

Fuente: Rosenstein (2005).

Usos: Controla a las malezas en los cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar, piña, pastos y plantación de árboles de navidad. Las malezas tratadas detienen su crecimiento rápido después del tratamiento. Puede hacerse una mezcla con otros herbicidas y fertilizantes líquidos (Rosenstein, 2005).

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 más reciente con las malezas (Putwain *et al.*, 1989).

El primer caso de resistencia a los herbicidas fue el 2,4-D; pero la resistencia de las malezas a los herbicidas comenzó a ser reconocida solamente después que Ryan (1970) informó sobre el primer caso de resistencia a la triazina en *Senecio vulgaris*.

Dos grupos de modo de acción de reciente comercialización han contribuido a la agravación del problema de la resistencia a los herbicidas: a) aquellos herbicidas que inhiben la enzima acetolactato sintetasa (ALS) que incluye sulfonilureas (SFU), imidazolinonas, triazopirimidinas y sulfonilamino-carbon-triazolinonas, b) los inhibidores de la enzima acetil Coenzima carboxilasa (ACCase) que comprenden los aryloxyfenoxypropionatos y las ciclohexanodionas (Heap, 2006).

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 más 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.

Los genes que confieren resistencia están presentes naturalmente en las poblaciones silvestres, pero se piensa que las mutaciones para resistencia no son inducidas por los herbicidas (Putwain *et al.*, 1989). La frecuencia de los genes para resistencia es un elemento importante para determinar cuanto tiempo será necesario para advertir la resistencia una vez que se comienza a usar un determinado herbicida. Por ejemplo, el rápido incremento de la resistencia a los herbicidas ALS es atribuida en parte a la alta frecuencia de mutación sobre el sitio de acción de la enzima y a la existencia de varias mutaciones que le confieren resistencia (Devine *et al.*, 1993).

El banco de semillas puede actuar como un amortiguador demorando la evolución de la resistencia ya que con el pasar del tiempo el banco de semillas del suelo se ha

enriquecido con semillas de los individuos predominantes susceptibles. En algunos casos los individuos que presentan una mutación tales como aquellas que confieren resistencia a los herbicidas son penalizados en razón de estar menos adaptados o ser menos adecuados en ausencia de los herbicidas (Kissmann, 1996).

Es difícil medir la falta de adecuación, pero puede ser relacionada a una menor eficiencia de los procesos fisiológicos clave tales como la fotosíntesis o características generales de la planta como una menor producción de semillas o una menor capacidad competitiva (Devine *et al.*, 1993).

Valverde *et al.* (2000); Kissmann (1996); Devine *et al.* (1993); 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.

3.4.3. Mecanismos de resistencia

Los tres mecanismos principales mediante los cuales las malezas resisten a 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).

Varios mecanismos confieren resistencia a los herbicidas. Los más comunes e importantes son aquellos relacionados con la insensitividad del lugar y del fortalecimiento del metabolismo del herbicida o la descomposición de los productos inactivos. Además, la resistencia puede ser atribuida al secuestro de los herbicidas (o su falta de acción debido a la separación física o temporal del herbicida de los tejidos sensibles) o a una absorción y translocación reducida (Devine *et al.*, 1993).

Existen casos en los que hay más de un mecanismo involucrado que confiere resistencia a los herbicidas en un individuo o en una población de plantas

(resistencia múltiple). DePrado y Jorrín (2001) mencionan que es común que una maleza que ha desarrollado resistencia a un herbicida específico exhiba también resistencia a otros herbicidas del mismo grupo de modo de acción porque comparten el mismo sitio de unión (resistencia cruzada).

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.

La integración de varias prácticas agronómicas combinadas con herbicidas correctamente seleccionados ha sido propuesta para manejar las poblaciones resistentes; como son: siembra de cultivos competitivos, modificación de la fecha de siembra, fertilización adecuada, mayor densidad de siembra y menor espaciamiento

entre los surcos o siembra cruzada para proporcionar una ventaja competitiva al cultivo sobre la maleza (Valverde *et al.*, 2000).

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 (Ávila, 2004).

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 expresada 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 7).

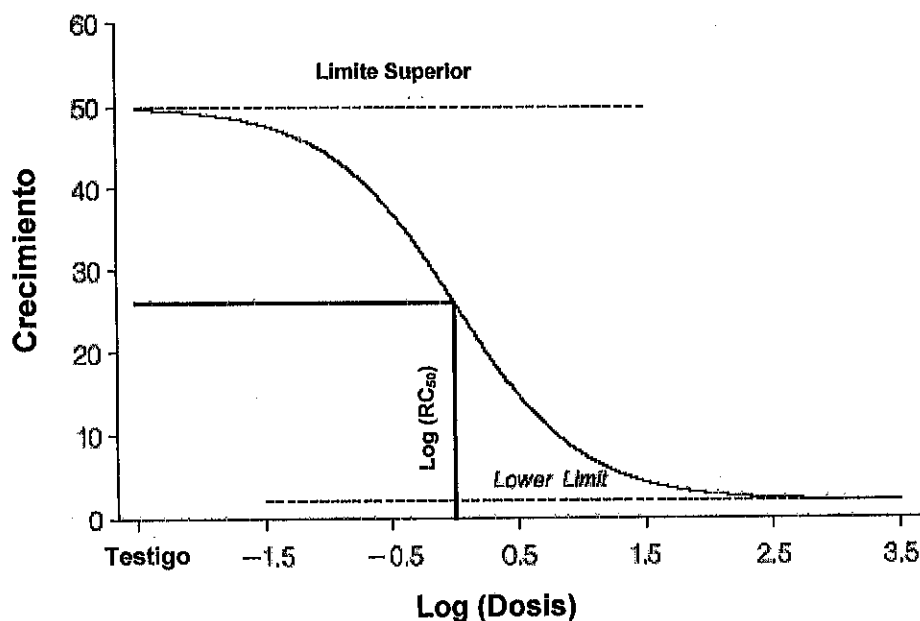


Figura 7. Curva típica del modelo no lineal de dosis – respuesta a la aplicación de dosis crecientes (Fuente: Jensen *et al.*, 2001).

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).

$$IR = RC_{50} \text{ biotipo en estudio} / RC_{50} \text{ biotipo susceptible de referencia} = \geq 2$$

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Recolección de semillas

Las semillas de *E. heterophylla* fueron colectadas en los meses de diciembre del 2004 a enero del 2005, en lotes de productores de maíz y sorgo de ocho localidades en la región norte del estado de Guerrero, en los cuales se ha aplicado en forma continua atrazina en los últimos cuatro años y se ha observado que el control que esta manifiesta es mínimo; así mismo, se colectó semilla de la misma maleza en poblaciones donde nunca han aplicado este herbicida (testigo o control) (Figura 8). Con cada una de las poblaciones de semillas colectadas se condujeron un total de ocho bioanálisis. El historial de campo y del uso de herbicidas en los sitios de muestreo se detalla en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Historial de campo y uso de herbicidas de las poblaciones de *E. heterophylla* recolectadas en la zona norte del estado de Guerrero, México. 2005.

Población		Año							
		2001		2002		2003		2004	
		Temp	Riego	Temp	Riego	Temp	Riego	Temp	Riego
	Cultivo	Maíz	Calab	Maíz	Calab	Maíz	Calab	Maíz	Calab
	Herbicidas	Barb	Glifos	Barb	Glifos	Barb	Glifos	Barb	Glifos
	Presiemb								
Apipilulco	Herbicidas	S-Met	Clom	Dime	Clom	Dime	Clom	S-Met	Clom
	Pre-emerg	+ Atra		+ Atra		+ Atra		+ Atra	
	Herbicidas	Nico y	LM	Nico y	LM	Nico y	LM	Nico y	LM
	Post-emer	Atra		Atra		Atra		Atra	
	Cultivo	Maíz	Estro	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-
	Herbicidas	Barb	LM	Barb	-	Barb	-	Barb	-
	Presiemb								
Cocula	Herbicidas	Dime	Atra	Dime	-	S-Met	-	S-Met	-
	Pre-emerg	+ Atra		+ Atra		+ Atra		+ Atra	
	Herbicidas	Nico	LM	Nico	-	Nico y	-	Nico y	-
	Post-emer					Dicam		Dicam	
	Cultivo	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-
	Herbicidas	Barb	-	Barb	-	Barb	-	Barb	-
	Presiemb								
Col.									

Obregón	Herbicidas	Dime	-	Dime	-	S-Met	-	S-Met	-
	Pre-emerg	+ Atra		+ Atra		+ Atra		+ Atra	
	Herbicidas	Nico	-	Nico	-	Nico y	-	Nico y	-
	Post-emer					Dicam		Dicam	
Col. Obregón	Cultivo	Sorgo	-	Sorgo	-	Sorgo	-	Sorgo	-
	Herbicidas	Glifos	-	Glifos	-	Glifos	-	Glifos	-
	Presiemb								
	Herbicidas	Atra	-	Atra	-	Atra	-	Atra	-
Col. Tijuanita	Pre-emerg								
	Herbicidas	LM	-	LM	-	LM	-	LM	-
	Post-emer								
	Cultivo	Maíz	Estro	Maíz	Estro	Maíz	Estro	Maíz	Estro
Metlapa	Herbicidas	Barb	Glifos	Barb	Glifos	Barb	Glifos	Barb	Glifos
	Presiemb								
	Herbicidas	Atra	Atra	Atra	Atra	Atra	Atra	Atra	Atra
	Pre-emerg								
Iguala	Herbicidas	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM
	Post-emer								
	Cultivo	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	Calab
	Herbicidas	Barb	-	Barb	-	Glifos	-	Glifos	Glifos
Testigo	Presiemb								
	Herbicidas	Dime	-	Dime	-	S-Met	-	S-Met	Clom
	Pre-emerg	+ Atra		+ Atra		+ Atra		+ Atra	
	Herbicidas	Nico	-	Nico	-	Nico y	-	Nico y	LM
	Post-emer					Dicam		Dicam	
						+ Atra		+ Atra	
	Cultivo	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-
	Herbicidas	Barb	-	Barb	-	Glifos	-	Glifos	-
	Presiemb								
	Herbicidas	Dime	-	Dime	-	S-Met	-	S-Met	-
	Pre-emerg	+ Atra		+ Atra		+ Atra		+ Atra	
	Herbicidas	Nico	-	Nico	-	Nico y	-	Nico y	-
	Post-emer					Dicam		Dicam	
						+ Atra		+ Atra	
	Cultivo	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-	Maíz	-
	Herbicidas	LM	-	LM	-	LM	-	LM	-
	Presiemb								
	Herbicidas	LM	-	LM	-	LM	-	LM	-
	Pre-emerg								
	Herbicidas	LM	-	LM	-	LM	-	LM	-
	Post-emer								

Referencias:

Temp = Temporal
 Calab = Calabaza
 Estro = Estropajo
 LM = Labranza Manual

Barb = Barbecho
 Glifos = Glifosato
 Atra = Atrazina
 Nico = Nicosulfurón

Clom = Clomazone
 S-met = S-metolaclor
 Dicam = Dicamba
 Dime = Dimetenamida

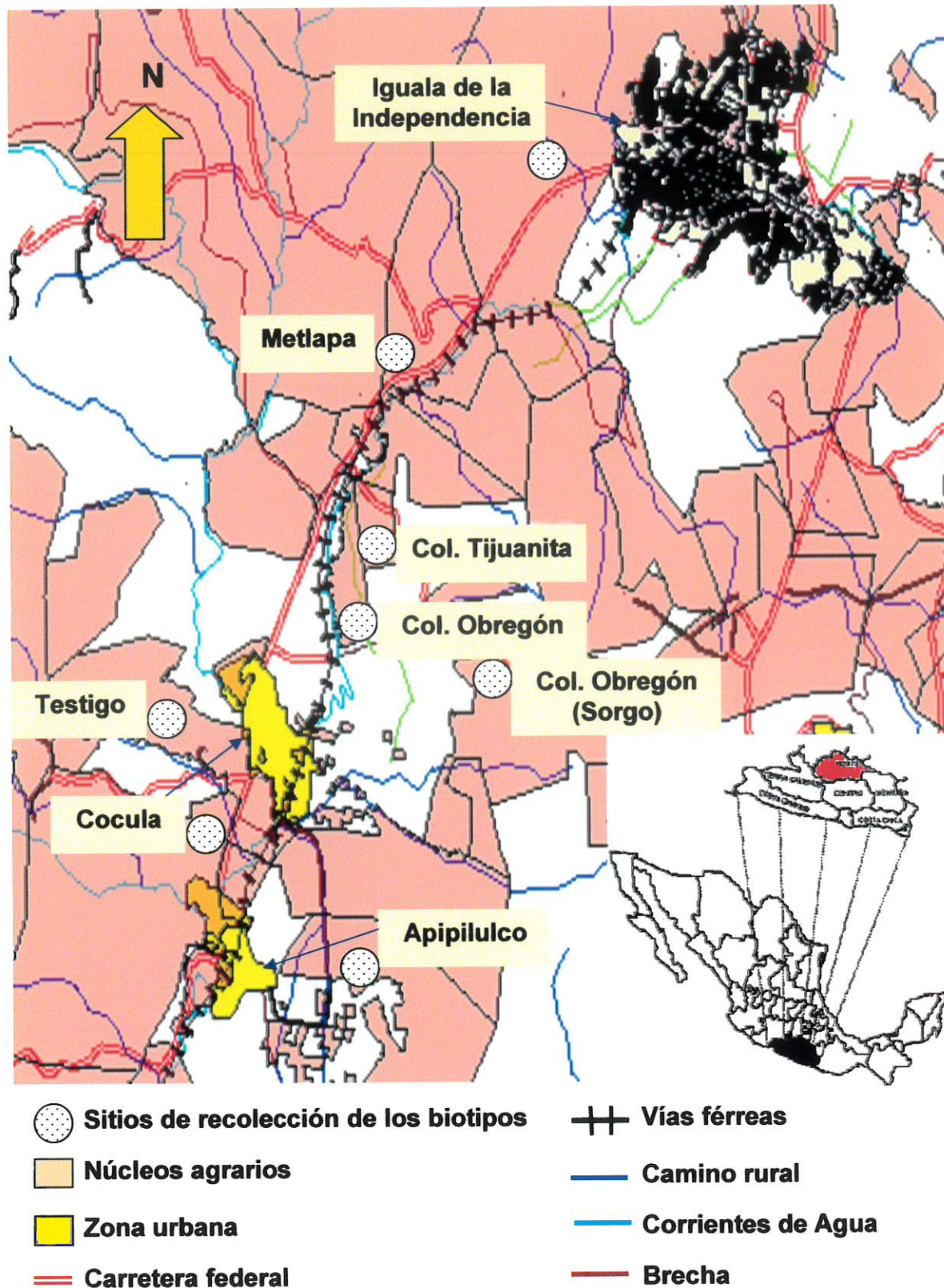


Figura 8. Mapa de la zona norte del estado de Guerrero, México y ubicación de los sitios de recolección de las semillas de *E. heterophylla* (Fuente: INEGI, 2005).

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 640 msnm, entre las coordenadas 18° 22' 52" Latitud Norte y 99° 33' 52" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una precipitación media anual que oscila entre 800 y 1000 mm, temperatura media anual de 26 °C. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y sin estación invernal definida, clasificado por Köppen y modificado por García (1988), como Awo (w) (i') g. El suelo es del tipo de los vertisol de textura arcillosa con un porcentaje promedio de arena de 33.15%, arcilla 52.84% y limo 14.01%; con un pH de 7.1, una conductividad eléctrica de 0.111 mmhos·cm⁻¹, con un contenido pobre de materia orgánica (1.4%), pobre de nitrógeno (0.071%), alto de fósforo (24 ppm), medio de potasio (0.320 meq·100 g), alto de calcio (45.4 meq·100 g) y alto de magnesio (4.3 meq·100 g), con nivel de drenaje de bueno a intermedio y con una topografía predominante de plana (Aguilar, 2003).

4.2. Conducción de los bioanálisis

4.2.1. Lugar de establecimiento de los bioanálisis

Los bioanálisis se llevaron a cabo en el área de invernaderos de postgrado del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México; localizado dentro del Municipio de Texcoco, 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

Para llevar adelante los bioanálisis, se utilizó suelo del lote de la granja orgánica del Departamento de Suelos, ubicado dentro del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, y destinado a la producción de agricultura orgánica desde hace seis años, esto con la finalidad de evitar residuos de

herbicidas que potencialmente puedan interferir con los resultados de los tratamientos. El suelo fue tratado con bromuro de metilo para la desinfección de patógenos y la eliminación del banco de semillas de malezas.

4.2.3. Germinación de semillas, transplante y establecimiento.

Con la finalidad de obtener germinación uniforme de esta especie, se eliminó la cubierta de las semillas en forma manual, para posteriormente realizar una labor de pre-germinación en laboratorio, colocando lotes de cajas Petri debidamente identificadas, con 70 semillas sobre algodón húmedo, dentro de una estufa graduada a una temperatura de 28 - 30 °C por 72 horas, esto a la vez expuestos a la luz del sol. Después de que las semillas germinaron a los dos días, las plántulas se transplantaron en macetas de plástico con capacidad de tres litros, con suelo estéril de textura media y debidamente identificadas con el nombre del biotipo y la fecha del transplante (Figura 9).

Una vez establecidas las plántulas en las macetas, el suelo se mantuvo 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.

**a****b**



c

Figura 9. Procedimiento del trabajo de investigación: a) germinación, b) transplante y c) establecimiento.

4.2.4. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos fue realizada en pre-emergencia, cuando las plantas apenas emergían (dos días después del transplante), y en post-emergencia, cuando las plantas alcanzaron un nivel de desarrollo de 4-5 hojas verdaderas (tres semanas después del transplante). Se utilizó un equipo de aspersión experimental, presurizado a base de CO_2 , calibrado para asperjar 185 L ha^{-1} , equipado con una punta XR Teejet 11003, a una presión de 40 Pounds per Square Inch (PSI o $\text{Lb} \cdot \text{pulg}^2$). Los tratamientos siempre se aplicaron bajo condiciones ambientales de vientos calmos y la temperatura de 25°C (Figura 10).

4.3. Diseño experimental

Los tratamientos de cada uno de los bioanálisis fueron alojados bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental quedó constituida por una maceta con capacidad de 3 L conteniendo cinco plantas.

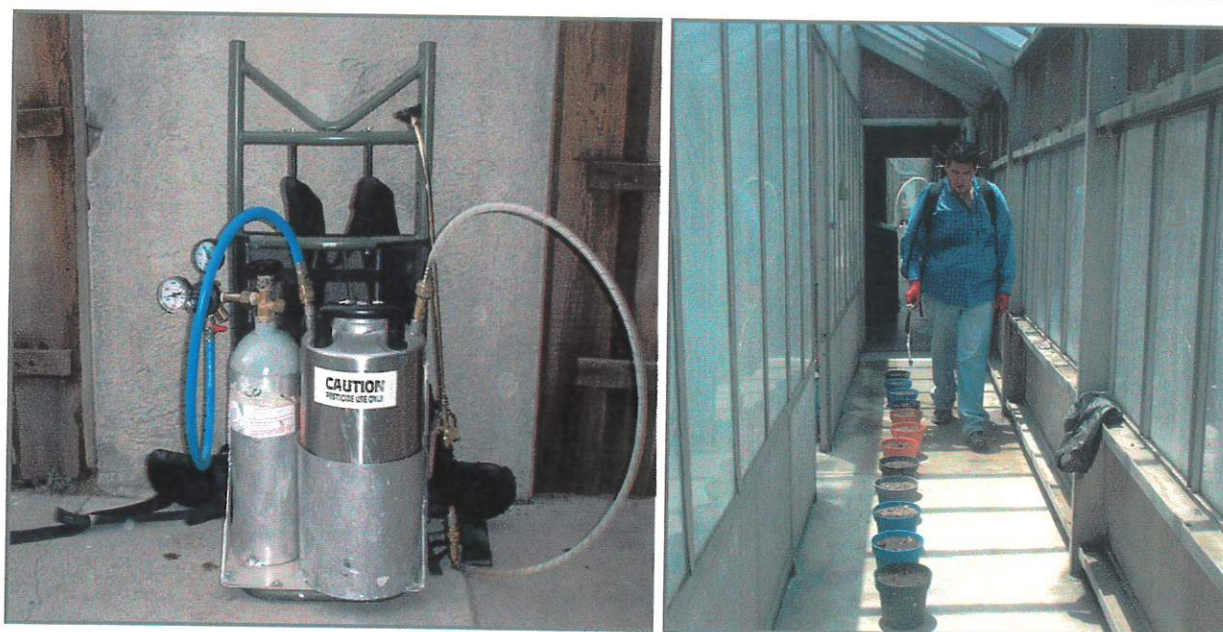


Figura 10. Aplicación de los tratamientos con un equipo experimental presurizado a base de CO₂.

4.3.1. Tratamientos evaluados

Los tratamientos involucrados en los bioanálisis se muestran en el Cuadro 5, en ellos se incluye un tratamiento testigo (sin aplicación de herbicida), considerado como el testigo absoluto.

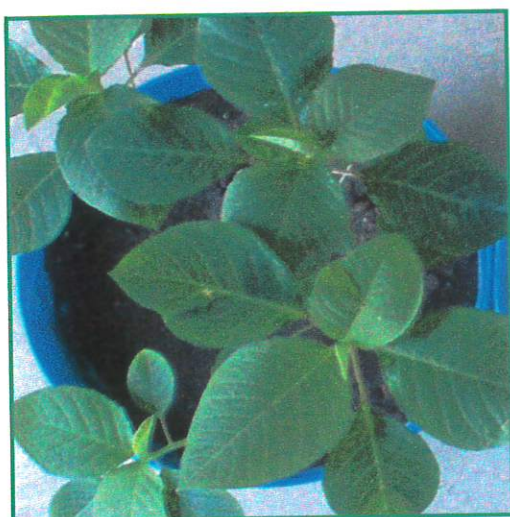
Cuadro 5. Herbicida y dosis utilizadas en el bioanálisis, para la evaluación de resistencia de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Formulación	Concentración (%)	Dosis	
				p.c. (L ha ⁻¹)	(g i.a. ha ⁻¹)
Gesaprim® autosuspensible	Atrazina: 6-cloro-N2-etil-N4-isopropil-1,3,5- triazina-2,4-diamina	Suspensión acuosa	43%	0.0	0.0
				0.30	150
				0.60	300
				1.25	600
				2.50	1,200
				5.0	2,400
				10.0	4,800
				20.0	9,600

4.3.2. Variables respuesta y evaluaciones

4.3.2.1. Porcentaje de daño visual

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre *E. heterophylla*; se evaluó en forma visual el control de la maleza empleando para ello la escala 0 a 100%, en la cual cero representa un nulo efecto y 100 un control total (muerte de la planta). Dichas evaluaciones se realizaron a los 5, 10 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos (Figura 11).



a



b

Figura 11. Proceso de evaluación en forma visual: a) 0 % y b) 100% de daño.

4.3.2.2. Peso fresco

El peso fresco se determinó en función de la respuesta de las plantas testigo (control) al herbicida. Las plantas se cortaron a ras del suelo a los 15 días después de la aplicación de los tratamientos y se pesaron en una balanza digital (Ohaus, modelo NO. C305-5).

4.3.2.3 Peso seco

Posterior al registro del peso de biomasa, esta fue puesta en bolsas de papel estraza debidamente identificadas y llevadas a una estufa de secado graduada (Riossa, modelo EC-41, serie ECML) a 70 °C durante 48 horas, para luego determinar el peso seco de las muestras utilizando para ello la misma balanza digital.

4.3.3. Determinación de las dosis letales media e índice de resistencia

La determinación de la dosis letal media (RC_{50}) e índice de resistencia para cada una de las poblaciones en cada uno de los bioensayos, se calcularon en base al dato del peso de biomasa. Para tal fin se hizo uso del 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) y Jensen *et al.* (2001) ampliamente detallados y descritos en el inciso 3.5.

4.4. Análisis estadístico

A los valores obtenidos en cada una de las variable respuesta, se les practico un análisis de varianza mediante el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System), y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del (0.05%).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Bioanálisis con atrazina en pre-emergencia

5.1.1. Porcentaje de daño visual

El daño causado por atrazina en pre-emergencia a las plantas de *E. heterophylla*, independientemente de su procedencia geográfica, estimado mediante evaluación visual a los 5, 10 y 15 días después de la aplicación (DDA), como se esperaba, dependió de la dosis aplicada (Anexos 1-6).

