

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



Bases teóricas del efecto alelopático de la maleza (*Cyperus rotundus*), en la germinación y desarrollo en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

POR:

**JACOB ELIEZER CARPIO VÁSQUEZ
LUIS ANTONIO URBINA CASTILLO
JUAN CARLOS SÁNCHEZ CORTEZ**

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL**



Bases teóricas del efecto alelopático de la maleza (*Cyperus rotundus*), en la germinación y desarrollo en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

POR:

**JACOB ELIEZER CARPIO VÁSQUEZ
LUIS ANTONIO URBINA CASTILLO
JUAN CARLOS SÁNCHEZ CORTEZ**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

LIC. M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL

M. Sc. ANDRES WILFREDO RIVAS FLORES

DOCENTE DIRECTOR:

M. Sc. ANDRES WILFREDO RIVAS FLORES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

M. Sc. RAFAEL ANTONIO MENJÍVAR ROSA

RESUMEN

La *alelopatía* es la liberación de compuestos químicos desde una especie vegetal, que tiene efectos negativos sobre especies vecinas. En las últimas décadas el estudio de la alelopatía ha incluido estudios de síntomas y severidad de los efectos adversos de las plantas vivas o de sus residuos sobre el crecimiento de las plantas superiores o cultivos, interacciones entre organismos, significado ecológico de la alelopatía en las comunidades vegetales, autotoxicidad, problemas en las rotaciones agrícolas y la producción y la identificación y aislamiento de los aleloquímicos tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. Los productos que poseen una acción alelopática son llamados aleloquímicos y se encuentran en las hojas, flores, frutos, tallos, raíces, rizomas, semillas y polen. Pueden ser liberados al ambiente a través de la volatilización, percolación, exudados por las raíces y por la descomposición de residuos vegetales. Las respuestas características son la estimulación o atracción a bajas concentraciones de aleloquímicos y la inhibición o repelencia a medida que la concentración se incrementa. Los efectos observables son la inhibición o retardo de la germinación, del crecimiento aéreo o radical y una disminución de la capacidad reproductiva de la planta. La aplicación de la alelopatía es una alternativa que puede ser incorporada dentro de un manejo racional de malezas. Su uso puede aplicarse en, mejorar la capacidad alelopática de los cultivares, uso de aleloquímicos como herbicidas naturales, uso de plantas alelopáticas con el cultivo, rotaciones con cultivos con efectos alelopáticos y uso de residuos vegetales de especies alelopáticas.

Palabra clave: alelopatía, malezas, agroecosistema, cultivo

ABSTRACT

Allelopathy is the release of chemical compounds from a plant species, which has negative effects on neighboring species. In recent decades the study of allelopathy has included studies of symptoms and severity of the adverse effects of living plants or their residues on the growth of higher plants or crops, interactions between organisms, and ecological significance of allelopathy in communities. plants, autotoxicity, problems in agricultural rotations and production, and the identification and isolation of allelochemicals both in natural ecosystems and in agroecosystems. Products that possess allelopathic action are called allelochemicals and are found in leaves, flowers, fruits, stems, roots, rhizomes, seeds, and pollen. They can be released into the environment through volatilization, percolation, root exudate and the decomposition of plant residues. Characteristic responses are stimulation or attraction at low concentrations of allelochemicals and inhibition or repellency as the concentration increases. The observable effects

are the inhibition or delay of germination, aerial or root growth and a decrease in the reproductive capacity of the plant. The application of allelopathy is an alternative that can be incorporated into a rational weed management. Its use can be applied in improving the allelopathic capacity of cultivars, use of allelochemicals as natural herbicides, use of allelopathic plants with the crop, rotations with crops with allelopathic effects and use of plant residues of allelopathic species.

Keyword: allelopathy, weeds, agroecosystem, crop

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO: Por su incondicional amor, fortaleza, por el milagro de la vida y por sentir su presencia en cada etapa de este proceso de formación el cual nos permite culminar y emprender con dignidad y orgullo nuestra profesión como ingenieros agrónomos.

A NUESTRA FAMILIA: Por ser el apoyo económico y moral durante toda la carrera y sobre todo por su dedicación y empeño de vernos realizados como profesionales.

A LOS DOCENTES: Dr. Francisco Lara Ascencio, M. Sc. Andrés Wilfredo Rivas Flores por el aporte de sus conocimientos y el apoyo desinteresado para que lográramos realizar y culminar nuestro trabajo de grado.

A NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS: Por la amistad y el compañerismo que nos brindaron durante toda la carrera, por las innumerables experiencias que quedarán en nuestras memorias y con mucho orgullo recordaremos.

AL PUEBLO SALVADOREÑO: gracias a sus impuestos, tuvimos el privilegio de estudiar en la única universidad pública del país, nuestra querida alma mater, Universidad de El Salvador.

Jacob Carpio
Luis Urbina
Juan C. Sánchez

DEDICATORIA

A DIOS: por ser mi guía y mi luz en todos estos años, gracias a su voluntad hoy puedo decir misión cumplida, con la fe en su poder y amor esperando un futuro de muchos éxitos profesionales.

A MIS PADRES: Santos Estanislao Carpio, María Enriqueta Vásquez, por sus consejos y el apoyo incondicional durante todos estos años, acompañándome y alentándome en cada paso, para seguir adelante a pesar de los problemas y desafíos de la vida.

A MIS HERMANOS: Rebeca, Aida, Ruth, Josué y Daniela por el privilegio de ser su hermano y por el apoyo moral siempre que quise desistir por las dificultades que la vida me presento.

A MIS SOBRINOS: Mateo, Lucas y Caleb, por la alegría de haber llegado a nuestras vidas y que son fuente de inspiración para seguir adelante.

A MIS AMIGOS: de La Facultad de Ciencias Agronómicas que siempre me han acompañado en esta travesía y han sido mis confidentes para lograr muchos sueños, a los que están lejos pero que siempre se les recuerda con mucho cariño.

Podrán desfallecer mi cuerpo y mi espíritu,
pero Dios fortalece mi corazón;
él es mi herencia eterna.

Salmos 73:26

Jacob Eliezer Carpio Vásquez

DEDICATORIA

A DIOS: por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia, sabiduría en mis metas propuestas.

A MI MADRE: Lidia Castillo por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A MIS ABUELOS: Cleotilde López de Castillo y José Adán Castillo cuyo amor y enseñanzas hacen eco en mi vida. Desde el cielo han estado conmigo. Los llevo en mi corazón siempre.

A MIS HERMANOS: Walter Iván por el apoyo moral y material, asimismo mis hermanos Silvio Saúl, Reina por su apoyo incondicional.

A MI TÍA CARMEN: por ser la impulsadora en mi carrera profesional y apoyarme en mi formación académica universitaria, de igual manera a mi tío Lito, madrina Conchi y padrino Manuel, a mis primos Juan Carlos, Manuel Fernando, por su apoyo moral y material. Asimismo, a toda mi familia.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS: por brindarme mi formación profesional a lo largo de mi carrera y en especial a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad de El Salvador.

A MIS COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS: Juan Sánchez y Jacob Carpio por su apoyo y amistad, a Fátima Nieto por su apoyo incondicional y por estar siempre conmigo. Asimismo, a Elmer, Edgar, Geovanny, Serpas, Armijo, David, en fin, a todos mis compañeros y amigos que me brindaron apoyo motivacional desde el inicio de mi carrera.

A MIS AMIGOS: Los que desean mi felicidad, los que han estado en los buenos y malos momentos conmigo, los que me dieron un abrazo, a los que escuché y me escucharon, los que cuando me equivoqué me dieron una segunda oportunidad, a los que aún hoy después de ayer siguen siendo más que amigos, hermanos.

Luis Antonio Urbina Castillo

DEDICATORIA

A DIOS: Por ser mi fortaleza y mi guía, por ser quien me ha regalado la sabiduría, la capacidad y la vida para poder llegar hasta este momento y por todo lo bueno que él me tiene preparado. Gracias Dios por tu amor y misericordia.

A MIS PADRES: Carlos Sánchez Vides y Zoila Esperanza Cortez de Sánchez, padres los amo y esto lo he logrado gracias a su amor, apoyo, consejos y esas ganas de verme salir adelante. Gracias.

A MIS ABUELOS MATERNOS: Alejandro Cortez Rojas y Secundina Galicia, sé que desde allá del cielo siempre me aman y me amaran siempre, gracias por todo su amor y cariño que nos dieron durante toda su vida.

A MIS HERMANOS: Yesenia, Arely, Mayra y Joel, a cada uno de ellos gracias por todo su apoyo incondicional en cada momento que lo necesite, gracias a Dios, nuestros padres y ustedes, lo hemos logrado.

AL AMOR DE MI VIDA: Zaira Marielos Trejo Vázquez, gracias por ser mi apoyo y estar siempre a mi lado en los momentos que más lo necesito. Gracias Zairita.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: de la Facultad de Ciencias Agronómicas los que en todo este tiempo de estudio me han brindado su amistad y apoyo, por esas luchas que hemos vivido y las que nos faltan por alcanzar todavía, gracias a todos.

Juan Carlos Sánchez Cortez

ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	2
2.1 Generalidades	2
2.2 Alelopatía.	2
2.2.1 Concepto y generalidades.	2
2.3 La alelopatía en la agricultura	6
2.4 Naturaleza química de los agentes alelopáticos.	8
2.4.1 Compuestos alifáticos	11
2.4.2 Lactonas no saturadas	11
2.4.3 Lípidos y ácidos grasos	11
2.4.4 Terpenoides	12
2.4.5 Los monoterpenos	12
2.4.6 Glicósidos cianogénicos	14
2.4.7 Compuestos aromáticos	14
2.4.7.1 Fenoles simples	14
2.4.7.2 Acido benzoico y sus derivados	14
2.4.7.3 Fenilpropanoides	15
2.4.7.4 Ácido cinámico y sus derivados	15
2.4.7.5 Quinonas y sus derivados	16
2.4.7.6 Cumarinas	16
2.4.7.7 Flavonoides	17
2.4.7.8 Taninos	17
2.4.7.9 Alcaloides	17
2.5. MODO DE LIBERACIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS	19
2.5.1 Volatilización.	19
2.5.2 Lixiviación	20
2.5.3 Exudados radiculares	21
2.5.4 Descomposición de los residuos radicales	22
2.6 MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS	23
2.6.1 Alteraciones hormonales.	25

2.6.2 Efectos sobre la actividad enzimática	26
2.6.3 Efectos sobre la fotosíntesis	27
2.6.4 Efectos sobre la respiración	27
2.6.5 Efectos sobre procesos asociados a membranas	27
2.6.5.1 Modelo de acción alelopática de compuestos fenólicos	28
2.7. Malezas con potencial alelopáticos	29
2.7.1. <i>Amaranthus spinosus</i>	29
2.7.2. <i>Portulaca oleracea</i>	29
2.7.3. <i>Cynodon dactylon</i>	30
2.7.4. <i>Cyperus rotundus</i>	30
2.7.5. <i>Rottboellia cochinchinensis</i> .	31
2.8. GENERALIDADES DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRIJOL COMUN.	31
2.8.1. Cultivo de maíz.	31
2.8.1.1. Taxonomía del maíz	31
2.8.1.2. Manejo agronómico.	32
2.8.1.3. Preparación del suelo	32
2.8.1.4. Época de siembra	32
2.8.1.5. Principales malezas en el cultivo de maíz en El Salvador.	32
2.8.1.6. Período crítico de competencia	33
2.8.2. Cultivo de Frijol	34
2.8.2.1. Generalidades del cultivo de frijol	34
2.8.2.2. Taxonomía del frijol	34
2.8.2.3. Principales malezas en el cultivo de frijol común en zonas de Centroamérica	34
2.8.2.4 Sistemas de siembra	35
2.8.2.5. Periodos críticos de competencia.	36
3.0 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	37
3.1. Descripción de estudio.	37
3.1.1. Consulta bibliográfica.	37
3.1.2. Lectura del material bibliográfico.	37
3.1.3. Ordenamiento del material.	37
3.1.4. Redacción.	38
4. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES CONSULTADAS	38

4.1. Laynez y Méndez (2007) estudiaron el efecto de extractos acuosos foliares de <i>C. rotundus</i> , especie donadora, sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas del híbrido comercial de maíz Pioneer 3031, especie receptora.	38
4.1.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica de los extractos foliares	39
4.1.2. Porcentaje de germinación	41
4.1.3. Altura de la planta	42
4.1.4. Longitud de la radícula	43
4.1.5. Peso seco del vástago	43
4.1.6. Peso seco de la radícula	44
4.1.7 Relación altura de la plántula/longitud de la radícula	45
4.1.8. Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula	45
4.1.9. Efecto de los extractos sobre la germinación y crecimiento	45
4.2. Laynez y Méndez (2006) determinaron los efectos de extractos acuosos del follaje del coyolillo (<i>C. rotundus</i>) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de frijol (<i>P. vulgaris</i>) cultivar Tenerife. Con follaje de coyolillo de 15 días.	46
4.2.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica de los extractos	49
4.2.2. Análisis para Porcentaje de germinación	49
4.2.3. Análisis de longitud de la radícula (cm)	49
4.2.4. Análisis del peso seco del vástago (gr)	50
4.2.5. Peso seco de la radícula (g)	51
4.2.6. Relación altura de la plántula/longitud de la radícula	52
4.2.7. Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula	52
4.3. García (2005) realizó un estudio para determinar el potencial alelopático supresor de malezas de los cultivos de maíz (<i>Zea mays</i> Lin.), sorgo (<i>Sorghum vulgare Pers.</i>) y girasol (<i>Helianthus annuus</i> Lin.).	53
4.4. Ordeñana y Tapia (2008), evaluaron el comportamiento de las malezas en maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo sistemas de producción convencional y orgánico.	54
4.4.1. Biomasa de las malezas encontradas en cada sistema.	56
4.4.2. Efecto en el rendimiento.	57
4.5. Acuña y Castro (2001) evaluaron el comportamiento de las comunidades de malezas, el crecimiento y rendimiento del maíz y del frijol en distintos arreglos topológicos de estos cultivos.	58
4.6. Terezinha P <i>et al.</i> 2011, evaluaron Exudados de la raíz de <i>Amaranthus cruentus</i> L. en semillas de <i>Glycine max</i> (L.) Merril, <i>Zea mays</i> L. y <i>Bidens pilosa</i> L.	60

4.7. Borgio Jukoski <i>et al.</i> (2011) evaluaron el efecto alelopático del pasto bermuda (<i>Cynodon dactylon</i> L.) en el desarrollo de plántulas de lechuga y frijol en condiciones de laboratorio.	62
4.8. Soares Novo <i>et al.</i> (2009) evaluaron extractos acuosos de las estructuras de pasto bermuda (<i>Cynodon dactylon</i> L.) en el desarrollo inicial de plantas de arroz, maíz y trigo.	63
4.9. Bello Boente, 2018, evaluó el efecto Alelopático de <i>Tagetes erecta</i> L. y <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray, en el control de plantas arvenses asociadas al cultivo del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en condiciones semicontroladas los efectos alelopáticos de los extractos acuosos y etanólicos en material vegetal de <i>Tagetes erecta</i> y <i>Tithonia diversifolia</i> , sobre las plantas arvense predominantes en el cultivo y sobre el propio frijol común.	64
4.10. Rickli <i>et al.</i> 2011 consultado por Siberti da Silva, 2012, presentó los resultados sobre el efecto de aleloquímicos de extractos de neem (<i>Azadirachta indica</i> A.) en organismos vegetales de plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.), frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).	67
5. ASIMILACIÓN TEÓRICA	69
6. CONCLUSIONES	72
7. RECOMENDACIONES	73
6. BIBLIOGRAFÍA	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Potencial alelopático de compuestos volátiles.	20
Cuadro 2. Potencial alelopático de lixiviados.	21
Cuadro 3. Principales malezas que afectan el cultivo de maíz en El Salvador.	33
Cuadro 4. Principales malezas en cultivo de frijol en Centroamérica	35
Cuadro 5. Comportamiento de las malezas y su valoración por chi cuadrado (X^2)	53
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos evaluados. Masaya postrera 1998.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de regresión para el pH y la conductividad eléctrica de los extractos acuosos foliares de L.	39
Tabla 2. Análisis de regresión para porcentaje de germinación (PG), altura de la planta (AP) (cm), longitud de la radícula (LR) (cm) y relación altura de la planta/longitud de la	

radícula (RAP/LR) bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de <i>Cyperus rotundus</i> L. en condiciones de laboratorio.	40
Tabla 3. Análisis de regresión para peso seco del vástago (PSV) (g) peso seco de la radícula (PSR) (g) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR) bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de <i>Cyperus rotundus</i> L. en condiciones de laboratorio.	40
Tabla 4. Análisis de regresión para el pH y la conductividad eléctrica de los extractos acuosos foliares de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i>).	47
Tabla 5. Análisis de regresión para porcentaje de germinación (PG), altura de la plántula (AP) (cm), longitud de la radícula (LR) (cm) y relación AP/LR (RAP/LR) en caraota (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife.	48
Tabla 6. Análisis de regresión para peso seco del vástago (PSV) (g), peso seco de la radícula (PSR) (g) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR) en caraota (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife.	50
Tabla 7. Diversidad de malezas encontradas en el sistema convencional y orgánico en el cultivo de maíz.	54
Tabla 8. Exudados radiculares de amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i> L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), Velocidad media de germinación (VMG) y longitud media de raíz (LMR) en soja (<i>Glycine max</i> L.).	60
Tabla 9. Exudados radiculares de amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i> L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG), longitud media de raíz (LMR) y longitud media de parte aérea (LMPA) en plantas de maíz.	61
Tabla 10. Exudados radiculares de maíz (<i>Zea mays</i> L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG), longitud media de raíz (LMR) y longitud media de parte aérea (LMPA) en plantas de amaranto (<i>Amaranthus croentus</i> L.)	61
Tabla 11. Promedio del porcentaje de germinación de plántulas de frijol y lechuga en función de tratamientos con diferentes formulaciones de extractos a base de pasto bermuda.	62
Tabla 12. Longitud promedio (cm) de raíces de plántulas de frijol y lechuga según tratamientos con diferentes formulaciones de extractos a base de pasto de seda	62

Tabla 13. Longitud promedio de la parte aérea (cm) de plántulas de frijol y lechuga en función de los tratamientos con diferentes extractos acuosos a base zacate bermuda. 63

Tabla 14. Comparación entre los efectos de los extractos producidos a partir de raíz, rizoma y raíz + rizoma de plantas de Hierba de seda en la protuberancia de la radícula y en la longitud de la radícula en plantas de arroz, maíz y trigo. 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inducción de compuestos aleloquímicos por estreses ambientales. 6

Figura 2. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de plantas. 10

Figura 3. Esquema del proceso de los isoprenoides 12

Figura 4. Estructura química de la azadiractina. 13

Figura 5. Estructura química de la vainillina y del ácido salicílico. 15

Figura 6. Esquema del proceso del fenilpropanoide 15

Figura 7. Estructura química del psolareno. 16

Figura 8. Estructura química de los alcaloides derivados de reticulina. 18

Figura 9. Modelo que ilustra los sitios de acción de agentes alelopáticos del sorgo en la fisiología celular. Algunos sitios primarios de acción deletérea están sugeridos por flechas. 29

Figura 10. Análisis de regresión para valores del potencial hidrogénico (pH, línea con marcas de cuadrados, $r^2= 87,6\%$; $F= 14,01$; $p< 0,064$) y conductividad eléctrica (CE, línea con marcas de círculos, $r^2= 99,8\%$; $F= 937,3$; $p< 0,001$) de los extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., utilizados en el ensayo con maíz (*Zea mays* L.). 41

Figura 11. Análisis de regresión para porcentaje de germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio. 42

Figura 12. Análisis de regresión para altura de plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de <i>Cyperus rotundus</i> L., en condiciones de laboratorio.	42
Figura 13. Análisis de regresión para longitud de la radícula de plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de <i>Cyperus rotundus</i> L., en condiciones de laboratorio.	43
Figura 14. Análisis de regresión para el peso seco del vástago de plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de <i>Cyperus rotundus</i> L., en condiciones de laboratorio.	44
Figura 15. Análisis de regresión para el peso seco de la radícula de plantas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de <i>Cyperus rotundus</i> L., en condiciones de laboratorio.	44
Figura 16. Análisis de regresión para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula de plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i> L.), en condición.	45
Figura 17. Análisis de regresión para valores del potencial hidrogenico (pH) y conductividad eléctrica (CE) de los extractos acuosos del follaje del coyolillo <i>Cyperus rotundus</i> L., utilizados en el ensayo con frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).	47
Figura 18. Análisis de regresión para la altura de plántulas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i>) en condiciones de laboratorio.	49
Figura 19. Análisis de regresión para la longitud de la radícula de plántulas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i>) en condiciones de laboratorio.	49
Figura 20. Análisis de regresión para el peso seco del vástago de plántulas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i>) en condiciones de laboratorio.	50
Figura 21. Análisis de regresión para la relación altura de la plántula/longitud de la radícula de plántulas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (<i>Cyperus rotundus</i>) en condiciones de laboratorio.	52

Figura 22. Abundancia de especies de maleza en sistema convencional de cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	55
Figura 23. Abundancia de especies de malezas en sistema orgánico de cultivo de maíz.	55
Figura 24. Biomasa de malezas (g/m ²) por especie encontrada en el sistema convencional de cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	56
Figura 25. Biomasa de malezas (g/m ²) por especie encontrada en el sistema convencional de cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) 4.3.2. Efecto en el rendimiento.	57
Figura 26. Rendimiento (kg ha ⁻¹) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en sistema convencional y orgánico.	57
Figura 27. Efecto de los arreglos topológicos, sobre la abundancia de las malezas, 35 días después de la siembra (dds). Cofradía, Masaya. Postrera, 1998.	59
Figura 28. Efecto de los arreglos topológicos sobre la abundancia de las malezas, a los 80 días después de siembra (dds). Cofradía, Masaya. Postrera, 1998.	59
Figura 29. Tratamiento de <i>T. erecta</i> sobre la germinación de semillas de frijol común. En diferentes concentraciones y horas.	65
Figura 30. Tratamiento de <i>T. diversifolia</i> sobre la germinación de semillas de frijol común. en diferentes concentraciones de extractos y horas.	65
Figura 31. Estado de la germinación del frijol a las 24 h y 96 h, un testigo junto a las mayores concentraciones de extractos de <i>T. erecta</i> y <i>T. diversifolia</i> (C 100%)	66
Figura 32. Plántulas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) sometidas a diferentes extractos de follaje de nim (<i>Azadirachta indica</i> A.) (T1) Testigo, (T2) extracto al 20%. (T3) extracto a 40%. (T4) extracto a 60%. (T5) extracto a 80%. (T6) extracto a 100%	67
Figura 33. Plántulas de Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) sometidas a diferentes extractos de follaje de (<i>Azadirachta indica</i> A.) (T1) Testigo, (T2) extracto al 20%. (T3) extracto a 40%. (T4) extracto a 60%. (T5) extracto a 80%. (T6) extracto a 100%	68

1. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores limitantes para el aumento de la producción agrícola es la persistente interferencia de las malezas con el crecimiento de la planta cultivable, lo que causa grandes pérdidas de la cosecha, elevados costos de producción y reduce la calidad de la producción obtenida (FAO 1997).

Las pérdidas anuales causadas por las malezas en la agricultura de los países en desarrollo han sido estimadas en 125 millones de toneladas de alimentos, cantidad suficiente para alimentar 250 millones de personas.

Las malezas compiten fuertemente con las plantas cultivables por la luz, el agua y los nutrientes, y también exudan o lixivian sustancias nocivas de sus raíces y hojas, respectivamente, las que resultan tóxicas a las plantas cultivables.

La alta presión de las malezas está por lo general asociada con la fuerte intensidad de uso de la tierra. Los pequeños agricultores en tales sistemas, particularmente aquellos en áreas con altas densidades de población humana, carecen de la capacidad para lidiar efectivamente con los altos niveles de lluvia de semillas de malezas que tienen lugar después de la cosecha, e incluso durante el período de barbecho, donde tiene lugar la degradación del suelo (FAO 1997).

Debido a la agresividad y el efecto negativo que presentan ciertas malezas en diversos cultivos ya sean granos básicos, hortalizas o frutales se requiere de grandes inversiones en insumos, equipo, maquinaria, mano de obra y capacidad técnica; para el manejo y control de estas; repercutiendo negativamente en los costos de producción del agricultor (CENTA 2008).

En esta investigación se recopila información de investigaciones científicas con el fin de presentar las bases teóricas del efecto alelopático de malezas ya sea de una forma negativa o positiva, que interfiera significativamente en la germinación y desarrollo de plántulas de maíz y frijol común; cultivos de gran importancia económica, agrícola, social y alimentaria en nuestro país.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 Generalidades

Las plantas que aparecen como indeseables en áreas de cultivos son consideradas como “malezas”; constituyen riesgos naturales dentro de los intereses y actividades del hombre, son frecuentemente descritas como dañinas a los sistemas de producción de cultivos y también a los procesos industriales y comerciales (Albuja 2008).

Por lo tanto, afectan el potencial productivo de la superficie ocupada. Este daño puede ser medido como pérdida del rendimiento agrícola por unidad de área cultivable. El mayor conocimiento del daño de las malezas proviene de las evaluaciones de pérdidas de cosechas agrícolas. De manera general, se acepta que las malezas ocasionan una pérdida directa aproximada de 10% de la producción agrícola (Albuja 2008).

Las malezas son un componente integral de los agroecosistemas y como tales influyen la organización y el funcionamiento de los mismos, los problemas de malezas de la actualidad son de similar envergadura que los existentes en el pasado y la diferencia estriba en el rango de tecnologías que se disponen para enfrentarlas, sin embargo con la tecnología promovida por la agricultura convencional ha ocurrido al menos en algunas áreas del planeta - una fuerte contaminación de aguas superficiales y subterráneas, se ha incrementado la erosión del recurso suelo, han aparecido formas de resistencia en plagas, y empiezan a registrarse residuos de plaguicidas en ciertos alimentos (Lorenzo y González 2010).

La investigación en malezas deberá incluir estudios sobre aspectos que permitan una mejor comprensión del objetivo y utilidad de una nueva estrategia de control por el agricultor. Estos estudios deben estar dirigidos a comprender la biología de las malezas (ciclo de vida, productividad, reproducción, viabilidad y longevidad de los órganos de reproducción), su interferencia y daño que ocasionan, así como los métodos idóneos para el control (FAO 1997).