La población de referencia (Col. Tijuana) y las denominadas como Metlapa e Iguala 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, excluyendo al testigo (control). La población Col. Obregón (sorgo) resultó ser la menos dañada por atrazina, mientras que las poblaciones Cocula, Col. Obregón y Apipilulco presentaron niveles intermedios de daño (Figura 12).

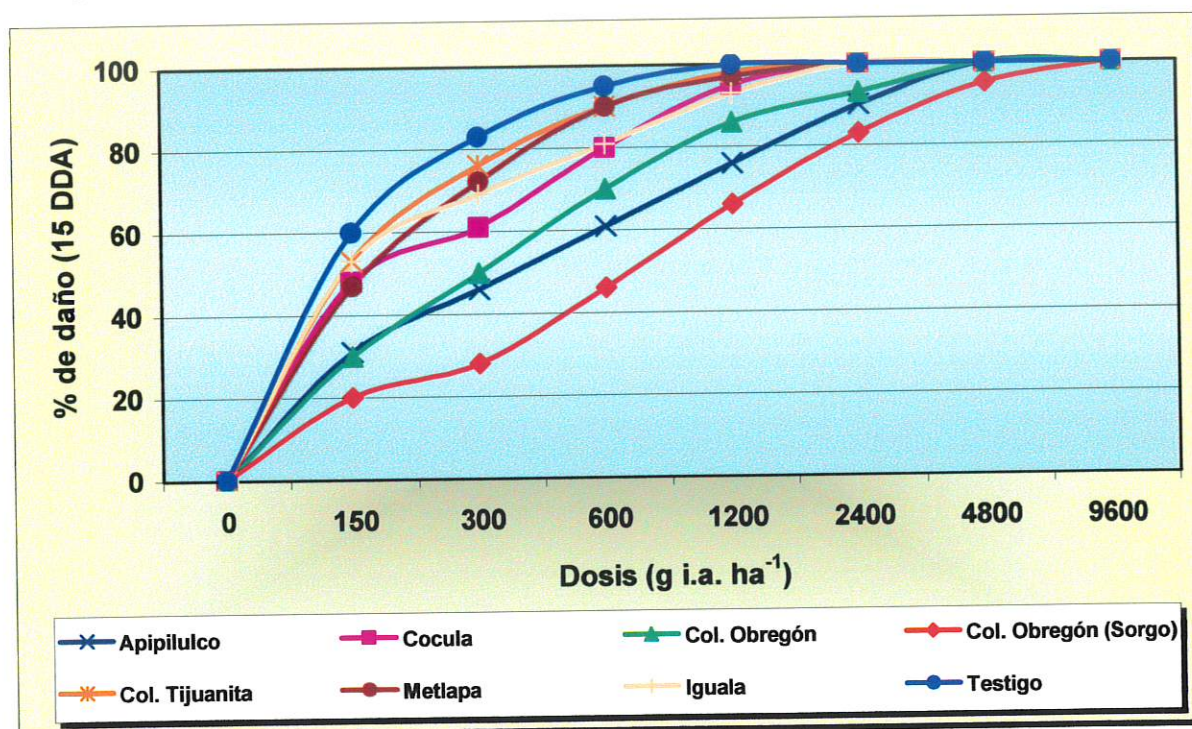


Figura 12. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 15 DDA de atrazina en pre-emergencia a *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

El daño observado dentro de los primeros cinco días después de la aplicación de los tratamientos superó el 50% con dosis de 600 g de i.a. ha⁻¹, razón por lo cual ya no fue necesario ampliar el tiempo de evaluación visual; además se menciona de que bajo condiciones de campo, la muerte total de la planta a dosis comerciales ocurre entre los 5 y 10 días. Sin embargo, es importante recalcar que la evaluación temprana de síntomas de toxicidad permitió diferenciar a las poblaciones tolerantes 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 atrazina a los 15 DDA fue menos afectada en la población Col. Obregón (sorgo); por el contrario las poblaciones de Metlapa, Iguala, Col. Tijuana y el testigo (control) fueron los más afectados de acuerdo a los resultados obtenidos en el peso fresco (Anexo 7-10). Las poblaciones Apipilulco, Col. Obregón y Cocula resultaron con efectos intermedios que en las restantes (Figura 13), lo cual coincide con el desarrollo de síntomas de toxicidad evaluados visualmente a los 15 DDA (Figura 12). Como era de esperarse, los pesos fresco y seco, están correlacionados ($R^2 = 0.88$), según se aprecia en la Figura 14. Por tal motivo, para la comparación de la respuesta de las poblaciones a atrazina, los índices de resistencia fueron calculados con base en el peso fresco.

Este tipo de respuesta diferencial a las dosis crecientes de atrazina es un indicador de que la población Col. Obregón (sorgo) mostró tolerancia a este herbicida, mientras que las poblaciones Col. Tijuana e Iguala se comportaron muy susceptibles, e incluso mayor a la población testigo (control). El resto de las poblaciones presentaron una respuesta intermedia, no superando al indicador para comportarse como poblaciones resistentes ($IR \geq 2$). Durante el desarrollo de los bioensayos sobre el efecto del herbicida a diferentes concentraciones mostraron que a partir de la dosis de 300 g i.a. ha⁻¹, los biotipos Col. Tijuana y Testigo (control), fueron altamente susceptibles al grado de provocarles la muerte (Figura 15).

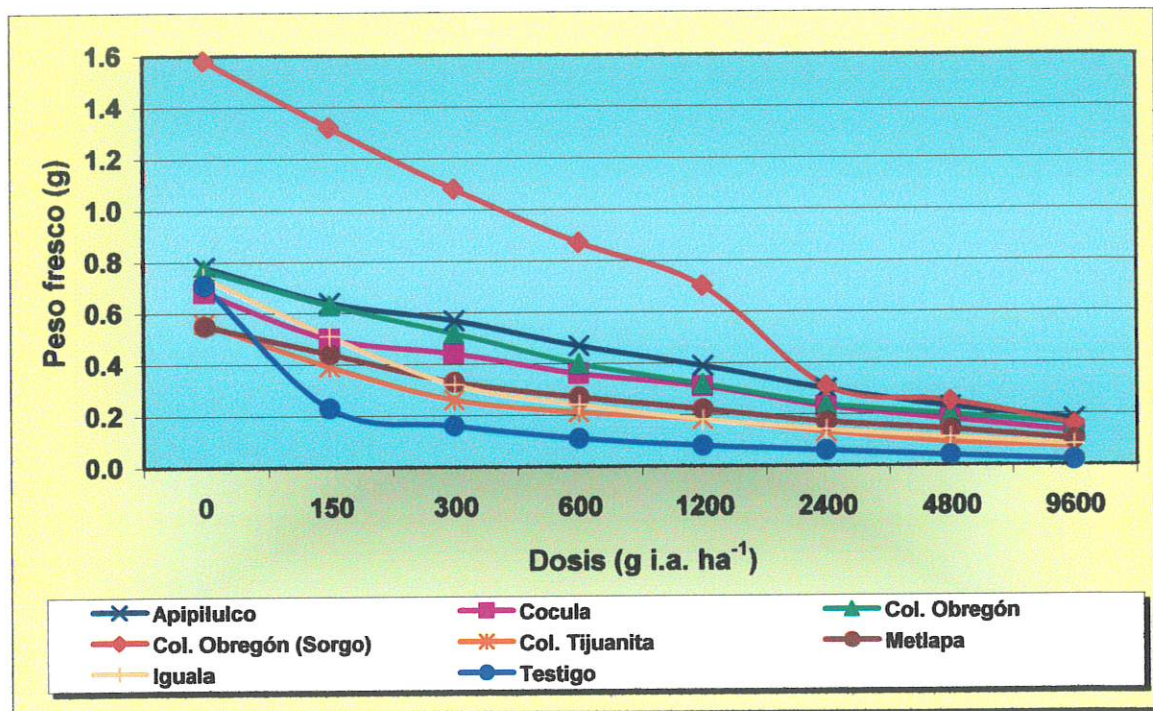


Figura 13. Efecto de atrazina en pre-emergencia sobre el peso fresco de plantas de *E. heterophylla* 15 DDA. Chapingo, México. 2005.

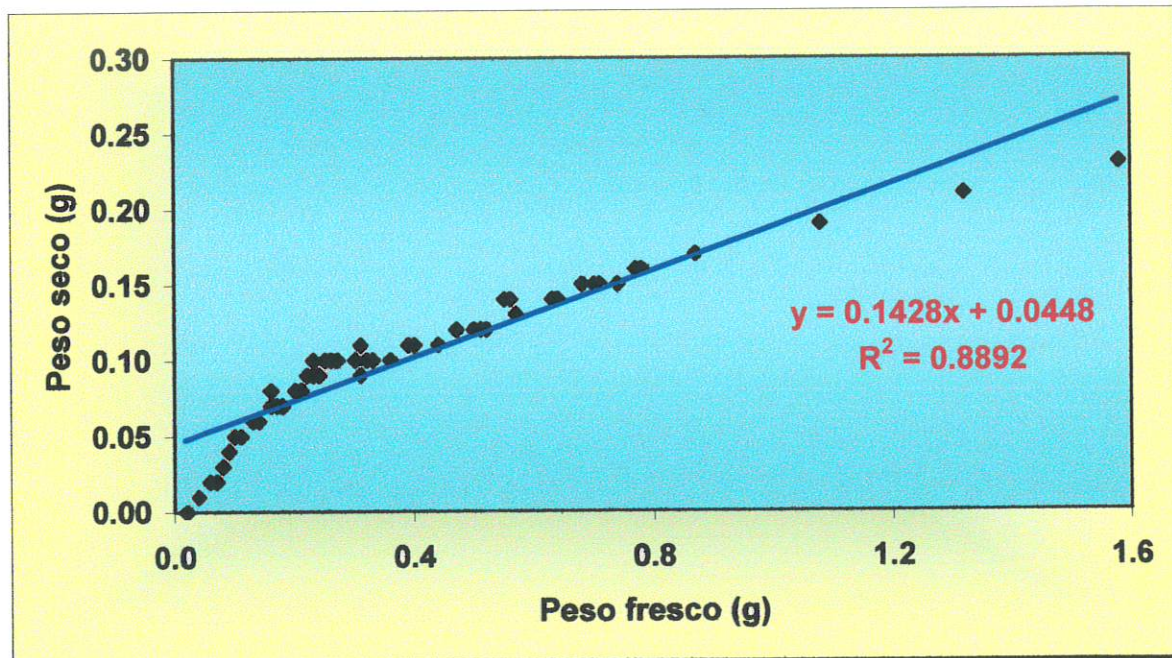


Figura 14. Regresión y correlación entre el peso fresco y el peso seco del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.

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 (control), lo cual se logra con el cálculo 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.

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 11).

En el Cuadro 6 se muestran los valores de los parámetros de la ecuación de regresión que describe la reducción de peso fresco de las plantas tratadas con atrazina (Streibig *et al.* 1993). Los valores de RC_{50} variaron entre 192.6 y 680.2 g i.a. ha^{-1} (Figuras 13 y 15). Los índices de resistencia se calcularon referidos al valor de la RC_{50} de la población testigo (control).

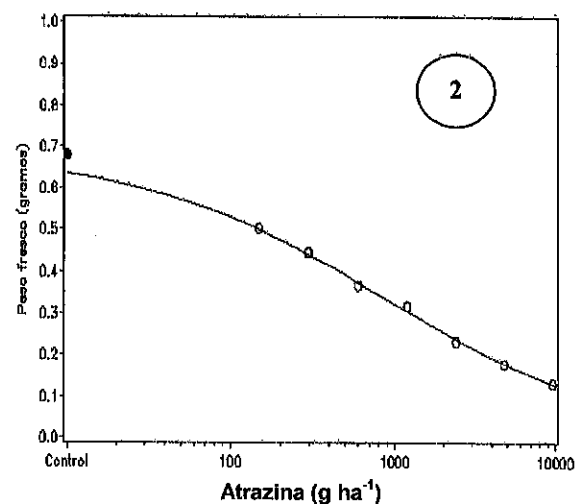
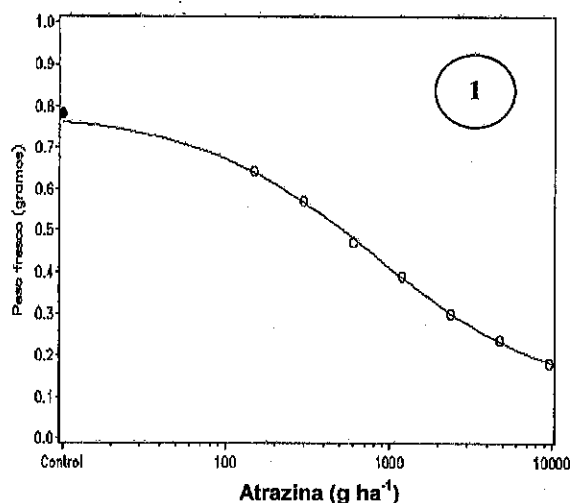
Con base en dichos valores, se confirma que la población Col. Obregón (sorgo) se comporto como ligeramente tolerante a atrazina, superando un poco al valor de referencia (dos) el cual se considera como límite inferior para considerar a una población resistente. Sin embargo, las poblaciones Col. Obregón, Apipilulco, Cocula y Metlapa mostraron una tolerancia intermedia al herbicida (Figura 16). De acuerdo a los IR, las poblaciones de la Col. Tijuana e Iguala mostraron alta susceptibilidad a la atrazina, siendo incluso más susceptible que la población testigo (control); ya que estos valores fueron inferiores a cero.

En la población Col. Obregón (sorgo) que presento el valor más alto de IR, el historial agronómico muestra que proviene de campos bajo el sistema de monocultivo de sorgo, con el uso intensivo principalmente de atrazina, por lo que se considera que se ha sometido a una intensa presión de selección por el herbicida de este grupo químico y bajo un mismo cultivo.

Cuadro 6. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
Apipilulco	0.78	0.18	0.80	479.0	425.2	1132.8	1.92
Cocula	0.68	0.13	0.60	427.0	362.7	1784.6	1.71
Col. Obregón	0.77	0.16	0.96	477.3	320.7	633.9	1.91
Col. Obregón (sorgo)	1.58	0.16	1.08	680.2	561.1	799.2	2.73
Col. Tijuana	0.56	0.07	0.67	274.1	155.3	393.0	1.10
Metlapa	0.55	0.10	0.58	313.5	16.98	1036.6	1.26
Iguala	0.74	0.08	0.89	192.6	80.42	304.7	0.77
Testigo	0.71	0.02	0.62	248.8	28.64	57.45	1.00

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



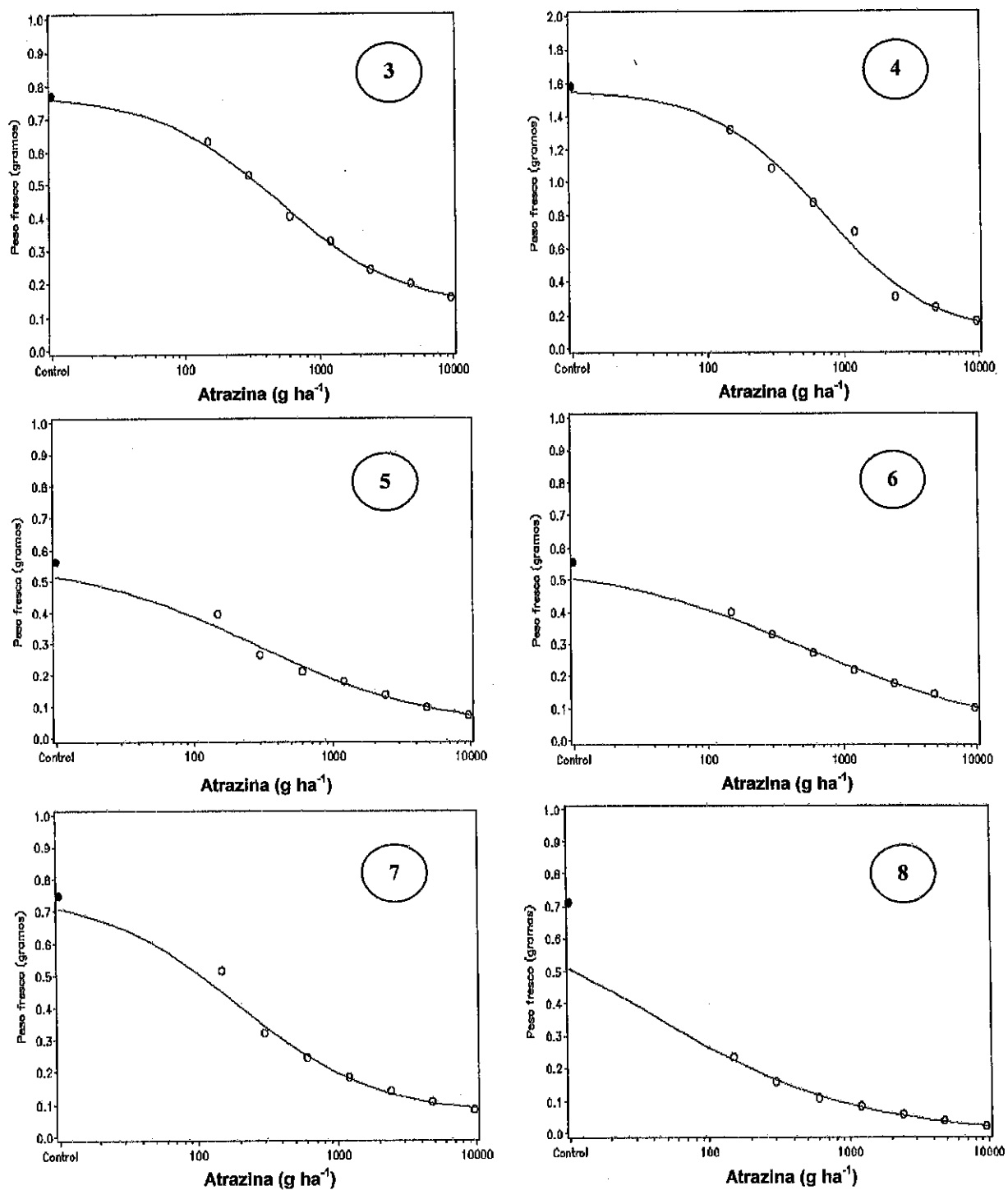


Figura 15. Curvas de regresión para las poblaciones de *E. heterophylla* de Apipulco (1), Cocula (2), Col. Obregón (3), Col. Obregón (sorgo) (4), Col. Tijuana (5), Metlapa (6), Iguala (7) y Testigo (8) tratadas con dosis crecientes de atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.

La alta susceptibilidad mostrada por la población testigo (control) que fue controlado con solo el 10% de la dosis recomendada, no permitió obtener resultados adecuados para establecer los parámetros de índice de resistencia de acuerdo al modelo propuesto por Steven *et al.* (1995).

Las poblaciones Col. Obregón, Cocula y Apipilulco que presentaron tolerancia intermedia a atrazina, también estuvieron sujetos a una intensa presión de selección en años recientes; sin embargo, la tolerancia exhibida no fue proporcional a la mostrada por la población Col. Obregón (sorgo), por lo que no se descarta que estas tres ultimas poblaciones haya estado sometidas con anterioridad a un sistema de manejo similar y en consecuencia de presión de selección, puesto que son campos de explotación más antiguos que las otras poblaciones.

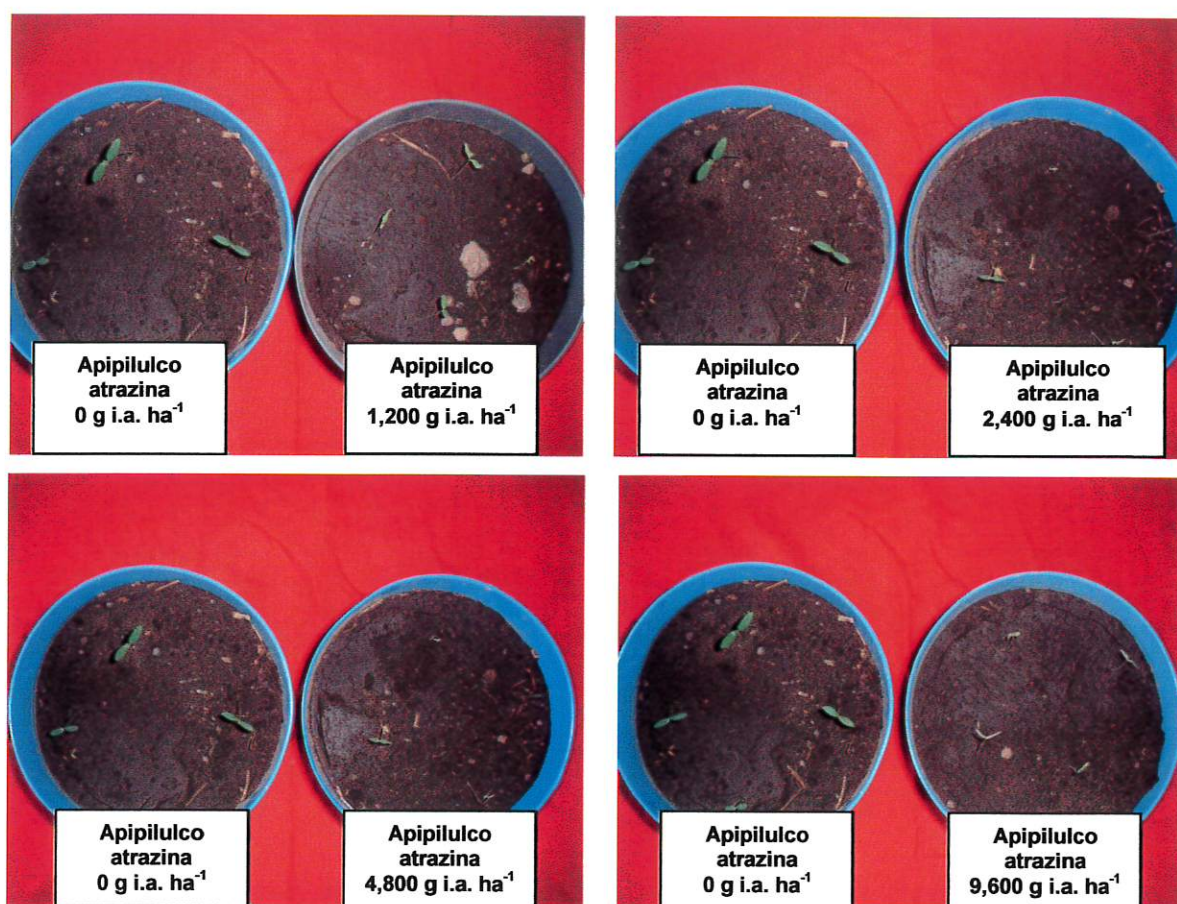


Figura 16. Respuesta de las poblaciones de *E. heterophylla* al herbicida atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.

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.

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 atrazina, tanto la designada como de referencia como la procedente de la Col. Tijuana en los últimos cuatro años estuvieron sujetas a un mínimo de presión de selección por el herbicida inhibidor del fotosistema II.

5.2. Bioanálisis con atrazina en post-emergencia

5.2.1. Porcentaje de daño visual

De manera similar con la respuesta de las poblaciones a atrazina, tanto la designada como testigo (control) como la Col. Tijuana fueron altamente susceptibles, de acuerdo con la evaluación visual de daño a los 5, 10 y 15 días después de la aplicación (DDA) (Anexos 12-17 y Figura 17).

La fitotoxicidad de atrazina en las poblaciones Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco fueron comparativamente bajas y en los casos de Col. Obregón y Cocula hubo tolerancia intermedia. Sin embargo, cuando las dosis del herbicida fueron muy elevadas, se perdió la respuesta diferencial entre poblaciones, cuando se aplicó 600 g i.a. ha⁻¹ y, especialmente de 2,400 g i.a. ha⁻¹ todas las poblaciones respondieron de manera similar, con niveles de daño que alcanzaron hasta 100% para la dosis más alta a los 15 DDA, mostrando síntomas caracterizados por necrosamiento y desecamiento del área foliar (Anexo 16 y Figura 17).

La evaluación visual realizada a los 5, 10 y 15 DDA 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 susceptibles. Todas las poblaciones mostraron alta susceptibilidad a atrazina a las dosis iguales o mayores a 2,400 g i.a. ha⁻¹.