2.2 Alelopatía.

2.2.1 Concepto y generalidades.

El fenómeno de la alelopatía en las plantas viene siendo estudiado desde tiempos muy antiguos, al observarse muy marcadamente la interacción que ejercen las plantas unas sobre otra en

sembradíos de cultivos o campos verdes, es decir tanto en sistemas naturales como en sistemas agrícolas.

Un documento tan antiguo como del año 300 A.C. relata que muchas plantas cosechadas (chícharo, cebada, frijol forrajero) destruyeron malas hierbas e inhibieron el crecimiento de otras cosechas. Autores de muchos lugares del mundo han investigado y definido el fenómeno de la alelopatía, con mayor o menor exactitud, y han coincidido en ver la alelopatía, de forma general, como el efecto producido por las interacciones bioquímicas que se establecen en un agroecosistema entre una especie donante y otra receptora, que incluye a plantas y microorganismos y pueden causar daños o beneficios, entre muchos más (Blanco 2006).

La definición más amplia, es la desarrollada por la Sociedad Internacional de Alelopatía en 1996, definiéndola como: “cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos por plantas, algas, bacterias y hongos, que influyan en el crecimiento y desarrollo de sistemas biológicos y agrícolas”.

En la naturaleza, las plantas están expuestas a factores bióticos y abióticos con los cuales han coevolucionado. La presión de selección ejercida por estos a lo largo del proceso evolutivo provocó el desarrollo en los vegetales de numerosas rutas de biosíntesis a través de las cuales sintetizan y acumulan en sus órganos una gran variedad de metabolitos secundarios. Se sabe que muchos de los mismos juegan un importante rol en interacciones complejas entre organismos vivos en el entorno natural. (Sampietro 2003).

Siguiendo esta definición en todo fenómeno alelopático existe una planta (donador) que libera al medio ambiente por una determinada vía (por ej. lixiviación, volatilización, exudados radicales, descomposición de residuos, etc.) compuestos químicos los cuales al ser incorporados por otra planta (receptora) provocan un efecto perjudicial o benéfico sobre germinación, crecimiento o desarrollo de esta última (Figura 1). Los compuestos que desencadenan el proceso se denominan compuestos, agentes o sustancias alelopáticas (Arévalo *et al.* 2011).

La ruta de liberación de las sustancias alelopáticas varía de acuerdo a sus propiedades físicas, el sitio de acumulación del inhibidor y el clima. Los líquidos salen a la superficie de la planta con el vapor de agua y la gutación, para luego ser lavados por la lluvia, la niebla y el rocío que los hacen caer al suelo. Cuando el principio activo se libera por las raíces puede formar parte de los exudados de éstas o la de materia en descomposición (Mederos, *sf*).

Los exudados de las semillas pueden ser absorbidos por las raíces de otras plantas o actuar de manera directa sobre las semillas (Putnam 1974).

Por otra parte, las hojas y pequeños trozos de ramas que caen al suelo, al descomponerse por la acción de los microorganismos liberan sustancias que actúan directa o indirectamente sobre las plantas (Mederos sf).

También algunos compuestos volátiles son liberados al ambiente y actúan de manera directa sobre la vegetación circundante (Müller 1970).

A partir de estas definiciones es posible extraer tres rasgos imprescindibles a ser tomados en cuenta al estudiar la existencia del fenómeno alelopático: I) la liberación de un compuesto al ambiente encargado de transmitir un efecto, II) la absorción por el organismo receptor y III) provocar un efecto sobre su normal crecimiento. La complejidad del fenómeno resulta de las variables nacientes de cada uno de estos procesos, como, por ejemplo, el mecanismo de liberación del aleloquímico y su estabilidad en el ambiente, que definirán los niveles y la forma en que lo absorberá el organismo receptor, y los innumerables modos de acción encontrados, muchas veces dependiente del ente receptor (Oliveros-Bastidas 2008).

La alelopatía en las plantas no debe verse solo como un mecanismo de defensa o supervivencia, sino que también como fenómeno por el cual una planta desprende al medio compuesto que inhibe la germinación y/o crecimiento de otras plantas.

Los efectos alelopáticos afectan parcial o totalmente la germinación y crecimiento de las plantas, también puede ser de carácter positivo o negativo, directo e indirecto, según la concentración de las sustancias (Bowen 1991).

Estas sustancias o compuestos químicos que son producidos por una planta y proporcionan beneficios al provocar determinados efectos sobre otras plantas o animales, se denominan como aleloquímicos y el fenómeno en el cual están involucradas se designa con el nombre de aleloquimia. Este tipo especial de aleloquimia que se establece entre individuos vegetales se le denomina Alelopatía (Sampietro 2003).

Muchos agentes alelopáticos además de tener un efecto sobre plantas, también lo tienen sobre otros tipos de organismos distantes a éstas tales como herbívoros e insectos fitófagos, este fenómeno se conoce como alelomedación. Evolutivamente es lógico esperar por selección natural la preferencia por modelos de defensa basados en sustancias que presentan actividad

biológica sobre un amplio espectro de organismos, lo cual implica para la planta una mayor eficiencia en el uso de su energía (De la Cruz 1991).

A veces al analizar las interacciones entre plantas superiores existió cierta confusión en el uso de los términos alelopatía y competencia.

La competencia entre plantas involucra la reducción en la disponibilidad de algún factor del entorno, debido a su utilización por un individuo vegetal, que es requerido también por otra planta que comparte el mismo hábitat. Entre estos factores citemos el agua, los nutrientes minerales y la luz (An M *et al.* 2000).

En cambio, la alelopatía implica la liberación al entorno por parte de una planta de un compuesto químico que ocasiona un efecto sobre otra. Para evitar confusiones entre la alelopatía y competencia se utiliza el término de interferencia para designar el efecto total de una planta sobre otra, es decir, la suma de efectos debidos a los fenómenos de competencia y alelopatía (Muller *et al.* 1970).

En alelopatía existe una planta productora del agente alelopático y otra receptora de diferente especie. Cuando la planta productora y la receptora son de la misma especie estamos en presencia de lo que se puede considerar un caso especial en alelopatía llamado autotoxicidad (Blanco 2006)

Básicamente, el fenómeno alelopático implica un componente ecológico (la evidencia de que exista en la naturaleza), un componente químico (aislar, identificar y caracterizar los aleloquímicos) y un componente fisiológico (interferencia en los procesos bioquímicos o fisiología, tanto a nivel celular como molecular). Y todo ellos han de ser abordados para estudiar la implicación del fenómeno alelopático en un determinado ambiente (figura 1) (Oliveros-Bastida 2008).

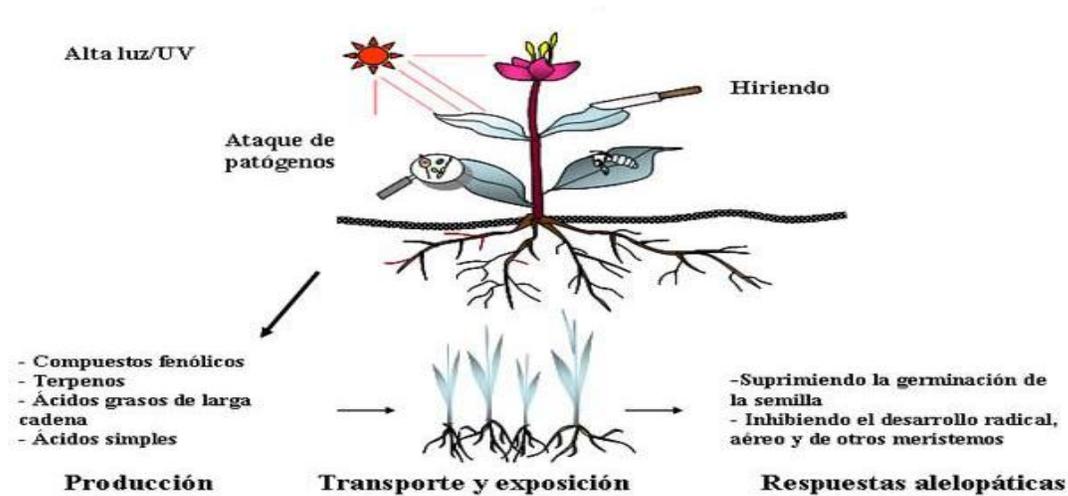


Figura 1. Inducción de compuestos aleloquímicos por estreses ambientales.

Fuente: FAO, 2004

2.3 La alelopatía en la agricultura

Según Moreira 1977, citado por Arévalo *et al.* 2011, establece que, las implicaciones de la alelopatía en la agricultura se manifiestan en la sucesión de la vegetación en terrenos abandonados, donde las especies que infestan esas áreas inhiben a los microorganismos fijadores de nitrógenos de las plantas, al ser cultivadas posteriormente en esos terrenos.

Cuando se cultiva la misma especie de planta por varios años, con el tiempo, los rendimientos de ese cultivo comienzan a declinar, cuyas causas se atribuyen a sustancias alelopáticas. Los restos de la cosecha de cultivos incorporados al suelo pueden tener funciones alelopáticas. La respuesta a los cultivos subsecuentes es diferente, variando con las especies de la planta al ser cultivada en ese suelo (Arévalo *et al.* 2011).

Un gran número de plantas exudan una variada gama de compuestos orgánicos, en condiciones estériles de trabajo. Algunos de estos compuestos exudados por las raíces ejercen un marcado efecto inhibitorio sobre la germinación y el crecimiento de otras especies, estos compuestos fitotóxicos son producidos tanto por ciertas especies cultivadas como por especies no cultivadas, entre las cuales se incluyen las malezas (Blanco 2006).

Es conocido que el cultivo de *Sécale cereale* L. (centeno) tiene alto potencial para limpiar el terreno de malezas, tanto en plantas vivas como muertas incorporadas al suelo. Los análisis químicos mostraron la presencia de un compuesto alelopático denominado benzoxalinonas, que es liberado para el ambiente (Arévalo *et al.* 2011).

Arévalo *et al.* 2011; concuerda con los siguientes autores (Gliessman, 2002; Ferreira y Aquila, 2000; Radosevich y Holt, 1984 todos citados por Arévalo *et al.* 2011), que los residuos de plantas incorporados al suelo, ya sean dejados en la superficie o enterrados con la preparación mecánica del suelo, tienen más influencia que los efectos alelopáticos de las plantas vivas, sobre plantas cultivadas.

No solamente las plantas arvenses sino también numerosas especies de plantas cultivadas tienen efectos alelopáticos.

Al estudiar el efecto de extractos acuosos de *Cyperus rotundus*, *Sorghum halepense*, *Cynodon dactylon*, *Cannavalia ensiformes* y *Brassica napus*, sobre la germinación y crecimiento de las plantas de tomate, se observó que los extractos afectaron con mayor o menor intensidad todos los casos. Por otra parte, los extractos acuosos de *Simsia amplexicaulis pers*, *Oxalis*, *Cyperus rotundus* y *Brassica campestris* L., provocaron efecto inhibitorio sobre algunos cultivos como cebolla, frijol, maíz, sorgo y trigo; en cada uno de ellos se afectó la germinación, la longitud, el número de raíces y la altura de la planta (Arévalo *et al.* 2011).

Ciertas malezas perennes como *Lantana camara*, grama falsa o del norte (*Agropyron repens*), el pasto Johnson, la chufa y ciertas mostazas (*Brassica negra*), son particularmente dañinas. Otros géneros que incluyen especies conocidas por sus efectos alelopático son: *Ambrosia*, *Avena*, *Bromus*, *Helianthus*, *Palygonum*, *Portulaca* y *Setaria*. En otros estudios, se han evaluado las interferencias de otras especies de malezas sobre el cultivo de soya, como es el caso de *Rottboellia cochinchinensis*, que afectó las masas frescas y secas de la soya sembrada a 20 cm de distancia durante 10 semanas, donde ambas especies redujeron sus pesos en aproximadamente 80 % (Layne y Méndez 2007).

El frijol y el sorgo son afectados por los residuos de *Manihot esculenta* y por la propia paja del frijol, por otro lado, experimento de campo se demostró que *Phaseolus vulgaris* L. no sobrevive cuando se siembra junto a *Eucalipthus terricornis*, lo cual se demostró posteriormente en ensayos de laboratorio, donde las hojas de este árbol lixiviaron toxinas que afectaron hasta un 100% el

cultivo. Durante la preparación del suelo, en ocasiones se incorporan altos volúmenes de malezas que potencialmente pueden liberar a estas sustancias alelopáticas (Blanco 2006).

Residuos de cosecha entre 10 a 20 t ha⁻¹ secos al sol, tienen eficiente control de malezas, los cuales, son atribuidos principalmente a fenómenos de alelopatía en interacción como factor físico que impide la entrada de luz a nivel del suelo y reduce la temperatura, impidiendo con ello la germinación de las malezas. Este hecho ya fue observado por Reynoso 1862 citado por (Arévalo *et al.* 2011); quien reportó que dejar los residuos de cosecha en el campo de caña sin quemar, controla más del 50 % de las malezas.

2.4 Naturaleza química de los agentes alelopáticos.

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que realizan las células de los seres vivos para sintetizar sustancias complejas a partir de otras más simples, o para degradar las complejas y obtener las simples. Las plantas, organismos autótrofos, además del metabolismo primario presente en todos los seres vivos, poseen un metabolismo secundario que les permite producir y acumular compuestos de naturaleza química diversa (Reduca 2009).