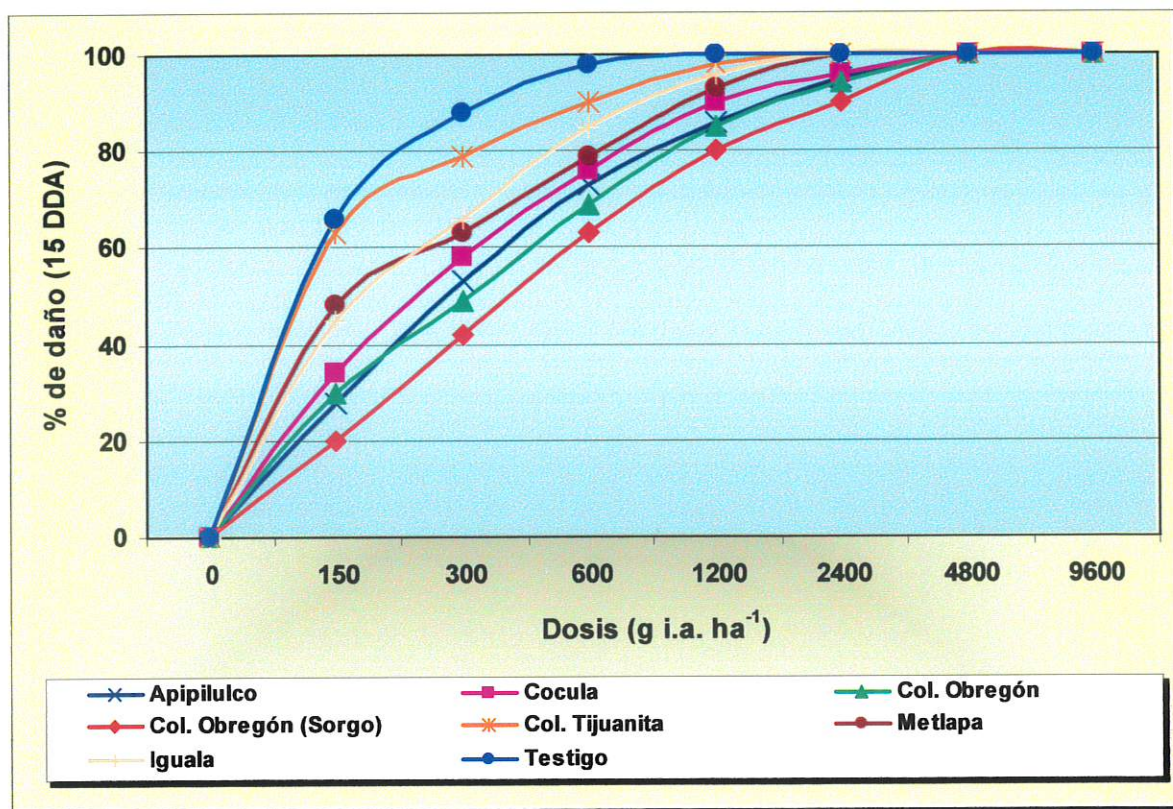


Figura 17. Evaluación visual del porcentaje de daño a los 15 DDA de atrazina en post-emergencia a *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

5.2.2. Peso fresco y peso seco del follaje

La reducción del peso fresco y peso seco causada por atrazina a los 15 DDA fue marcadamente menor en las poblaciones Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco que en las restantes (Anexos 18 y 20 y Figura 18), lo cual coincide con el desarrollo de síntomas de toxicidad evaluados visualmente a los 15 DDA (Figura 17). Hubo una alta correlación entre los pesos fresco y seco, ($R^2 = 0.98$), según se aprecia en el

Anexo 19 y 21 y Figura 19, por lo que las curvas de respuesta y los índices de resistencia a atrazina fueron calculados con base en el peso fresco.

Un comportamiento similar fue observado en la evaluación de biomasa, donde a la dosis mínima aplicada de 150 g i.a ha⁻¹ en el bioensayo de la población testigo (control) redujo su peso en un 85% respectivamente, con respecto al tratamiento de la dosis cero, en tanto que para los biotipos Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco, la reducción de peso fue nula a esta misma dosis, observándose además, para estos dos últimos biotipos, una reducción importante en peso fresco a partir de la aplicación de 1,200 g i.a. ha⁻¹ (Cuadro 7 y Figura 18).

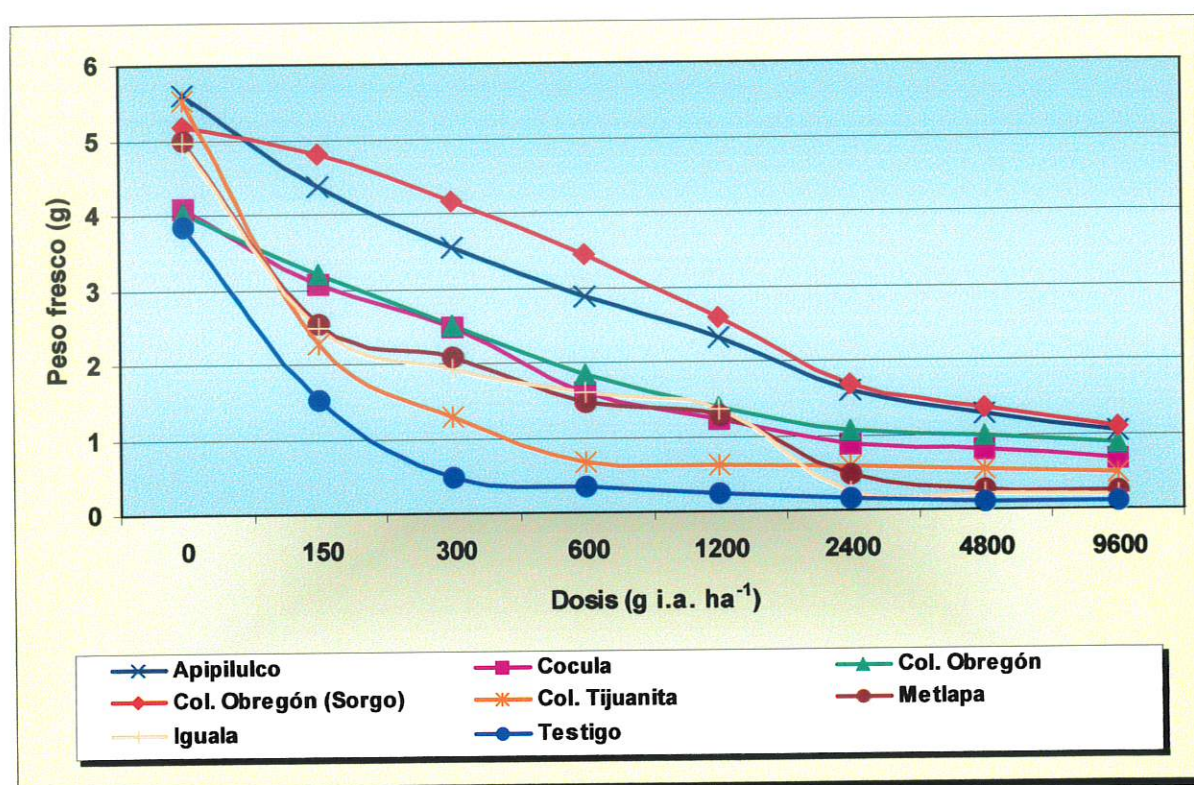


Figura 18. Efecto de atrazina en post-emergencia sobre el peso fresco de plantas de *E. heterophylla* 15 DDA. Chapingo, México. 2005.

La respuesta diferencial observada entre las poblaciones en estudio, con base en la respuesta a dosis crecientes de atrazina, permite establecer claramente que las

poblaciones Col. Tijuana y Testigo (control) son susceptibles, puesto que aun la dosis más baja reduce considerablemente el peso fresco y seco (Figura 18).

Las observaciones realizadas durante el desarrollo de los bioanálisis sobre el efecto del herbicida a diferentes concentraciones mostraron que a partir de la dosis de 600 g i.a. ha⁻¹, los biotipos Col. Tijuana y Testigo (control), fueron altamente susceptibles al grado de provocarles la muerte; mientras que para los biotipos Apipilulco y Col. Obregón (sorgo), se tuvieron que requerir dosis mayores a 2,400 g i.a. ha⁻¹, para causar la muerte.

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.

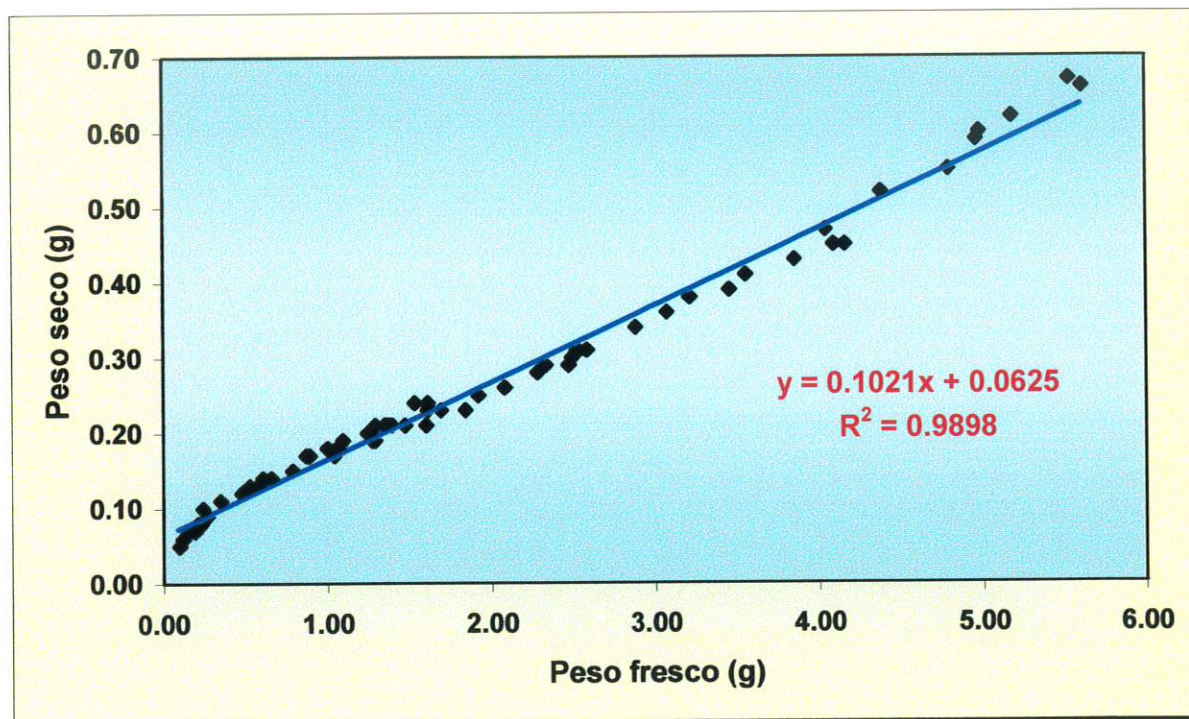


Figura 19. Regresión y correlación entre el peso fresco y peso seco del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.

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, tal como se muestra en el Anexo 22. En el Cuadro 7 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 *E. heterophylla* tratadas con atrazina (Streibig *et al.* 1993). Los valores de RC_{50} variaron entre 114.1 y 792.7 g i.a. ha⁻¹.

El índice de resistencia (IR) calculado de la población testigo (control) sirvieron de base para confirmar que las poblaciones Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco mostraron niveles bajos de resistencia a atrazina, en tanto que las poblaciones Col. Obregón y Cocula mostraron tolerancia intermedia al herbicida. La población de Col. Tijuana mostró ser muy susceptible e incluso mayor a la población testigo (control), así lo demuestran los valores de IR de ambas poblaciones (Cuadro 7).