La mayor parte del carbono, del nitrógeno y de la energía termina en moléculas comunes a todas las células, necesarias para su funcionamiento y el de los organismos. Se trata de aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos, presentes en todas las plantas y desempeñando las mismas funciones. Se denominan metabolitos primarios.

Pero a diferencia de otros organismos, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y de la energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, y que se denominan metabolitos secundarios (también denominados productos secundarios, productos naturales) (Reduca 2009).

La mayoría de los agentes alelopáticos son metabolitos secundarios derivados de las rutas del acetato-mevalonato o del ácido shikímico (Sampietro 2003).

En la actualidad, se conocen aproximadamente 20,000 estructuras de Metabolitos secundarios que por su composición química son clasificados en dos grupos principales: nitrogenados y no nitrogenados. Los (MS) que contienen nitrógeno incluyen a los alcaloides, aminoácidos no

proteicos, aminas, glucósidos cianogénicos y glucosinolatos. Los MS no nitrogenados se dividen en terpenoides, poliacetilenos, policétidos y fenilpropanoides (Figura 2).

La variedad estructural dentro de un mismo grupo de MS está dada por modificaciones químicas a una estructura básica, originadas por reacciones químicas, tales como la hidroxilación, metilación, epoxidación, malonilación, esterificación y la glucosilación (Wink 1999).

Esta variabilidad ocasiona perfiles metabólicos diferentes entre especies, entre los miembros de una población y entre los diferentes órganos de la planta, la cual es parte de la estrategia de adaptación de las plantas.

Proviene de la ruta metabólica del acetato-mevalonato terpenos, esteroides, ácidos orgánicos solubles en agua, alcoholes de cadena lineal, aldehídos alifáticos, cetonas, ácidos grasos insaturados simples, ácidos grasos de cadena larga, poliacetilenos, naftoquinonas, antroquinonas, quinonas complejas y floriglucinol.

Proviene de la vía metabólica del shikímico fenoles simples, el ácido benzoico y sus derivados, el ácido cinámico y sus derivados, cumarinas, sulfuros, glicósidos, alcaloides, cianhidrinas, algunos de los derivados de quinonas y taninos hidrolizables y condensados. Existen también compuestos (p. ej. los flavonoides) en cuya síntesis participan metabolitos de las dos rutas. Como es previsible, las concentraciones de estos compuestos en los tejidos varían según el ritmo de biosíntesis, almacenamiento y degradación. También son afectados por los balances internos de reguladores de crecimiento vegetal y otros factores bióticos y abióticos (Sampietro 2003).

Los compuestos secundarios implicados en las interacciones bioquímicas entre plantas están reportados como agentes que intervienen en procesos o funciones de protección y defensa de dichas plantas (Grodzinsky 1989).

Se ha podido determinar que los aleloquímicos son sustancias finales del metabolismo que son sintetizados por las plantas para una función específica o por un estímulo externo, se conoce de compuestos secundarios que son continuamente sintetizados y degradados en células sanas.

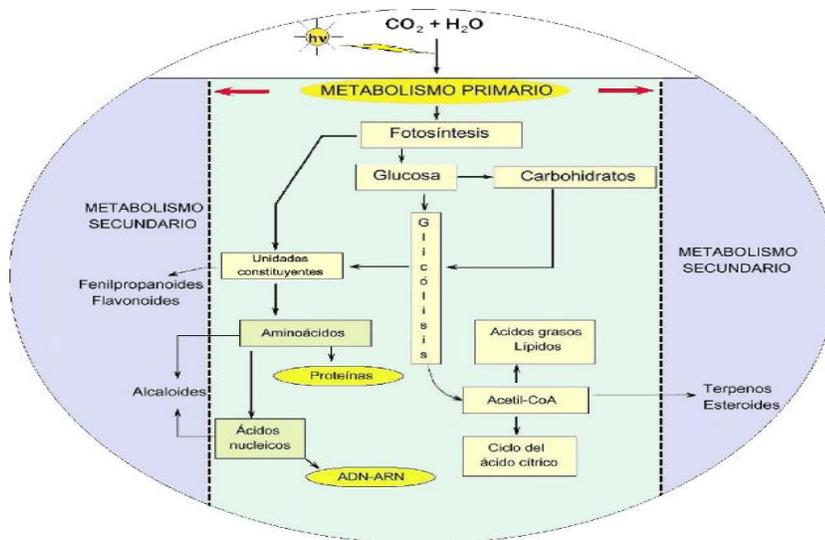


Figura 2. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de plantas.

Fuente: Reduca 2009

El incremento de compuestos fenólicos y terpenoides alelopáticos bajo condiciones de estreses ambientales ha sido bien documentado. Por ejemplo, un fortalecimiento de la luz UV-B induce la acumulación de fenilpropanoides y flavonoides en diferentes especies tales como frijoles, perejil, papa, tomate, maíz, centeno, cebada y arroz (FAO 2004).

Hasta hace poco tiempo muchos estudios verificaron los mecanismos de un sistema de autodefensa, incluyendo la alelopatía en las plantas, especialmente referida al metabolismo de fenilpropanoides e isoterpenoides.

Todos los fenilpropanoides son derivados del ácido cinnámico el cual es formado a partir de la fenilalanina por acción catalítica de la fenilalanina amonioliasa (PAL), la enzima ramificada entre el metabolismo primario (proceso «shikimate») y secundario (fenilpropanoide). Se sabe que muchos compuestos fenólicos no tienen solamente una capacidad fisiológica funcional sino también potencial alelopático para las plantas.

Los compuestos isoprenoides son producidos a partir de unidades isoprenoides C₅ y la clasificación de las diferentes familias de isoprenoides está basada en el número de unidades de isoprenoides C₅ presentes en el esqueleto de los compuestos (FAO, 2004) (Figura 3).

Los terpenoides tienen distintas funciones en las plantas como hormonas (giberelinas, ácido absólico), pigmentos fotosintéticos (fitol, carotenoides), transportadores de electrones (ubiquinona, plastofatos), mediadores de la unión de polisacáridos (fosfatos de poliprenilo) y componentes estructurales de las membranas (fitosteroles). Además de las funciones universales fisiológicas, metabólicas y estructurales muchos compuestos terpenoides específicos (comúnmente en las familias C₁₀, C₁₅ y C₂₀) sirven para la comunicación y la defensa. Se ha determinado que terpenoides específicos inducidos han sido correlacionados con interacciones planta-planta, planta-insecto y planta-patógeno.

La naturaleza química de los agentes alelopáticos es muy variada. Sin embargo, cualesquiera que sean las propiedades de los compuestos detectados en la planta, las características tales como actividades biológicas diversas, tiempo de vida media en el suelo, especificidad a un restringido grupo de organismos, ser inocuo para la especie donadora; evitando de esta manera fenómenos de auto toxicidad; son las exigidas para ser considerado como un aleloquímico.

2.4.1 Compuestos alifáticos

Pocos de estos compuestos son conocidos por su actividad inhibitoria de la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. Comprenden varios ácidos (oxálico, crotonico, fórmico, butírico, acético, láctico y succínico) y alcoholes (tales como metanol, etanol, n-propanol y butanol) solubles en agua, que son constituyentes comunes presentes en plantas y suelo. Bajo condiciones aeróbicas los ácidos alifáticos son rápidamente metabolizados en el suelo, por lo cual no pueden considerarse una importante fuente de actividad alelopática.

2.4.2 Lactonas no saturadas

La psilotina y psilotinina son producidas por *Psilotum nudum* y *Twesiperis tannensis*, respectivamente. La protoanemonina es producida por varias ranunculáceas y son poderosos inhibidores de crecimiento, aunque el rol de estos compuestos en alelopatía no se conoce completamente (Inderjit 2001, Citado por Vidal 2005).

2.4.3 Lípidos y ácidos grasos

Existen varios ácidos grasos tanto de plantas terrestres como acuáticas que son inhibitorios de crecimiento vegetal. Se pueden citar entre otros los ácidos linoleicos, mirístico, palmítico, láurico e hidroxiesteárico. Su rol en alelopatía no está completamente investigado. (Inderjit 2001, Citado por Vidal 2005).

2.4.4 Terpenoides

Se derivan de la fusión de unidades de cinco carbonos llamada isopreno (C5) y se clasifican de acuerdo al número de unidades de isopreno que los forman. En plantas, los isoprenos básicos para la síntesis de los terpenos son el isopentenil pirofosfato (IPP) o su isómero dimetilalil pirofosfato (DMAPP). Para su síntesis existen dos vías, una es la ruta del mevalonato que se lleva al cabo en el citoplasma y la otra se denomina como la ruta DXP, la cual es independiente de la del mevalonato y que se realiza en los plástidos. Los sesquiterpenos, triterpenos y politerpenos se producen en el citosol y en el retículo endoplásmico, mientras que los monoterpenos, diterpenos, tetraterpenos y algunas quinonas preniladas se originan en los plástido (Sepúlveda *et al.* 2004)

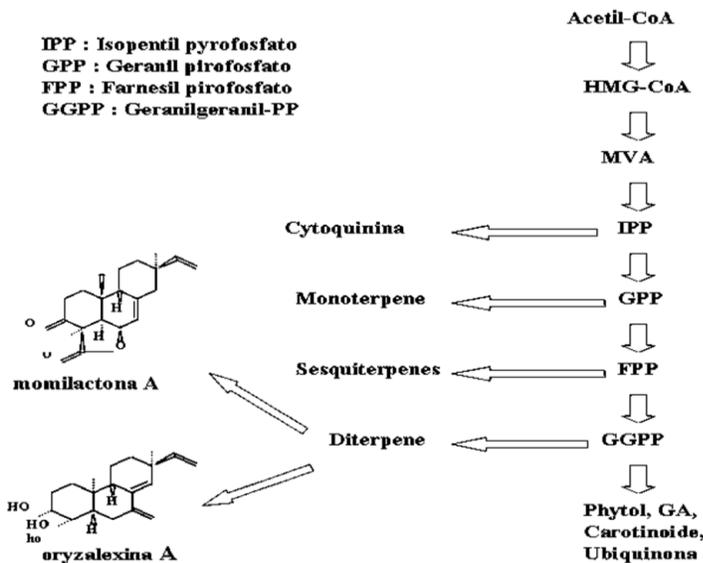


Figura 3. Esquema del proceso de los isoprenoides

Fuente: FAO, 2004

2.4.5 Los monoterpenos

Son los principales componentes de los aceites esenciales de los vegetales y son los terpenoides inhibidores de crecimiento más abundantes que han sido identificados en las plantas superiores. Son conocidos por su potencial alelopático contra malezas y plantas de cultivo. Entre los más frecuentes con actividad alelopática se pueden citar el alcanfor, a y b pineno, 1,8-cineol, y dipenteno. Dentro de las plantas que los producen podemos citar los géneros *Salvia spp.*, *Amaranthus*, *Eucalyptus*, *Artemisia*, y *Pinus*. Un sesquiterpeno destacado es el ácido abscísico una importante hormona vegetal y también agente alelopático.

Los monoterpenos tales como el mentol y el limoneno, que es un antimicrobiano, el citronelal, que es un repelente de insectos y las piretrinas que funcionan como venenos del sistema nervioso de los insectos, son componentes químicos con actividad biológica potencial durante la respuesta de defensa de las plantas que los producen.

Los sesquiterpenos tales como la risitina y lubimina de la papa (*Solanum tuberosum* L.), el capsidiol del chile (*Capsicum annuum* L.) y el 2,7-dihidroxicadalenol del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) son compuestos con actividad antimicrobiana; mientras que el poligodial de *Polygonum hidropiper* L. inhibe fuertemente la alimentación de diversos insectos herbívoros, el diterpeno atractilósido inhibe la fosforilación oxidativa en mitocondrias, y el casbeno del ricino (*Ricinus spp.*) es un agente antifúngico. El triterpenoide cucurbitacina de las raíces de pepino (*Cucumis sativus* L.) es un compuesto con acción nematocida.

Por su parte, los terpenos en combinación con otros compuestos como las oxilipinas y los indoles, forman mezclas de volátiles que funcionan como señales químicas para atraer a los enemigos naturales de insectos herbívoros. Estudios sobre la respuesta de la planta a esta interacción, en hojas de maíz (*Zea mays* L.) y de algodón tratadas con secreciones orales de insectos, demuestran que hay inductores (elicitores) en la saliva de los insectos herbívoros, que inducen la síntesis de tales terpenos volátiles (Shen *et al.* 2000).

Los limonoides también son triterpenos, las sustancias amargas de los cítricos que actúan como antiherbívoros. Un limonoide de los más poderosos repelentes de insectos es la azadiractina (Fig. 4) que se usa en la industria alimentaria y en agronomía para el control de plagas.

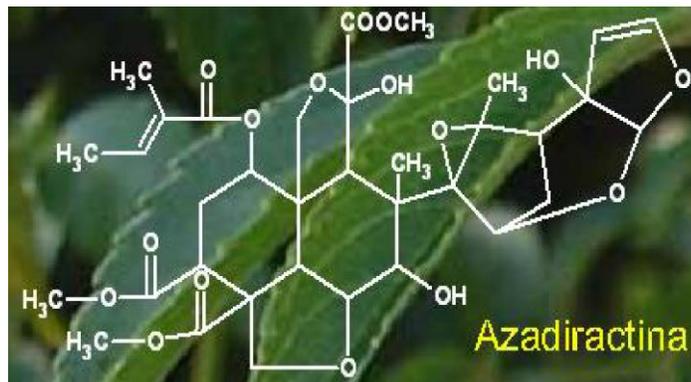


Figura 4. Estructura química de la azadiractina.