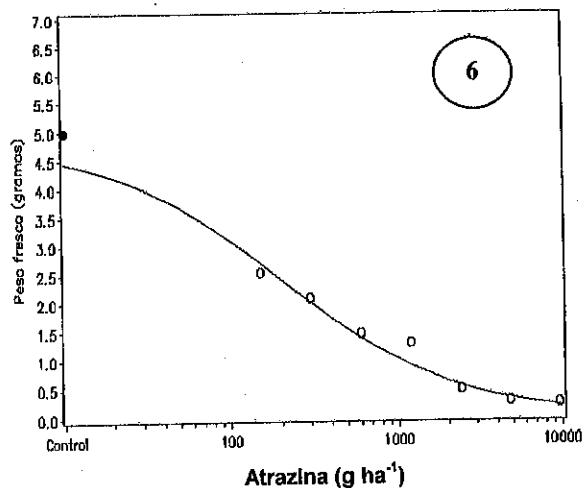
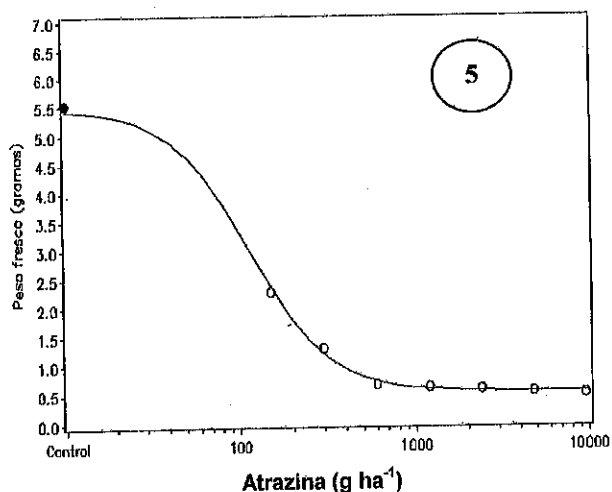
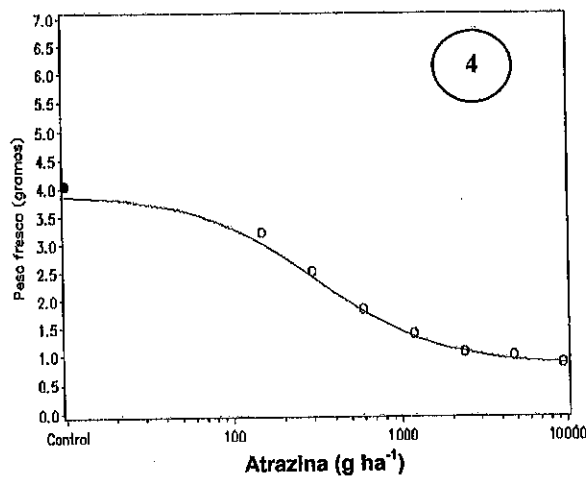
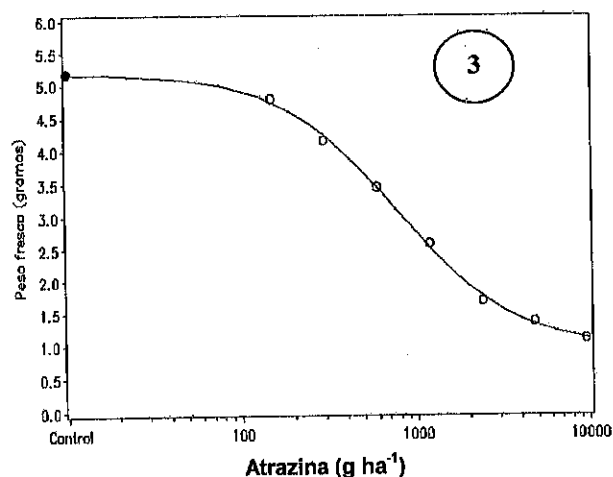
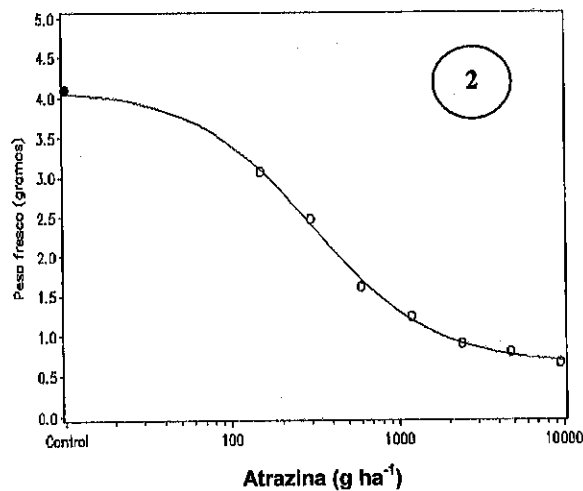
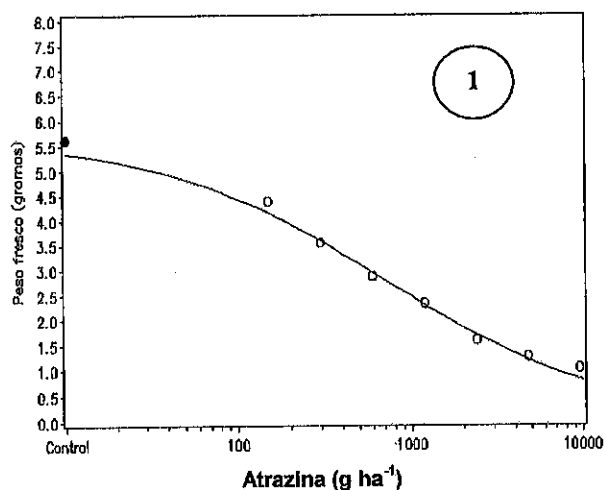
Cuadro 7. Parámetros estimados del modelo estadístico, y valores de RC_{50} e IR del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.

Población	D	C	b	RC_{50}	Límites de confianza*		IR
					Inferior	Superior	
Apipilulco	5.61	-	0.67	682.3 [†]	146.9	1217.8	3.73
Cocula	4.09	0.66	1.23	310.1	249.9	370.2	1.69
Col. Obregón	4.04	0.87	1.20	319.7	66.178	573.3	1.75
Col. Obregón (sorgo)	5.18	1.09	1.28	792.7	719.0	866.4	4.34
Col. Tijuana	5.53	0.49	1.91	114.1	87.689	140.5	0.63
Metlapa	4.98	-	0.83	203.6 [†]	43.808	363.3	1.11
Iguala	4.96	-	0.94	228.5 [†]	90.333	366.2	1.25
Testigo	3.85	0.10	1.38	182.5	58.163	106.9	1.00

*: Al 95% de probabilidad estadística 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 que no hubo resistencia a inhibidores del fotosistema II en todas poblaciones estudiadas (Figuras 20 y 21).



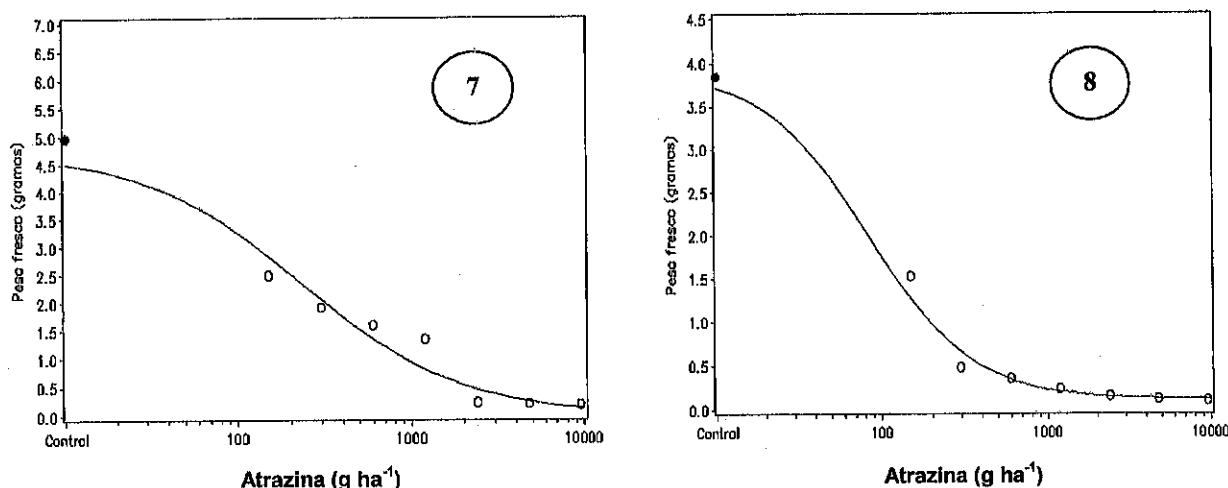


Figura 20. Curvas de regresión para las poblaciones de *E. heterophylla* de Apipilulco (1), Cocula (2), Col. Obregón (sorgo) (3), Col. Obregón (4), Col. Tijuana (5), Metlapa (6), Iguala (7) y Testigo (8) tratadas con dosis crecientes de atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.

De acuerdo a los IR del Cuadro 7 las poblaciones Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco si mostraron bajos niveles de resistencia ya que sus valores son mayores a dos. En las poblaciones Col. Obregón (sorgo) y Apipilulco que presentaron los valores altos de IR's (4.34 y 3.73 respectivamente). El historial de campo reflejó que provienen de sitios en los cuales se empleó de manera intensiva atrazina dentro de los cultivos sucesivos de maíz.

Las poblaciones Col. Obregón y Cocula que presentaron tolerancia intermedia a atrazina, también estuvieron sujetos a una intensa presión de selección en años recientes; sin embargo, la tolerancia exhibida no fue proporcional a la mostrada por la población Col. Obregón (sorgo), por lo que no se descarta que estas dos últimas poblaciones haya estado sometidas con anterioridad a un sistema de manejo similar y en consecuencia de presión de selección (Figura 21).

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 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 e inhibidores del fotosistema II, incrementan año tras año los niveles de resistencia de las malezas tratadas, tal como ha ocurrido con otras malezas (Ávila, 2004).



Figura 21. Respuesta de las poblaciones de *E. heterophylla* al herbicida atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, a los objetivos planteados y a las condiciones en que se llevo a cabo el experimento se concluye:

- De las ocho poblaciones estudiadas de *E. heterophylla*, la Col. Obregón (sorgo) mostró cierto nivel de resistencia a atrazina aplicada en pre y post-emergencia; sin considerar a esta declarada. La población Apipilulco también mostró cierta resistencia únicamente cuando atrazina fue aplicada en post-emergencia.
- En los bioanálisis de atrazina en pre-emergencia la correlación significativa encontrada entre peso fresco y seco (0.88 con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$) y en post-emergencia la correlación significativa encontrada entre peso fresco y seco (0.98 con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$) muestra que cualquiera de estas dos variables son validas para la interpretación de la respuesta a las aplicaciones de las dosis crecientes de herbicidas.
- Con excepción de la población Col. Tijuana que fue la que mostró mayor susceptibilidad a las dosis bajas de atrazina (150 - 600 g i.a. ha⁻¹) tanto en pre-emergencia como en post-emergencia, las demás poblaciones mostraron una baja tolerancia a las mismas dosis. Sin embargo, si se considera en forma general que una dosis media de aplicación del producto es de 1.5 kg i.a. ha⁻¹, entonces podemos inferir que no existe evidencia alguna para indicar que algunos de los biotipos presentaron resistencia.
- Con base en lo anterior, los malos controles de *E. heterophylla* observados a nivel de campo, no se atribuyen a los efectos de la atrazina. Al respecto, se considera que estos pueden estar relacionados con: deficientes aplicaciones, aplicaciones de dosis incorrectas (sub-dosis), resultado de falta de

calibración de los equipos, y/o épocas inapropiadas de aplicación (malezas muy desarrolladas), entre otros.

- Con respecto a 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 señalar que en los tratamientos se incluyan al menos ocho dosis crecientes, para obtener 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.
- 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, se recomienda utilizar el peso fresco por ser más preciso 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:

- 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.
- 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 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 debido a que porque en la zona se siembran dos ciclos anuales y muy frecuentemente la secuencia maíz-sorgo, imponiendo una alta presión de selección sobre las malezas.
- 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

- Aguilar, C. A. 2003. Control pre-emergente de malezas en maíz. Tesis de Licenciatura. Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Gro. México. pp. 36-40.
- Akobundu, O. I. 1987. Weed Science in the tropics: Principles and practices. First edition. Editorial Wiley-Interscience. London, England. pp.19-40.
- Almazán, J. A. 1991. Estudio florístico-ecológico de la maleza de los campos de cultivo de riego en el Valle de Iguala, Gro. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 97-137.
- Ashton, F. and A. Crafts. 1981. Mode of Action of Herbicides. Second Edition. Imprinted in U.S.A. 59 p.
- Ávila, G. W. V. 2004. Resistencia cruzada de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton a herbicidas inhibidores de la acetil coenzima-a carboxilasa, en biotipos provenientes de Santa Cruz, Bolivia. Tesis de grado, Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 6-24.
- Barceló, J., B. Nicolás, G. Sabater y R. Sánchez. 1988. Fisiología Vegetal. Primera Edición. Ediciones Pirámide S.A. de C.V. Madrid, España. pp. 405-410.
- Bidwell, R. G .S. 2002. Fisiología Vegetal. Segunda Edición. Editorial A.G.T. S.A. de C.V. México D.F. pp. 120-121.
- Brecke, B. J. 1995. Wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) germination and emergence. *Weed Science* 44: 103-106.