Fuente: Pérez Leal, 2017

2.4.6 Glicósidos cianogénicos

Entre ellos se encuentran la durrina y amigdalina (o su forma reducida prunasina) de reconocida actividad alelopática. La hidrólisis de estos compuestos da lugar no sólo a cianhídrico sino también a hidroxibenzaldehído que al oxidarse origina el ácido p-hidroxibenzoico, el cual posee por sí mismo actividad alelopática. La durrina es frecuente entre especies tanto cultivadas como silvestres del género *Sorghum*. Amigdalina y prunasina son frecuentes en semillas de *Prunaceae* y *Pomaceae* actuando como inhibidores de germinación. La mayoría de los miembros de la familia *Brassicaceae* producen grandes cantidades de estos glicósidos, los que por hidrólisis producen isotiocianato con igual actividad biológica (Swain *et al.*, 1992)

2.4.7 Compuestos aromáticos

Estos comprenden la más extensa cantidad de agentes alelopáticos. Incluye fenoles, derivados del ácido benzoico, derivado del ácido cinámico, quinonas, cumarinas, flavonoides y taninos. (Sampietro 2003).

2.4.7.1 Fenoles simples

Entre ellos las hidroxiquinonas y la arbutina, se aislaron de lixiviados de *Arctostaphylos* e inhiben el crecimiento de varias plantas.

2.4.7.2 Acido benzoico y sus derivados

Derivados del ácido benzoico tales como los ácidos hidroxibenzoico y vainílico, están comúnmente involucrados en fenómenos alelopáticos. Dentro de las especies que los contienen se pueden citar el pepino, la avena (*Avena sativa*) y el sorgo. También se detectó la presencia de estos frecuentemente en el suelo. (Sampietro 2003).

Los derivados del ácido benzoico que tienen un esqueleto formado por fenilpropanoides que han perdido un fragmento de dos carbonos de la cadena lateral. Ejemplos de estos derivados son la vainillina y el ácido salicílico (Fig. 5) (actúa como regulador del crecimiento vegetal, implicado en la resistencia de la planta frente a patógenos) (Reduca 2009).

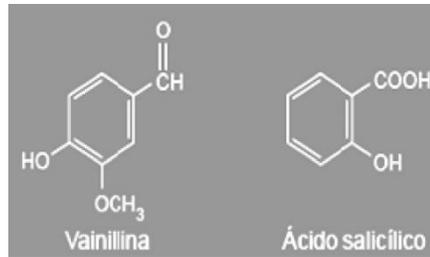


Figura 5. Estructura química de la vainillina y del ácido salicílico.

Fuente: Reduca, 2009

2.4.7.3 Fenilpropanoides

Estos compuestos se caracterizan por tener en su estructura un anillo aromático (Fig. 6) con uno o más grupos hidroxilos y se sintetizan a partir de un precursor común, el ácido cinámico, derivado de la fenilalanina por la actividad de la enzima fenilalanina amonoliasa. Una amplia variedad de flavonoides tales como floridzina (producida por *Malus* y algunas ericáceas) y sus productos de degradación tales como glicósidos de quemferol, quercetina y myrcetina son agentes alelopáticos bien conocidos.

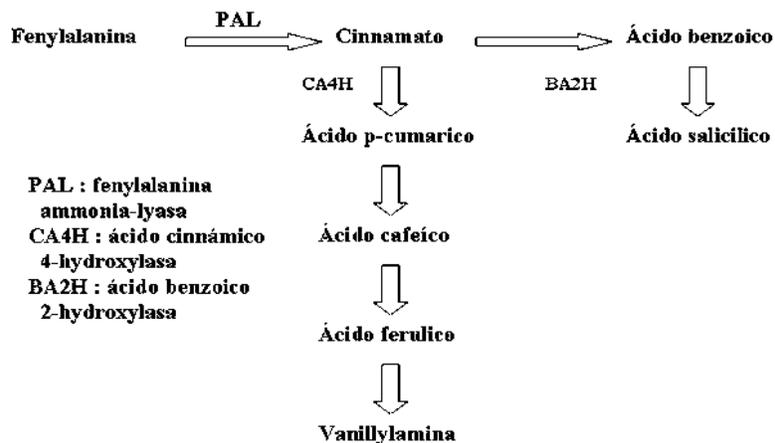


Figura 6. Esquema del proceso del fenilpropanoide

Fuente: Sampietro, 2003.

2.4.7.4 Ácido cinámico y sus derivados

La mayoría de estos compuestos son derivados de la ruta metabólica del ácido shikímico y están ampliamente distribuidos en las plantas. Se identificó la presencia de los mismos en pepino, girasol (*Helianthus annuus*) y guayule (*Parthenium argentatum*). Otros derivados de los ácidos cinámicos tales como clorogénico, cafeico, p-cumárico, y ferúlico están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y son inhibitorios de una gran variedad de cultivos y malezas. Los efectos tóxicos de estos compuestos son pronunciados debido a su larga persistencia en el suelo y

muchos derivados del ácido cinámico han sido identificados como inhibidores de la germinación (Sampietro 2003).

2.4.7.5 Quinonas y sus derivados

Las quinonas son compuestos presentes en la naturaleza, se forman de la oxidación de compuestos aromáticos para dar la correspondiente dicetona. De acuerdo a su grado de complejidad química se clasifican en benzoquinonas (monocíclicas); naftoquinonas (bicíclicas) y antraquinonas (tricíclicas). Las naftoquinonas se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza en hongos, bacterias, artrópodos, plantas, e incluso en algunos animales. Así como en vegetales superiores como pigmentos glicosilados, almacenados en las vacuolas de las plantas (Leyva *et al.* 2015).

Varias de las quinonas y sus derivados provienen de la ruta metabólica del ácido shikímico. El ejemplo clásico de estos compuestos es la Juglona y naftoquinonas relacionadas que se aislaron del nogal (Sampietro 2003).

2.4.7.6 Cumarinas

Son una amplia familia de lactonas, más de 1500 identificadas en más de 800 especies de plantas, que actúan como agentes antimicrobianos y como inhibidores de germinación. Algunas muestran fototoxicidad frente a insectos (es el caso del psoraleno) (Fig. 7) tras activarse por luz UV, acción llevada a cabo por bloqueo de la transcripción y de la reparación de DNA, provocando la muerte celular.



Figura 7. Estructura química del psoraleno.

Fuente: Reduca, 2009

La cumarina más simple es la que se encuentra como constituyente en el aceite de bergamota, un aceite esencial que aporta aroma al tabaco de pipa, él te y a otros productos. Las más tóxicas son producidas por hongos, por ejemplo, la aflatoxina producida por *Aspergillus flavus* (puede infectar cacahuete o maíz), quizá el carcinogénico más potente de las toxinas naturales (Reduca 2009).

2.4.7.7 Flavonoides

Una amplia variedad de flavonoides tales como floridzina (producida por *Malus* y algunas ericáceas) y sus productos de degradación tales como glicósidos de quempferol, quercetina y myrcetina son agentes alelopáticos bien conocidos.

2.4.7.8 Taninos

Los taninos, tanto los hidrolizables como los condensados, tienen efectos inhibitorios debido a su capacidad para unirse a proteínas. Taninos hidrolizables comunes tales como los ácidos gálicos, elágico, trigálico, tetragálico y quebúlico están ampliamente distribuidos en el reino vegetal. La mayoría están presentes en suelos de bosques en concentraciones suficientes para inhibir nitrificación. Los taninos condensados, los cuales se originan de la polimerización oxidativa de las catequinas, inhiben las bacterias nitrificantes en suelos forestales y reducen el ritmo de descomposición de la materia orgánica el cual es importante para los ciclos de circulación de minerales en el suelo. (Leyva *et al.* 2015)

2.4.7.9 Alcaloides

Los alcaloides son compuestos heterocíclicos que generalmente se sintetizan a partir de aminoácidos, tales como triptófano, tirosina, fenilalanina, lisina, arginina y ornitina, solos o combinados con terpenoides. También se pueden derivar de purinas y del acetato de los policétidos. Los alcaloides se pueden dividir en los siguientes grupos: alcaloides isoquinoleicos, alcaloides quinolizidínicos, alcaloides pirrolizidínicos, alcaloides tropánicos y alcaloides indólicos (Facchini, 2001). Por su similitud química a moléculas que participan en la transmisión de las señales del sistema nervioso, el efecto tóxico de los alcaloides radica en su capacidad de bloquear neuroreceptores, intermediarios de la transducción de la señal neuronal y canales iónicos de vertebrados e insectos. Mientras que sus efectos inhibitorios del crecimiento de microorganismos patógenos están dados por su capacidad de intercalarse con el DNA, de detener la síntesis de proteínas, inducir la apoptosis e inhibir las enzimas del metabolismo de carbohidratos (Wink y Schimmer 1999).

En general, la síntesis constitutiva de alcaloides se incrementa en respuesta a la herida producida por los insectos depredadores; sin embargo, otros alcaloides como los N-acil derivados de la nicotina de *Nicotiana sylvestris* Speg. y Comes son sintetizados *de novo* y sólo cuando las plantas son heridas. La cantidad de derivados de nicotina que se acumulan en las hojas heridas basta para reducir el consumo y el crecimiento de las larvas de *Manduca sexta* L. (Baldwin y Ohnmeiss 1993).

La berberina, palmatina y la sanginarina son alcaloides isoquinolécicos tóxicos a insectos y vertebrados, pero también inhiben el crecimiento de bacterias, hongos y virus. Estos alcaloides reaccionan con grupos aniónicos y grupos nucleofílicos de aminoácidos o de otras moléculas como receptores y enzimas, inhibiendo su función. Los receptores adrenérgicos, nicotínicos, muscarinérgicos y de la serotonina son blancos de unión de estos compuestos. Así mismo, inhiben a las enzimas necesarias para la síntesis y el rompimiento del neurotransmisor acetilcolina, impidiendo la transducción de la señal neuronal de insectos y vertebrados. La interacción de estos alcaloides con el DNA, las proteínas y enzimas de la transcripción, contribuye a los efectos aleloquímicos y tóxicos contra bacterias, hongos, virus, insectos, vertebrados y otras plantas (Sepúlveda *et al.* 2004).

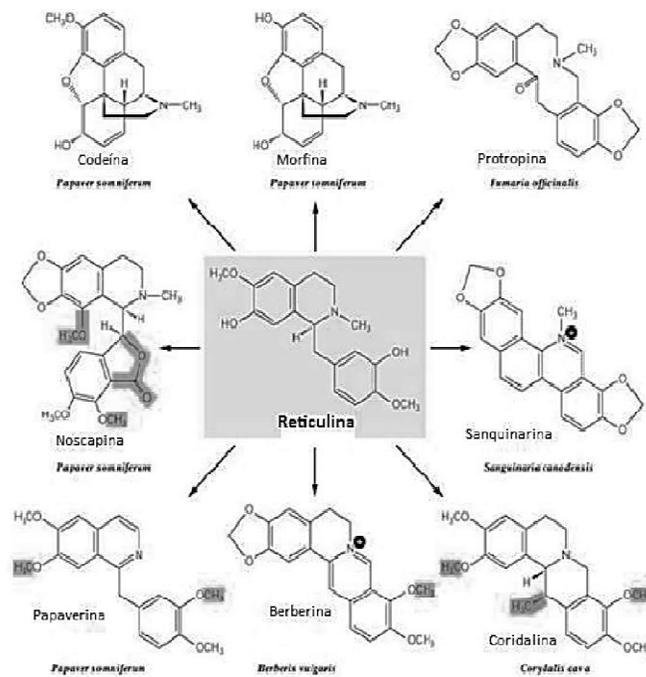


Figura 8. Estructura química de los alcaloides derivados de reticulina.

Fuente: Reduca, 2009

Los alcaloides quinolizidínicos tales como la esparteína, la lupanina y la 13-tigloiloxilupanina quizás funcionan inhibiendo la síntesis de proteínas y los receptores de acetilcolina; mientras que la N-metilcitisina, la anagirina y la citisina presentan actividad nematocida, y otros como la matrina y la esparteína reducen la movilidad de helmintos.

Algunos alcaloides como la cocaína, cafeína, cinconina, fisostigmina, quinina, cinconidina, estricnina son reconocidos inhibidores de la germinación. La cebada exuda por sus raíces la

gramina que inhibe el crecimiento de *Stellaria media*. La cafeína mata ciertas hierbas sin afectar algunas especies cultivadas como, por ejemplo, el poroto (*Phaseolus sp*).

2.5. MODO DE LIBERACIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS

Una variedad de agentes alelopáticos es sintetizados y almacenados en diferentes células de la planta ya sea de forma libre o conjugada con otras moléculas y son liberadas en el entorno en respuesta a diferentes estreses bióticos y abióticos (Sampietro 2003).

Ecológicamente, se han propuesto cuatro mecanismos para la liberación de los aleloquímicos al ambiente, involucrando fenómenos de volatilización, lixiviados, descomposición de partes de la planta en el suelo y exudados por raíz. Estos mecanismos implican que los aleloquímicos pueden encontrarse en cualquier parte de la planta, y que la dinámica de su actividad es una función del mecanismo en que este puede ser liberado. Por ejemplo, la descomposición de residuos vegetales implica material senescente, que no implica una función activa de la planta, mientras que la volatilización y exudados de raíz, son procesos extremadamente activos donde está involucrado el tejido vivo de la planta (Oliveros-Bastidas 2008).

Para que estas sustancias actúen deben acumularse a niveles tóxicos, perdurar algún tiempo o producirse continuamente. No basta con que las sustancias sean fitotóxicas o repelentes, sino que deben existir condiciones propicias para su acumulación (De la Cruz 1991).

2.5.1 Volatilización.

Las sustancias se liberan por estomas (estructuras que permiten el intercambio de gases y la transpiración). Éstas son volátiles e hidrosolubles, por lo tanto, se pueden absorber por las estomas de otras plantas o si no se disuelven en el medio. Comúnmente las plantas que utilizan estas vías son de climas templados y cálidos. Se considera una vía directa (Acosta 2015).

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización está frecuentemente confinada a plantas que producen terpenoides. Los géneros que comúnmente liberan compuestos volátiles incluyen *Artemisia*, *Salvia*, *Parthenium*, *Eucalyptus* y *Brassica* (Cuadro 1). Estas sustancias han demostrado también actividad insecticida y como disuasivos alimenticios. La toxicidad de los compuestos volátiles es prolongada, debido a su adsorción a las partículas del suelo, lo cual les permite permanecer varios meses en él. En ecosistemas de desierto y mediterráneos, la liberación de compuestos alelopáticos a través de volatilización es frecuentemente observada,

debido al predominio de altas temperaturas, e influencia la distribución de las especies vegetales (Sampietro 2003).

Cuadro 1. Potencial alelopático de compuestos volátiles.

Nombre de la planta	Efecto inhibitorio sobre la planta blanco	Naturaleza química del compuesto volátil
<i>Salvia reflexa</i>	Germinación de semillas y crecimiento de plántulas.	Monoterpenos, pineno, pineno, cineol.
<i>Brassica juncea</i> <i>Brassica napus</i> <i>Brasica rapa</i>	Germinación de lechuga y trigo.	No determinada.
<i>Amaranthus palmeri</i>	Germinación de tomate, cebolla y zanahoria.	2-Octanona, 2-nananona, 2-heptanona
<i>Eucalyptus globulus</i>	Germinación y crecimiento de plantas de cultivo.	Variedad de terpenos
<i>Artemisia princeps var orientalis</i>	Es autotóxica e inhibitoria del desarrollo de callos de lechuga.	No determinada.
<i>Heliotropium europeum</i>	Estimula el crecimiento de rabanito y trigo sarraceno.	No determinada.

Fuente: Sampietro 2003

2.5.2 Lixiviación

El método de liberación de los compuestos alelopáticos al medio puede seguir varias rutas. Una de ellas es la lixiviación producida por las lluvias (Valadares *et al.* 2008).

La parte aérea de la planta deja ir sustancias por lavado, por la lluvia, y éstas caen sobre otras plantas o en el suelo. Por lo tanto, puede ser de efecto directo o indirecto según si cae encima de otra planta o no, aunque en principio se considera indirecto (Acosta 2015).

El grado de lixiabilidad depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y naturaleza de la precipitación. De esta manera se liberan una gran variedad de agentes alelopáticos de diferente naturaleza tales como compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides. Se ha determinado la toxicidad de muchos lixiviados de semillas y hojas sobre plantas silvestres y cultivadas (Cuadro 2) (Sampietro 2003).

Cuadro 2. Potencial alelopático de lixiviados.

Nombre de la planta	Efecto inhibitorio sobre la especie blanco	Naturaleza química
<i>Datura stramonium</i>	Crecimiento de trigo y soja.	Escopolamina, hyoscyamina.
<i>Brassica rapa</i> (L.)	Crecimiento de cebada, centeno y rabanito.	No determinado.
<i>Brassica napus</i>	Germinación de soja	Alilisotiocianato
<i>Artemisia</i>	Crecimiento de cebada, lechuga crisantemo.	No determinado.
<i>Eucalyptus globulus</i>	Crecimiento de plantas de cultivo.	No determinado.
<i>Calmintha ashei</i>	Germinación y crecimiento de <i>Rudberkia hirta</i> y <i>Leptochloa dubia</i>	(+) Evodona y desacetil calaminthona.

Fuente: Sampietro 2003

2.5.3 Exudados radiculares

Los exudados radiculares son todos aquellos compuestos orgánicos, liberados al medio por raíces de plantas sanas e intactas. Bajo condiciones no estériles de trabajo, se hace difícil establecer si los compuestos detectados son realmente excretados por las raíces, o son el resultado de la actividad de microorganismos presentes en el suelo o medio de cultivo, algunos de estos compuestos exudados por las raíces, ejercen un marcado efecto inhibitorio sobre la germinación y el crecimiento de otras especies (Torres 2011).

La reducción en rendimiento observada en algunos cultivos en varios casos se ha atribuido a toxinas liberadas por otros y malezas adyacentes. Se conocen sustancias exudadas por las raíces que reducen la germinación de las semillas, el crecimiento de raíces y brotes, la incorporación de nutrientes y la nodulación.

Los exudados radiculares comprenden únicamente entre el 2-12% del total de fotosintatos de la planta. La mayoría de los agentes alelopáticos conocidos son exudados radiculares. Factores tales como la edad del vegetal, nutrición, luz y humedad influyen cuali y cuantitativamente la liberación de sustancias por las raíces (Sampietro 2003).

Varios autores entre ellos, (Puente *et al.* 2000; Blanco *et al.* 2006), han comprobado que un gran número de plantas exudan una variada gama de compuestos orgánicos bajo condiciones estériles de trabajo. Entre las especies cultivadas que presentan estas características, se pueden citar: *Lolium temulentum*, L (centeno), *Avena sativa* L (avena), *Hordeum vulgare* L (cebada), *Zea mays*, L (maíz), *Lycopersicum esculentum*, Mill (tomate) y *Cucumis sativus*, L (pepino).

También son varias las especies no cultivadas y malezas; que producen exudados radicales inhibitorios para otras especies, entre las cuales se puede citar: *Setaria faberii*, Herm (pega-pega), *S. halepense*, *Aristida* sp., (coiron), *Bromus* sp., (pasto del perro) y *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (pata de gallina).

Además, se conoce la capacidad alelopática de *Ipomoea batata*, L Lam (boniato), los abonos verdes (*Crotalaria incana*, L (crotalaria), *Canavalia ensiformis*, L. (canavalia), *Stizolobium aterrimum*, (Wright) Piper (frijol de terciopelo), *Lablab purpureus*, (L) Sweet (dolichos), *Vigna unguiculata* (L.) Walp (caupi) y *Phaseolus aureus*, Roxb (frijol mungo), *Sorghum bicolor*, (L.) Moench (millo) y *Helianthus annuus*, Lin (girasol) entre otras plantas sobre malezas perennes y anuales de alta peligrosidad, lo que combinado con la capacidad competitiva de la planta cultivable, la convierten en un excelente medio de control de malezas (Torres 2011).

2.5.4 Descomposición de los residuos radicales

Los residuos en descomposición de la planta liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. Los factores que influyen este proceso incluyen la naturaleza del residuo, el tipo de suelo, y las condiciones de descomposición. Eventualmente las sustancias alelopáticas liberadas por los residuos vegetales en el suelo entran en contacto con las raíces de plantas presentes en el mismo ejerciendo su acción.

Los compuestos liberados por la planta al suelo sufren frecuentemente transformaciones realizadas por la microflora del mismo, que pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores. Investigaciones utilizando extractos acuosos vegetales han demostrado que los inhibidores solubles en agua presentes en la planta de cultivo pueden ser rápidamente liberados durante el proceso de descomposición (Sampietro 2003).

Una gran parte de las investigaciones concernientes a los estudios de la alelopatía, están relacionadas con la descomposición de residuos de cultivos, debido a la gran masa vegetal que queda sobre el terreno después de recolectarse sus frutos o semillas. Así fue determinada la

toxicidad de extractos procedentes de la descomposición de la hoja del trigo, maíz, sorgo, avena, centeno y arroz (Díaz *et al.*1985).

También la descomposición en el suelo de residuos de malezas anuales y perennes, han generado compuestos orgánicos de marcada toxicidad, manifestada como una reducción en la germinación de semillas o crecimiento de otras especies al ser sembradas en esos suelos. Este hecho ha sido también observado bajo condiciones experimentales en que se ha utilizado el agua de drenaje de recipientes que contenían residuos de malezas en descomposición (Acevedo y Silva 2003).

Los residuos de cultivos y malezas incorporados al suelo, pueden ser degradados por acción de microorganismos bajo distintas concentraciones de oxígeno. Bajo estas disímiles condiciones las sustancias generadas no son las mismas, variando consecuentemente el efecto inhibitorio de la especie vegetal en estudio. La mayor cantidad de sustancias con características aleloquímicas se ha encontrado cuando el proceso degradativo ocurre con bajos tenores de oxígeno (Canihuante 2012).

A continuación, se citan una serie de malezas que luego de descompuestas en el suelo, han mostrado toxicidad hacia otras especies: *Agropyron repens* (L.) Beau. (Agropyron), *Shorghum halepense* (L.) Pers.(Maicillo), *Erigeron sp.*(Huilmo), *Chenopodium álbum* L.(Quinguilla), *Aristida sp.* (Coiron), *Brassica nigra* (L.) Koch (Mostaza), *Cyperus esculentus* L. (Chufa amarilla), *Cyperus rotundus* L. (Chufa púrpura), *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Cardo del Canadá) y *Cynodon dactylon* L. (Pasto bermudas) (Díaz *et al.*1985).

2.6 MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS

Para establecer la causa y efecto de la alelopatía, es preciso analizar la dinámica de producción de compuestos aleloquímicos desde su fuente, su transporte desde la planta productora hacia las plantas cercanas afectadas, y la exposición de los agentes alelopáticos en cantidad y tiempo suficiente para causar dicha alelopatía (Einhelling 1995).

Una forma de entender los mecanismos de acción de los agentes alelopáticos podría ser a través del estudio del proceso de retención y transformación de estos compuestos en el suelo, ya que es en este, donde su transporte y destino final se ve afectado. En el caso de estudio del efecto de los aleloquímicos en plantas, es importante considerar el estrés térmico, hídrico,

enfermedades, aplicación de herbicidas y deficiencias minerales, porque son inconvenientes que pueden afectar a la cantidad de aleloquímicos producidos. (Fernández 2010)

Además, existe una gran variedad de compuestos orgánicos que son liberados por numerosas especies de plantas, por lo que cada uno de ellos tiene una vida activa en el suelo, determinada por factores como volatilización, filtración, adsorción y acción microbiana (Khalid *et al.* 2002).

Si a esto le unimos que el origen de los aleloquímicos no está claramente definido, y su actividad biológica puede verse aumentada o reducida por factores como la acción microbiana, oxidación, u otras transformaciones, es un error asumir que existe un mecanismo de acción único que explique el modo en que se ve afectada la planta receptora.

En condiciones de campo existe una aparente interacción negativa severa entre plantas. Esta puede visualizarse, entre otros, como zonas de suelo desnudo alrededor de vegetación arbustiva, cobertura vegetal rala bajo un grupo de árboles, persistencia de un estado particular dentro de la sucesión vegetal o impedimento del desarrollo o reducción del rendimiento en un cultivo infestado con una maleza agresiva en particular (Sampietro 2003).

El principal problema asociado a las invasiones vegetales en los ecosistemas terrestres es la pérdida de biodiversidad en el área amenazada. Muchos de los estudios realizados sobre diferentes ecosistemas se han basado en las relaciones de competencia por recursos entre la flora autóctona y la alóctona prestándose menor atención a la interferencia entre las especies (Lorenzo y González 2010).

Hay cientos de miles de especies vegetales, pero relativamente pocas tienen la capacidad de invadir nuevos territorios. La razón de esta especificidad geográfica la podemos entender en función de los diferentes filtros evolutivos (Lambers *et al.* 2008).

Las especies vegetales están presentes en un área determinada por razones históricas (evolución vegetal o deriva continental) a pesar de haber condiciones ambientales apropiadas en otras regiones, éste es el filtro histórico. Algunas especies están ausentes de un espacio determinado porque no tienen los apropiados rasgos fisiológicos para sobrevivir (por ejemplo, no pueden tolerar condiciones de déficit hídrico extremo), éste sería el filtro fisiológico (Galmes *et al.* 2010).

Uno de los componentes de este último filtro son las relaciones alelopáticas que se pueden producir entre las especies vegetales en el espacio naturalizado (Lorenzo *et al.* 2008). incluyendo

la mediación de microorganismos edáficos (Zhang *et al.* 2009). El proceso alelopático, desde la perspectiva de la competencia entre especies, constituye un elemento pasivo de interacción (Reigosa *et al.* 1999), ni más ni menos importante que otros elementos de interferencia. Los aleloquímicos de la especie exótica tienen múltiples funciones dentro del entramado biótico en el área de distribución original (alelopática, defensa frente a herbívoros, agentes transportadores de metales o agentes de simbiosis entre microorganismos del suelo y la planta). Además, en la nueva área, la función alelopática de la potencial invasora se vería incrementada al escapar de sus enemigos naturales y perder, los aleloquímicos, parte de sus funciones originales (Sinkkonen 2006).