- Burril, L. C., J. Cárdenas y E. Locatelli. 1977. Manual de campo para investigación en control de maleza. Oregon State University. Corvallis, Oregon; U.S.A. 64 p.
- Byrd, J. D., W. J. Barrentine and D. R. Shaw. 1997. Herbicide resistance prevention and detection. Extension Service of Mississippi State University, cooperating with U.S. Department of Agriculture. Published in furtherance of acts of congress, May 8 and June 30, 1914. Ronald A. Brown, Director. 6 p.
- CEA. 2004. Anuario estadístico de la producción agrícola. Centro de Estadística Agropecuaria. SAGARPA. México; D.F.
- CICOPLAFEST. 2001. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias tóxicas. Catálogo Oficial de Plaguicidas. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultalistapub.htm>; consultado el 20 de Octubre de 2005.
- Cerdeira, A. y E. Voll. 1980. Germination and emergence of *Euphorbia heterophylla* L. In: Resumos XIII Congresso Brasileiro de Herbicidas e Ervas Daninhas, Itabuna. 96 p.
- Cobb, A. 1992. Herbicides and plant physiology. First Edition. Imprinted in U.S.A. pp. 107-123.
- Christoffers, M. J. 1999. Genetics aspects of herbicide-resistant weed management. *Weed Technology* 12: 647-652.
- De Liñan, C. V. 1998. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Ediciones Agrotécnicas, S. L. Madrid, España. pp. 74-76.

- De Prado, R., y V. Jorrín, J. 2001. Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI. Primera Edición. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España. pp.145-251.
- DeSutter, T. M., S. A. Clay and D. E. Clay. 2003. Atrazine sorption and desorption as affected by aggregate size, particle size, and soil type. *Weed Science* 51:456–462.
- Devine, M. D., O. S. Duke and C. Fedtke. 1993. Physiology of herbicide Action. Second Edition. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey; U.S.A. pp. 113-136.
- Espinosa, G. F. J. y J. Sarukhán, K. 1997. Manual de malezas del Valle de México: Claves, descripciones, e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 324 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 147 p.
- Gelmini, G. A., Victória-Filho, R., Soares-Novo, M. C. S. y Adoryan, M. L. 2001. Resistência de biótipos de *Euphorbia heterophylla* L. aos herbicidas inibidores da enzima ALS utilizados na cultura de soja. *Bragantia* 60: 93-99.
- 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.
- Gómez, B. J. G. 1993. Control químico de la maleza. Primera Edición. Editorial Trillas S.A. de C.V. México, D.F. 245 p.

- Hatzios, K. 2001. Mechanism of resistance to herbicides. pp. 275-287. In: R. De Prado, V. Jorrín, J. (eds.). *Uso de herbicidas en la Agricultura del siglo XXI*. Universidad de Córdoba, España.
- Heap, I. 2006. International survey of herbicide resistant weeds. Annual report Internet. Disponible en: <http://www.weedscience.com>; consultado el 02 de Febrero de 2006.
- Hoffman, C., E. Voll and A. Cerdeira. 1979. Effect of *Euphorbia heterophylla* competition on soybeans. *EMBRAPA Annual Report*. Londrina, Brasil. pp. 248-250.
- Holm, L. G., D. Plucknett, V. J. Pancho and P. J. Herberger. 1977. *The World's Worst Weeds, Distribution and Biology*. East-west Center. Ed. University Press of Hawaii. Honolulu, U.S.A. pp. 139-144.
- Holm L. G., J. Pancho, J. Herberger and D. Plucknett. 1979. *A Geographical Atlas of World Weeds*. John Wiley & Sons. New York; U.S.A. pp. 245-250.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. El sector geográfico en México. Mapa digital de México. Disponible en: <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm>; consultado el 15 de Noviembre de 2005.
- Jensen, J., J. Streibig, and 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. Publicado por BASF. México, D.F. pp. 2-16.

- Langston, V. y T. Harger. 1983. Potential for late season infestation by wild poinsettia. *Proceedings Southern Weed Science Society* 38: 77.
- LeBaron, H. M. 1982. Herbicide resistance in plant. A Wiley-Inter Science Publication. John Wiley and Sons. New York; U.S.A. pp. 144-152.
- Lorenzi, H. and L. S. Jeffery. 1987. Weeds of the United States and their control. Imprinted in U.S.A. 77 p.
- Lorenzi, H. 2000. Manual de indentificação e controle de plantas danhinas. 5ta. Edição. Instituto Plantarum de Estudos da Flora. Brazil. 243 p.
- Mársico, O. J. V. 1980. Herbicidas y fundamentos del control de malezas. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur S.A. de C.V. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-2.
- Melhoranca, A. L. y A. R. Pereira, F. 2000. Eficiência do herbicida lactofen no controle de *Euphorbia heterophylla* resistente aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintasa (ALS). *Revista Brasileira de Herbicidas* 1: 53-56.
- Molina, A. R. 1999. Malezas presentes en la zona templada, Tropical y Subtropical de América del Sur. Parte I. Buenos Aires, Argentina. 206 p.
- Morgado, G. J. 1999. Estrategias para controlar alpistillo (*Phalaris spp.*) resistente a herbicidas aryloxyphenoxypropionatos y ciclohexanodionas en trigo (*Triticum vulgare* L.) como parte de un manejo integrado. Tesis de Maestro en Ciencias. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 38 p.

- Muñoz, F. R. y A. Pitty, V. 1994. Guía fotográfica para la identificación de malezas. Primera Edición. Escuela Agrícola Panamericana. Zamora, Honduras. pp. 61 y 85.
- Nielsen, O. K., C. Ritz and J. Streibig. 2001. Analysis of herbicide dose response bioassays using non-linear mixed modeling. pp. 1-3.
- Piazza, A., J. Lissarrague y J. Barbado. 2000. Guía práctica para el profesional en fitoterápicos. Buenos Aires, Argentina. pp. 230-240.
- 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. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. pp. 271-283.
- Powell, W. 1983. Weed Science: Principles. Second Edition. Imprinted in U.S.A. 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.
- Putwain, P. D. and H. A. Collin. 1989. Mechanism involved in the evolution of herbicides resistance in weeds. In Dodge 1982. Herbicides and plant metabolism. pp. 211-235.

- Radosevich, S. R. and J. S. Holt. 1984. Weed Ecology; implications for vegetation management. Library of congress cataloging publication data. A Wiley interscience publication. New York; U.S.A. 265 p.
- Ritter, R. and H. Membere. 1997. Distribution and management of triazine-resistant weeds in the Mid-Atlantic region of the U.S.A. *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*. pp. 1147-1151.
- Robles, S. R. 1990. Terminología genética y fitogenética. Cuarta Edición. Editorial Trillas S.A. de C.V. México, D.F. 163 p.
- Rojas, G. M. 1990. Manual teórico-práctico de herbicidas y fitorreguladores. Segunda edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México, D.F. pp. 31-34.
- Rosenstein, S. E. 2005. Diccionario de Especialidades Agroquímicas. Quinceava Edición. Ediciones Thomsom-PLM S.A. de C.V. México, D.F. pp. 1160-1165.
- Ross, M. A. and C. A. Lembi. 1999. Applied Weed Science. Second Edition. Imprinted in U.S.A. pp. 1-11.
- Rubin, B. 1995. Herbicide resistance outside North America and Europe: Causes and significance. Proceeding International Symposium on Weed and Crop Protection to herbicides. Cordoba, Spain. pp. 37-40.
- Ryan, G. F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science*. 18:614-616.
- 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. 1994. Fisiología Vegetal. Segunda Edición. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México, D.F. pp. 301-302.
- Steven, S., J. Seefeldt, E. Jensen and P. Fuerst. 1995. Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationship. In: *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, J. C. and Kudsk, P. CRC Press. Boca Raton, Florida; U.S.A. pp. 29-55.
- Valverde, B. E., C. R. Riches y C. J. Casely. 2000. Prevención y Manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América central con *Echinochloa colona* (L) Link. Primera Edición. Editorial Grafos S.A. de C.V. CATIE, San José, Costa Rica. pp. 1-12.
- Vencill, K. W. 2002. Herbicide Handbook. Octave Edition. Weed Science Society of America. Lawrence, Kansas; U.S.A. pp. 27-30.
- Vidal, R. 1997. Herbicidas, mecanismo de acción y resistencia de plantas. Porto Alegre, R.S., 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.
- Villariás, M. J. L. 2000. Atlas de Malezas. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa S.A. de C.V. Madrid, España. pp. 112-114.

- Villaseñor, R. J. L. y F. J. Espinosa, G. 1998. Catalogo de Malezas en México. Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. pp. 283-286.
- Wilson, A. K. 1981. *Euphorbia heterophylla*: A review of distribution, importance and control. *Tropical Pest Management* 27: 32-38.
- Zimdahl, R. L. 1993. Fundamentals of weed science. Colorado State University; Department of Plant Pathology and Weed Science. Academic press Inc. A division of Hurcohurt Bee and Company. Fort Collins, Colorado; U.S.A. pp. 334-345.

A N E X O S

Anexo 1. Porcentaje de daño visual a los 5 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005.^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 g	20 f	36 e	51 d	66 c	80 b	86 a	89 a
Cocula	0.0 g	33 f	51 e	70 d	85 c	90 b	94 a	95 a
Col. Obregón	0.0 g	20 f	40 e	60 d	76 c	84 b	87 b	92 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 h	8 g	19 f	36 e	56 d	72 c	81 b	87 a
Col. Tijuánita	0.0 f	43 e	65 d	78 c	88 b	93 ab	94 a	95 a
Metlapa	0.0 g	36 f	61 e	80 d	87 c	91 b	94 ab	95 a
Iguala	0.0 g	38 f	55 e	69 d	80 c	89 b	93 ab	95 a
Testigo	0.0 f	48 e	68 d	78 c	93 b	100 a	100 a	100 a

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

Anexo 2. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 5 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	29796.5	4256.6	0.997	3.185	1465.4	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	33101.5	4728.7	0.998	2.056	2665.8	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	31949.7	4564.2	0.997	3.328	1266.9	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	32170.8	4595.8	0.998	3.887	1522.8	0.0001 **
Col. Tijuánita	Trat.	7	31144.0	4449.1	0.997	2.759	1209.4	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	32545.5	4649.3	0.998	2.150	2181.8	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	30159.3	4308.4	0.996	3.425	877.36	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	34387.5	4912.5	0.997	2.889	1100.4	0.0001 **

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

Anexo 3. Porcentaje de daño visual a los 10 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 g	25 f	41 e	56 d	71 c	85 b	91 a	94 a
Cocula	0.0 g	43 f	56 e	75 d	90 c	95 b	99 a	100 a
Col. Obregón	0.0 g	25 f	45 e	65 d	81 c	88 b	92 b	97 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 h	14 g	23 f	41 e	61 d	77 c	86 b	92 a
Col. Tijuana	0.0 f	48 e	71 d	84 c	93 b	97 ab	100 a	100 a
Metlapa	0.0 g	42 f	67 e	85 d	92 c	96 b	100 a	100 a
Iguala	0.0 f	48 e	66 d	76 c	88 b	93 b	99 a	100 a
Testigo	0.0 e	53 d	73 c	83 b	98 a	100 a	100 a	100 a

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

Anexo 4. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 10 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	31946.8	4563.8	0.998	2.908	1607.3	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	34484.3	4926.3	0.998	2.143	2207.0	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	34740.4	4962.9	0.997	3.153	1312.5	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	33835.4	4833.6	0.997	3.949	1282.3	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	34129.4	4875.6	0.995	3.477	734.46	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	35355.4	5050.7	0.998	2.310	1792.9	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	32180.4	4597.2	0.997	2.604	1328.7	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	34287.5	4898.2	0.997	2.793	1097.2	0.0001 **

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

Anexo 5. Porcentaje de daño visual a los 15 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en pre-emergencia. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 g	31 f	46 e	61 d	76 c	90 b	100 a	100 a
Cocula	0.0 f	48 e	61 d	80 c	95 b	100 a	100 a	100 a
Col. Obregón	0.0 g	30 f	50 e	70 d	86 c	93 b	100 a	100 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 h	20 g	28 f	46 e	66 d	83 c	95 b	100 a
Col. Tijuana	0.0 e	53 d	76 c	90 b	98 a	100 a	100 a	100 a
Metlapa	0.0 e	47 d	72 c	90 b	97 a	100 a	100 a	100 a
Iguala	0.0 f	53 e	69 d	81 c	93 b	100 a	100 a	100 a
Testigo	0.0 e	60 d	83 c	95 b	100 a	100 a	100 a	100 a