En condiciones naturales las cantidades en que se encuentran disponibles muchas de estas sustancias químicas, son inferiores a las que presentan alguna actividad en pruebas de laboratorio. Ensayos sobre varios aislados de aleloquímicos, han demostrado que generalmente estos agentes representan a varias familias de compuestos y están asociados a diversos suelos, viendo que la combinación de los aleloquímicos puede producir interacciones sinérgicas (Abbasdokht 2008).

Existen dos formas fundamentales de acción de los aleloquímicos sobre las plantas receptoras: directa e indirecta. (Blum y Kogan 1992).

Las alteraciones de las propiedades del suelo y su efecto sobre la nutrición y actividad de las poblaciones de plantas y microorganismos respectivamente, constituyen formas indirectas de actuar los aleloquímicos. En cambio, el efecto que ejercen sobre el crecimiento y el metabolismo vegetal se considera el modo de acción directa por el cual los mismos pueden perjudicar o beneficiar a las plantas o microorganismos (Saez 2006).

Entre los mecanismos de acción directa más estudiados se encuentran:

2.6.1 Alteraciones hormonales.

Los niveles de ácido indol acético (AIA) pueden reducirse o incrementarse en dependencia de las concentraciones de compuestos fenólicos que existan en el medio. Monohidroxifenoles como el ácido p-Hidroxibenzóico, Vaníllico, p- Cumárico y Siríngico pueden reducir la disponibilidad de AIA al promover su descarboxilación. Por otra parte, di y polifenoles tales como el ácido clorogénico, caféico, felúrico y protocatético sinergizan el crecimiento inducido por AIA, suprimiendo la degradación de la hormona. Estos efectos sobre los niveles de la auxina no tienen la misma repercusión en diferentes plantas, ni sobre los distintos órganos de las plantas, pues la

sensibilidad de los órganos varia, siendo las raíces las más susceptibles, seguido de las yemas y luego los tallos (Acosta *et al.* 2001).

Ciertos glicósidos de flavonoides como la naringenina, la 2',4,4'- trihidroxichalcona y la floridzina estimulan fuertemente enzimas del tipo AIA oxidasa, involucradas en la degradación de auxinas (Sampietro 2003).

Los ácidos hidroxámicos 6,7-dimetoxi-2-benzoxazolinona (DIMBOA) y 6-metoxi-2-benzoxazolinona (MBOA) modifican la afinidad de unión de las auxinas a sitios receptores de unión de las mismas membranas. Esta actividad guarda correlación con la inhibición de crecimiento inducido por auxinas en secciones de coleótilo de avena. Por ello, se plantea que la toxicidad de los ácidos hidroxámicos se debe a la interferencia que provocan en la actividad normal de las auxinas.

El etileno es una importante hormona vegetal, cuya síntesis es estimulada por las auxinas en muchos tipos de células vegetales. A pesar de los efectos observados sobre los niveles de estas últimas descritos anteriormente, hasta el presente no se han detectado cambios que se espera provocarían lo mismo sobre los niveles de etileno. Es importante destacar que el etileno se puede considerar también un agente alelopático, siendo liberado en cantidades significativas por los residuos vegetales en descomposición, con capacidad para provocar retardo en la elongación de tallos y raíces

También algunos de estos mismos compuestos fenólicos inhiben la acción de otras fitohormonas como las giberelinas y el ácido Abscísico (ABA). En el caso de las giberelinas se puede producir la unión a la molécula hormonal como tal o un bloqueo de los procesos mediados por ella. Respecto al ABA, fitohormona asociada a condiciones de estrés, pueden ser antagónicamente inhibidas por la coumarina y varios flavonoides, los cuales estimulan el crecimiento inducido por el ácido Giberélico. Por todo lo anterior se presupone que en gran parte de los casos la toxicidad producida por estos ácidos sería debida a la interferencia que provocan en la actividad normal de las auxinas (Acosta *et al.* 2001).

2.6.2 Efectos sobre la actividad enzimática

Existen muchos compuestos alelopáticos con capacidad de modificar ya sea la síntesis o la actividad de enzimas tanto in vivo como in Vitro. La mayoría de estas sustancias han demostrado un efecto dual sobre la regulación de la actividad enzimática. Por ejemplo, plántulas de maíz tratadas con ácido felúrico mostraron un incremento en los niveles de enzimas oxidativas

(peroxidasas, catalasas y ácido indol acético oxidasa) junto con una elevación de enzimas de la ruta del ácido Shikímico tales como fenilamina amonio liasa y la cinamil alcohol deshidrogenada involucrada en la síntesis de compuestos fenilpropanoides. También al ácido felúrico se le atribuye la inhibición de enzimas hidrolíticas tales como amilasa, maltasa, invertasa, proteasa y fosfatasa ácida involucradas en la movilización de material de alimento (Saez 2006).

2.6.3 Efectos sobre la fotosíntesis

El efecto de los agentes alelopáticos que influyen sobre la inhibición de la fotosíntesis, no necesariamente acontece en los eventos primarios del proceso como la captación de la luz y el transporte de electrones, también resulta de una modificación de los niveles de clorofila o por cierre estomático y la subsecuente reducción en la provisión de CO₂ vital para la producción de fotosintatos. Por ejemplo, en Soya los ácidos Felúrico, Vainíllico y p-Coumárico reducen el contenido de clorofila, sin embargo, sobre Sorgo estas mismas sustancias igualmente concentradas no provocan esa disminución. Ciertos flavonoides parecen interferir en la organización funcional o estructural de los cloroplastos; por ejemplo, el Kaenpherol actúa aparentemente como un inhibidor de la transferencia de energía, impidiendo la producción de ATP. Otras especies arbóreas poseen polifenoles capaces de reducir la producción de 2,6-Diclorofenol, inhibiendo las reacciones fotoquímicas en los cloroplastos (Sampietro 2003).

2.6.4 Efectos sobre la respiración

Para estudiar el efecto de los aleloquímicos sobre la respiración, normalmente se ensayan esos sobre suspensiones mitocondriales. Entre los compuestos fenólicos, el orden de mayor a menor actividad es: quinonas> flavonoides> cumarinas> ácidos fenólicos (An *et al* 2000).

Las quinonas sorgoleone y juglona son efectivos inhibidores a muy baja concentración. Nuevamente el sorgoleone afecta el transporte de electrones, mientras que la juglona afecta la incorporación mitocondrial de oxígeno. Flavonoides tales como la quercetina, naringenina y umbeliferona inhiben la producción de ATP en la mitocondria (Blanco 2006).

2.6.5 Efectos sobre procesos asociados a membranas

Efectos sobre procesos asociados a membranas. Los derivados de los ácidos benzoico y cinámico tienen profundos efectos sobre las membranas. Son capaces de provocar cambios en la polaridad, lo cual provocaría alteraciones en su estructura y permeabilidad. Otras sustancias como el ácido hidroxibutírico también presente en rastrojos, provoca efectos similares (Blanco 2006).

Los ácidos fenólicos tienen un efecto directo sobre la incorporación de iones. Todos los ácidos benzoicos y cinámicos implicados en alelopatía inhiben el ritmo de incorporación de fósforo y potasio en raíces cortadas. También algunos flavonoides inhiben la absorción mineral. La inhibición de las ATPasas de membranas y la alteración en su permeabilidad pueden contribuir a la reducción en la incorporación mineral. Estudios en sorgo muestran que el ácido ferúlico reduce los niveles de fósforo y potasio en la parte aérea y en las raíces de la planta después de tres a seis días de tratamiento. Los contenidos de magnesio, hierro y calcio también se ven afectados. Se conocen efectos aditivos sobre la incorporación de minerales, como el observado en la incorporación de fósforo por plantas de pepino (*Cucumis sativus*) cuando se las trata con una mezcla de los ácidos ferúlico, vainílico y p-cumárico (Del Moral y Muller 1970).

Los ácidos fenólicos también pueden alterar el contenido de minerales en la planta receptora. En caupí (*Vigna sinensis*), bioensayos mostraron que los ácidos cafeicos, siríngico y protocatéuico reducen los contenidos en nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y molibdeno, pero los niveles de magnesio no son alterados. Experiencias a lo largo de siete semanas con el ácido clorogénico en *Amaranthus retroflexus* mostraron alteraciones en los contenidos minerales de esta especie. Los niveles de fósforo descendieron y se incrementaron los de nitrógeno, sin sufrir alteraciones los de potasio (Einhelling 1995).

Los ácidos fenólicos y las cumarinas alelopáticas también provocan alteraciones en el contenido de agua en la planta. Para estudiar su variación se determinaron las relaciones de isótopos de carbono asimilados en tejido foliar. Se observó una alteración crónica en la eficiencia del uso del agua, por exposición sostenida a diferentes aleloquímicos fenólicos a concentraciones cercanas a las que inhiben el crecimiento.

Por ejemplo, el ácido ferúlico reduce la incorporación de agua por las raíces. Paralelamente, eleva los niveles endógenos de ABA. También se ha demostrado que combinaciones de estos compuestos son capaces de provocar el mismo efecto (Einhelling 1995).

2.6.5.1 Modelo de acción alelopática de compuestos fenólicos

Si bien muchos compuestos fenólicos actuarían a nivel celular simultáneamente en varios blancos alterándolos fisiológicamente (Figura 9), parece que algunos efectos son más importantes que otros y es central la acción que estas sustancias tienen sobre la membrana plasmática para provocar la interrupción de la mayoría de los restantes procesos en que están involucrados. (Blanco 2006)

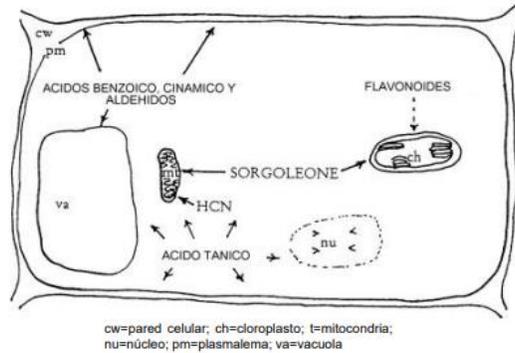


Figura 9. Modelo que ilustra los sitios de acción de agentes alelopáticos del sorgo en la fisiología celular. Algunos sitios primarios de acción deletérea están sugeridos por flechas.

Fuente: Blanco, 2006

2.7. Malezas con potencial alelopáticos

2.7.1. *Amaranthus spinosus*

El amaranto espinoso es una maleza problemática de hortalizas, arroz (*Oryza sativa*), y pastos, causa mayores pérdidas en zonas cálidas y en cultivos de corta estatura que no pueden ocultar la maleza (Schonbeck 2012).

El amaranto espinoso o bledo espinoso, perteneciente a la familia Amaranthaceae, crece desde el nivel del mar hasta los 1,600msnm (Muñoz y Pitty 1995).

En 2015, Sarkar y Chakraborty realizaron un estudio para evaluar el efecto inhibitor del extracto acuoso de hoja de *Amaranthus spinosus* sobre las actividades de crecimiento del arroz (*Oryza sativa*) y Mostaza (*Brassica campestris*). La germinación de las semillas de los cultivos se suprimió más del 50% con el tratamiento.

2.7.2. *Portulaca oleracea*

Su nombre común es verdolaga, atarraya y verdolaga amarilla. Es frecuente en cultivos de hortalizas y ornamentales, jardines y lugares abandonados. Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2,900 msnm. La planta es tan suculenta que aun después de cortarla sigue viviendo y puede llegar a producir semillas (Muñoz y Pitty 1995).

Un estudio realizado para conocer los efectos fitotóxicos de extractos de semillas de *Portulaca oleracea* utilizando agua, acetato de etilo, éter de petróleo y metanol en la germinación, índice de germinación y crecimiento de plántulas de *Cichorium endivia*, *Lactuca sativa*, *Echinochoa crus-galli* y *Brassica tournefortii*. Los resultados indicaron que las respuestas de los efectos

alelopáticos dependen del tipo de extracto y la concentración. La mayor concentración tuvo un efecto inhibitorio más fuerte sobre la germinación de la semilla, mientras que en algunos casos la menor concentración mostró un efecto estimulante (Shehata 2014).

2.7.3. *Cynodon dactylon*

Pasto de Bermuda, zacate chino, bremura o yerba fina, es una especie gramínea estolonífera y rizomatosa, de hábitos rastreros y prolongados tallos postrados, que suele enraizarse en sus nudos. Los tallos ascendentes alcanzan una altura de 15-25 cm. La inflorescencia está compuesta de 3-7 espigas digitadas, de 3-10 cm de longitud.

El pasto de Bermuda es una maleza común en huertos de árboles frutales, pastos, caña de azúcar, algodón y otros cultivos de campo. En muchos países productores de cítricos, el pasto de Bermuda es considerado la peor maleza en estas plantaciones, diversos autores indicaron que altas infestaciones del pasto de Bermuda reducen la altura de la planta, la densidad del follaje, el índice de área foliar y el rendimiento de semillas del algodón (Casamayor y García 1977).

Aparte de la competencia con los cultivos por el agua y los nutrientes minerales del suelo, esta maleza es considerada una potente planta alelopática, que inhibe la producción del cultivo a través de sus exudados radicales y otras sustancias fitotóxicas liberadas foliarmente (Labrada *et al.* 2010).

2.7.4. *Cyperus rotundus*

Es conocida por coyolillo, coquito, coquillo y pimientilla. Pertenece a la familia *Cyperaceae*. Es común en cultivos, rastrojos y pastizales y se encuentra desde bajas elevaciones hasta los 1,500 msnm (Muñoz y Pitty 1995).