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

Anexo 6. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 15 DDA de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	35779.5	5111.3	0.998	2.342	2346.2	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	35349.2	5049.8	0.999	1.773	3016.4	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	37513.4	5359.0	0.997	2.948	1408.4	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	38187.9	5455.4	0.998	3.210	1771.8	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	34949.0	4992.7	0.996	3.176	832.12	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	36005.8	5143.6	0.998	2.135	1968.4	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	33550.0	4792.8	0.994	3.950	555.31	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	34521.8	4931.6	0.999	1.280	4734.4	0.0001 **

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

Anexo 7. Efecto de atrazina en pre-emergencia sobre el peso fresco (g) de *E. heterophylla* a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.78	0.64	0.57	0.47	0.39	0.30	0.23	0.18
Cocula	0.68	0.50	0.44	0.36	0.31	0.23	0.18	0.13
Col. Obregón	0.77	0.63	0.52	0.40	0.32	0.24	0.20	0.16
Col. Obregón (Sorgo)	1.58	1.32	1.08	0.87	0.70	0.31	0.25	0.16
Col. Tijuana	0.56	0.39	0.26	0.21	0.18	0.13	0.09	0.07
Metlapa	0.55	0.44	0.33	0.27	0.22	0.17	0.14	0.10
Iguala	0.74	0.51	0.32	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08
Testigo	0.71	0.23	0.16	0.11	0.08	0.06	0.04	0.02

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

Anexo 8. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	1.220	0.174	0.977	8.292	126.98	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	0.928	0.132	0.947	13.98	53.17	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	1.337	0.191	0.985	7.589	199.48	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	7.665	1.095	0.998	2.550	2724.5	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	0.767	0.109	0.966	14.93	85.15	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	0.630	0.090	0.933	17.30	39.61	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	1.484	0.212	0.947	22.05	50.31	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	1.438	0.205	0.996	8.823	832.04	0.0001 **

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

Anexo 9. Efecto de atrazina en pre-emergencia sobre el peso seco (g) de *E. heterophylla* a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005. ^o

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07
Cocula	0.15	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.06
Col. Obregón	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
Col. Obregón (Sorgo)	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.11	0.10	0.08
Col. Tijuana	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.04	0.02
Metlapa	0.14	0.11	0.10	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05
Iguala	0.15	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03
Testigo	0.15	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01	0.00

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

Anexo 10. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	0.019	0.002	0.972	4.525	106.60	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	0.019	0.002	0.976	4.879	119.83	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	0.023	0.003	0.990	2.975	317.33	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	0.087	0.012	0.995	2.887	634.44	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	0.038	0.005	0.981	7.442	160.76	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	0.020	0.002	0.965	6.485	82.42	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	0.043	0.006	0.968	9.499	90.42	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	0.070	0.010	0.988	11.00	268.52	0.0001 **

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

Anexo 11. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de atrazina en pre-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Apipilulco	Regresión	4	14.843	3.710	1465.71	0.0001 **
Cocula	Regresión	4	25.364	6.341	836.18	0.0001 **
Col. Obregón	Regresión	4	32.513	8.128	975.52	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Regresión	4	14.522	3.630	643.97	0.0001 **
Col. Tijuana	Regresión	4	80.525	20.131	1649.35	0.0001 **
Metlapa	Regresión	4	62.402	15.600	656.42	0.0001 **
Iguala	Regresión	4	71.250	17.812	503.96	0.0001 **
Testigo	Regresión	4	70.267	17.566	8327.41	0.0001 **

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

Anexo 12. Porcentaje de daño visual a los 5 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005.^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 h	16 g	30 f	48 e	68 d	78 c	85 b	90 a
Cocula	0.0 f	32 e	44 d	65 c	71 c	84 b	90 ab	94 a
Col. Obregón	0.0 g	21 f	36 e	53 d	64 c	74 b	84 a	90 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 g	8.0 f	21 e	39 d	58 c	70 b	81 a	86 a
Col. Tijuana	0.0 g	47 f	68 e	79 d	89 c	94 b	99 a	100 a
Metlapa	0.0 f	37 e	47 d	65 c	80 b	90 a	95 a	95 a
Iguala	0.0 f	35 e	47 d	62 c	80 b	90 a	95 a	98 a
Testigo	0.0 g	48 f	70 e	85 d	89 c	95 b	100 a	100 a

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

Anexo 13. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 5 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	31909.2	4558.4	0.999	2.286	3227.9	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	29711.5	4244.5	0.991	5.980	331.05	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	27430.4	3918.6	0.993	5.377	494.52	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	31370.2	4481.4	0.994	6.544	510.34	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	32446.4	4635.2	0.997	2.691	1237.5	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	31847.3	4549.6	0.995	4.125	661.76	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	33043.7	4270.5	0.990	6.173	309.88	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	33142.0	4734.5	0.998	1.778	2781.1	0.0001 **

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

Anexo 14. Porcentaje de daño visual a los 10 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 g	23 f	43 e	63 d	76 c	86 b	95 a	100 a
Cocula	0.0 g	33 f	48 e	70 d	83 c	90 b	98 a	100 a
Col. Obregón	0.0 g	26 f	41 e	60 d	74 c	83 b	93 a	100 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 g	14 f	30 e	53 d	69 c	80 b	91 a	96 a
Col. Tijuana	0.0 f	56 e	73 d	84 c	94 b	100 a	100 a	100 a
Metlapa	0.0 f	41 e	53 d	73 c	86 b	96 a	100 a	100 a
Iguala	0.0 f	39 e	59 d	74 c	88 b	98 a	100 a	100 a
Testigo	0.0 e	58 d	78 c	93 b	100 a	100 a	100 a	100 a

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

Anexo 15. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 10 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	36375.0	5196.4	0.997	3.599	1091.2	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	35367.4	5052.5	0.996	3.652	892.32	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	33761.7	4823.1	0.993	5.392	468.03	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	36721.8	5245.9	0.996	4.786	783.40	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	33088.5	4726.9	0.998	2.179	1733.9	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	35105.4	5015.0	0.997	3.143	1078.4	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	35511.7	5073.1	0.997	2.896	1251.0	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	34473.2	4924.7	0.998	2.077	1849.8	0.0001 **

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

Anexo 16. Porcentaje de daño visual a los 15 DDA, del bioanálisis de resistencia de *E. heterophylla* a atrazina en post-emergencia. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.0 g	28 f	53 e	73 d	86 c	95 b	100 a	100 a
Cocula	0.0 g	34 f	58 e	76 d	90 c	96 b	100 a	100 a
Col. Obregón	0.0 g	30 f	49 e	69 d	85 c	94 b	100 a	100 a
Col. Obregón (Sorgo)	0.0 g	20 f	42 e	63 d	80 c	90 b	100 a	100 a
Col. Tijuana	0.0 e	63 d	79 c	90 b	98 a	100 a	100 a	100 a
Metlapa	0.0 f	48 e	63 d	79 c	93 b	100 a	100 a	100 a
Iguala	0.0 f	45 e	66 d	85 c	96 b	100 a	100 a	100 a
Testigo	0.0 d	66 c	88 b	98 a	100 a	100 a	100 a	100 a

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

Anexo 17. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de porcentaje de daño visual a los 15 DDA de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	38486.7	5498.1	0.997	2.905	1463.2	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	36973.2	5281.8	0.998	2.082	2555.3	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	37575.0	5367.8	0.998	2.199	2576.5	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	40015.8	5716.5	0.998	2.304	2816.3	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	33192.9	4741.8	0.998	2.153	1655.3	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	34755.4	4965.0	0.998	2.447	1570.1	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	36040.2	5148.6	0.999	1.564	3840.0	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	34181.5	4883.0	0.998	1.930	1972.0	0.0001 **

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

Anexo 18. Efecto de atrazina en post-emergencia sobre el peso fresco (g) de *E. heterophylla* a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	5.61	4.38	3.55	2.88	2.33	1.42	1.27	1.04
Cocula	4.09	3.07	2.47	1.61	1.24	0.89	0.79	0.66
Col. Obregón	4.04	3.21	2.52	1.84	1.39	1.06	1.00	0.87
Col. Obregón (Sorgo)	5.18	4.79	4.16	3.45	2.58	1.69	1.37	1.09
Col. Tijuana	5.53	2.28	1.29	0.66	0.61	0.58	0.53	0.49
Metlapa	4.98	2.53	2.08	1.47	1.29	0.48	0.27	0.23
Iguala	4.96	2.49	1.92	1.61	1.35	0.23	0.21	0.19
Testigo	3.85	1.53	0.48	0.35	0.24	0.15	0.12	0.10

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

Anexo 19. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso fresco (g) del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	72.38	10.34	0.972	12.37	83.89	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	43.16	6.166	0.980	10.87	151.14	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	37.79	5.399	0.889	26.47	19.35	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	70.82	10.11	0.996	3.530	877.87	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	85.00	12.14	0.993	11.00	446.20	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	69.83	9.976	0.941	28.29	44.63	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	72.25	10.32	0.961	23.03	73.77	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	47.16	6.738	0.995	11.43	701.05	0.0001 **

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

Anexo 20. Efecto de atrazina en post-emergencia sobre el peso seco (g) de *E. heterophylla* a los 15 DDA. Chapingo, México. 2005. ^e

Población	Gramos de ingrediente activo ha ⁻¹							
	0	150	300	600	1,200	2,400	4,800	9,600
Apipilulco	0.66	0.52	0.41	0.34	0.29	0.21	0.19	0.17
Cocula	0.45	0.36	0.29	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14
Col. Obregón	0.47	0.38	0.31	0.23	0.21	0.18	0.18	0.17
Col. Obregón (Sorgo)	0.62	0.55	0.45	0.39	0.31	0.23	0.21	0.19
Col. Tijuana	0.67	0.28	0.21	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12
Metlapa	0.60	0.31	0.26	0.21	0.19	0.12	0.09	0.08
Iguala	0.59	0.30	0.25	0.23	0.21	0.08	0.08	0.07
Testigo	0.43	0.24	0.12	0.11	0.10	0.07	0.06	0.05

^e; Promedio de cuatro repeticiones con cuatro plantas por repetición.

Anexo 21. Cuadro resumen del análisis de varianza para la variable de peso seco (g) del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos							
	FV	GL	SC	CM	R ²	CV	FC	Pr>F
Apipilulco	Trat.	7	0.840	0.120	0.951	14.17	47.89	0.0001 **
Cocula	Trat.	7	0.338	0.048	0.974	8.026	116.73	0.0001 **
Col. Obregón	Trat.	7	0.342	0.048	0.823	25.16	10.55	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Trat.	7	0.731	0.104	0.996	2.872	908.71	0.0001 **
Col. Tijuana	Trat.	7	0.984	0.140	0.989	9.914	271.11	0.0001 **
Metlapa	Trat.	7	0.808	0.115	0.929	24.14	35.85	0.0001 **
Iguala	Trat.	7	0.836	0.119	0.943	21.41	49.81	0.0001 **
Testigo	Trat.	7	0.469	0.067	0.992	8.555	412.50	0.0001 **

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

Anexo 22. Cuadro resumen del análisis de varianza del modelo logístico no lineal para los parámetros estimados del bioanálisis de atrazina en post-emergencia ($\alpha = 0.05$) sobre poblaciones de *E. heterophylla*. Chapingo, México. 2005.

Población	Análisis de varianza de los tratamientos					
	FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Apipilulco	Regresión	4	123.2	41.066	74.02	0.0001 **
Cocula	Regresión	4	37.834	9.458	431.77	0.0001 **
Col. Obregón	Regresión	4	15.447	3.861	59.18	0.0001 **
Col. Obregón (Sorgo)	Regresión	4	46.175	11.543	6217.48	0.0001 **
Col. Tijuana	Regresión	4	16.468	4.117	493.27	0.0001 **
Metlapa	Regresión	4	36.373	12.124	63.58	0.0001 **
Iguala	Regresión	4	41.117	10.279	63.70	0.0001 **
Testigo	Regresión	4	63.154	15.788	586.72	0.0001 **

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