Según Laynez y Méndez (2007) en un estudio donde se evaluó el efecto alelopático del extracto acuoso de coyolillo se obtuvieron los siguientes resultados: a los 12 días después de la siembra la germinación fue estimulada en las concentraciones de extracto 0,5 y 1,0%, e inhibida con 1,5 y 2,0%. La altura de las plántulas, longitud de las radículas y los respectivos pesos secos de estos órganos disminuyeron con el incremento de la concentración del extracto. Desde el punto de vista de sus consecuencias negativas sobre un cultivo, ha sido comprobado que la ciperácea *Cyperus rotundus*, catalogada como la peor maleza del mundo por ser causante de problemas en más de noventa países del trópico y subtrópico, tiene efectos alelopáticos sobre diversos cultivos.

Se estima que afecta a más de 3,5 millones de hectáreas solo en América Central y el Caribe (FAO 1997).

2.7.5. *Rottboellia cochinchinensis*.

La caminadora es una gramínea anual originaria de Asia tropical, que fue introducida en América y África tropical. Es una de las malezas más agresivas en potreros, cultivos tropicales y cultivos anuales. El factor limitante para el desarrollo de la caminadora debajo de los 1,300 m es la humedad y la temperatura dependiendo de la altitud, según Rojas (2010). La producción de semillas varía de acuerdo a las condiciones ambientales y oscila entre 2,200 y 16,000 semillas por planta. Las semillas tienen un período de latencia muy variable y su germinación es inducida cuando se disturba el suelo (Valverde 1992).

Esta especie se reporta entre las 18 malezas más problemáticas del mundo, causando mayores daños en los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y maíz (*Zea mays*). Dependiendo del grado de infestación, puede originar reducciones del rendimiento de hasta el 100% como producto de su característica competitiva y alelopática (Anzalone *et al.* 2006).

Se ha señalado que la interferencia que produce *R. cochinchinensis* en el cultivo de maíz puede ocasionar la merma del rendimiento en grano entre el 20% y 37%. Otros estudios indican que una planta por metro cuadrado de *Rottboellia cochinchinensis* reduce el rendimiento del maíz en un 5% y 8 plantas m² reducen el rendimiento en 11% (Anzalone *et al.* 2006).

2.8. GENERALIDADES DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRIJOL COMUN.

2.8.1. Cultivo de maíz.

El maíz (*Zea mays* L.) es originario del hemisferio Occidental, fue el único cereal cultivado en forma sistemática por los indios americanos. Colon encontró que el maíz se cultivaba en Haití, donde lo llamaban Maíz (Hernández 2006).

2.8.1.1. Taxonomía del maíz

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Cyperales

Familia: Poáceae (gramíneas)

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

(Cruz 2012 citado por Vásquez Gutiérrez *et al.* 2016).

2.8.1.2. Manejo agronómico.

2.8.1.3. Preparación del suelo

La labranza mínima es una práctica beneficiosa para agricultores que tienen terrenos inclinados o con buen drenaje, ya que disminuye la erosión; también permite una mayor retención de humedad al no remover ni exponer el suelo a la acción del sol y el viento. Si la maleza tiene más de 50 cm de alto, se realiza una chapoda y, entre 8 a 15 días después, aplicar un herbicida como Glifosato o Glufosinato de Amonio. Si la preparación del suelo es mecanizada, es conveniente realizar un paso de arado, dos o tres pasos de rastra y si fuera posible, realizar una nivelación del suelo. Los pasos de rastra se pueden hacer a 15 ó 20 cm de profundidad dependiendo del tipo del suelo; el último paso de rastra es recomendable hacerlo antes de la siembra (CENTA 2018).

2.8.1.4. Época de siembra

En El Salvador se conocen 3 épocas de siembra: PRIMERA Esta época generalmente comprende desde el 15 al 30 de mayo, para la zona costera (0 a 400 msnm) y del 15 de mayo hasta el 15 de junio, para los valles intermedios (400 a 900 msnm). Estas fechas pueden variar de acuerdo con el establecimiento de la época lluviosa. (CENTA 2018)

POSTRERA: Época llamada también tunalmil, comprendida del 15 al 31 de agosto, especialmente para valles intermedios (400 a 900 msnm) y la región Oriental del país. En esta época puede tenerse el riesgo que la estación lluviosa termine antes que el cultivo haya llegado a su etapa de madurez o secado; lo que puede traer como consecuencia disminución del rendimiento. (CENTA 2018)

APANTE: Es la que se realiza en aquellos terrenos que permanecen inundados durante la época lluviosa, los cuales retienen suficiente humedad para ser utilizada hasta que la época lluviosa finalice. Los meses de siembra pueden variar según las circunstancias de cada zona, la época puede comprender desde diciembre hasta febrero. En zonas donde se cuenta con riego, las épocas de siembra pueden variar según las necesidades o planificación de cada agricultor, pero es recomendable sembrar entre el 1 de diciembre hasta el 15 de enero (CENTA 2018).

2.8.1.5. Principales malezas en el cultivo de maíz en El Salvador.

Una maleza es cualquier planta que constituye un peligro, molestia o causa daños al hombre, animales o, en este caso, al cultivo de maíz. El desarrollo del cultivo de maíz en los primeros 30

días es crítico, por lo que se debe asegurar que crezca libre de la competencia de malezas, pues se estima que éstas son causantes del 10 al 84% de la reducción en su rendimiento (Deras 2014).

Varios autores coinciden en señalar a las malezas como uno de los principales factores que afectan negativamente la producción del maíz. Nieto (1970) citado por Paliwual (2010); indica que, las pérdidas en la cosecha de maíz pudieron haber alcanzado 45% en Alemania, 30% en Rusia, 50% en India y 40% en Indonesia, si las malas hierbas no hubiesen sido controladas; además, señala que malezas de los géneros *Setaria*, *Echinochloa*, *Amaranthus* y *Cyperus*, causan las mayores pérdidas a escala comercial (Fontana y González 2000).

Rodríguez (1981) citado por Arévalo *et al.* (2011); establece que, en trabajos realizados durante tres años consecutivos, concluyó que los rendimientos del maíz se redujeron en más de un 70% por efecto de la interferencia (competencia más alelopática de la maleza, siendo mayor tal efecto (hasta 92%) en aquellas parcelas que además de estar enmalezado, no recibieron fertilización. Además, la maleza afectó la calidad de la semilla producida, medida en función del porcentaje del tipo y tamaño obtenido. En El Salvador se han identificado varias malezas que afectan al cultivo de maíz, las cuales se mencionan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Principales malezas que afectan el cultivo de maíz en El Salvador.

TIPO DE MALEZA	GÉNERO Y ESPECIE	NOMBRE COMÚN
Hoja ancha	<i>Baltimora recta</i>	Flor amarilla
	<i>Bidens pilosa</i>	Mozote, mozote negro
	<i>Melampodium divaricatum</i>	Flor amarilla, hierba de chucho
	<i>Physalis sp.</i>	Tomatillo, farolito
	<i>Amaranthus spinosus</i>	Bledo o güisquilite
	<i>Ageratum conyzoides</i>	Santa Lucía, mejorana
	<i>Euphorbia hirta</i>	Golondrinilla, hierba de sapo
	<i>Boerhavia erecta</i>	Palo de leche
	<i>Ipomoea sp.</i>	Campanilla
	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga
	<i>Sida sp.</i>	Escobilla
Hoja angosta (gramíneas)	<i>Eleusine indica</i>	Zacate amargo, pasto de gallina
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Salea
	<i>Ixophorus unisetus</i>	Zacate de agua
	<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda, barrenillo
Ciperáceas	<i>Sorghum halepense</i>	Zacate Johnson
	<i>Cyperus rotundus</i>	Coyolillo
	<i>Cyperus sp.</i>	Coyolillo

Fuente: CENTA, 2018

2.8.1.6. Período crítico de competencia

El período crítico de competencia de las arvenses con el cultivo del maíz transcurre desde los 24 a 40 días después de la emergencia del cultivo, período durante el cual al maíz no le pueden

faltar las labores de control de las arvenses, para garantizar altos rendimientos y equilibrio ecológico en el sistema productivo y el punto crítico a los 32 días (Valdés *et al.* 2014).

2.8.2. Cultivo de Frijol

2.8.2.1. Generalidades del cultivo de frijol

El frijol pertenece a la Familia de las Leguminosas o Fabáceas. La planta es de tipo herbácea y puede llegar a medir de 50 a 200 cm de altura, corresponde a la especie del género *Phaseolus*. Su nombre completo es *Phaseolus vulgaris* L., asignada por Linneo en 1753, a la tribu *Phaseoleae*, Subfamilia *Papilionoideae*, Familia *Leguminosae* y al Orden Rosales (Ulloa *et al.* 2011).

2.8.2.2. Taxonomía del frijol

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Tribu:	Phaseolae
Subtribu:	Phaseolinae
Género:	<i>Phaseolus</i>
Especie:	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

2.8.2.3. Principales malezas en el cultivo de frijol común en zonas de Centroamérica

Alturas comprendidas entre los 0 y 1000 msnm; con precipitación anual entre los 1000 y 1800 mm y temperatura media anual de 23 a 27°C. Esta área localizada hacia la vertiente del Océano Pacífico centroamericano, se caracteriza por una canícula interestival prolongada y errática por más de cinco meses. Las principales malezas identificadas en Centroamérica en el cultivo de frijol se mencionan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Principales malezas en cultivo de frijol en Centroamérica

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Amaranthus spinosus</i>	bledo, güisquelite
<i>Baltimora recta</i>	flor amarilla, Marisol
<i>Cynodon dactylon</i>	grama, zacate bermuda
<i>Cyperus rotundus</i>	coyolillo, coquito
<i>Echinochloa sp</i>	arrocillo, paja de pato
<i>Ixophorus unisetus</i>	pasto honduras, mesmeto
<i>Polanisia viscosa</i>	cachitos, tabaquillo
<i>Portulaca oleracea</i>	verdolaga, portulaca
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	caminadora, zacate indio
<i>Sida spp</i>	escobilla, escoba
<i>Tithonia spp</i>	varaboya, girasol

Fuente: De la Cruz y Merayo, 1989

2.8.2.4 Sistemas de siembra

Monocultivo: Puede hacerse en cualquier época de siembra y consiste en sembrar el frijol solo, con distanciamientos entre surcos de 50 a 60 cm y en promedio de 10 plantas por metro lineal (CENTA 2018).

En asocio: Puede sembrarse en asocio con todos aquellos cultivos en los cuales no haya competencia por luz. En El Salvador el asocio más común es con maíz o con caña de azúcar. Así mismo con cultivos perennes en sus primeros años de plantación. El asocio maíz-frijol se recomienda hacerlo al mismo tiempo, pero cuando hay atrasos en alguno de los cultivos, el período de siembra del segundo no debe exceder a los 5 días. Cuando se asocia frijol con caña de azúcar, se recomienda hacerlo con caña de segundo corte en adelante, pudiendo hacerse en la época de mayo y apante, después que se ha cosechado la caña. Los distanciamientos de siembra dependerán de la distancia entre las hileras de caña, generalmente se siembran 2 o 3 surcos de frijol entre 2 surcos de caña. El distanciamiento entre plantas de frijol es de 10-20 cm colocando 2 semillas por postura (CENTA 2008).

En relevo: Consiste en sembrar frijol en un terreno donde hay cultivo de maíz que ha llegado a su madurez fisiológica, intercalando el frijol entre los surcos de maíz. El frijol se siembra a ambos

lados del surco de maíz, separados de éste 20-25 cm; colocando 2 semillas por postura y un distanciamiento entre plantas de 20 cm (CENTA 2018).

2.8.2.5. Periodos críticos de competencia.

El período crítico de competencia de las arvenses en el cultivo del frijol se encontró entre los 24 y 40 días después de la emergencia de la planta. Por lo anterior, las medidas de control de las arvenses deben extenderse por este período de tiempo para evitar reducciones del rendimiento. (Blanco y Leiva 2011)

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Descripción de estudio.

La investigación fue bibliográfica, con el fin de realizar una monografía sobre malezas con potencial de alelopático en cultivos de importancia económica como maíz y frijol común en El Salvador; para ello se elaboró una planificación de búsqueda de información que estuviera relacionada al tema, investigaciones y publicaciones científicas recientes de diferentes universidades con amplia trayectoria en investigación científica alrededor del mundo libros en sitios web con alto rigor científico.

3.1.1. Consulta bibliográfica.

Para esto se consultaron fuentes secundarias de investigación tales como libros, artículos, material audiovisual y fuentes electrónicas como el internet, los artículo o libros consultados tanto a aquellos que estén en español o en otro idioma, siempre y cuando se pudo traducir su contenido por medio de un traductor como el de Google u otro medio, se verificó que su contenido tenga relación con el tema de interés, es decir, sobre aspectos de aleloquímicos de las malezas, ciclo biológico de las malezas, interacciones de las malezas con cultivos agrícolas de interés económicos, entre otros.

3.1.2. Lectura del material bibliográfico.

Luego de esto se realizó una lectura preliminar de cada uno de los documentos encontrados para desarrollar el contenido mismo del tema, escribiendo citas directas o apuntes originales sobre nuestras opiniones o puntos de vista que enriquecieron la discusión del tema. Los libros o artículos científicos se leyeron de manera tranquila y cuidadosa, con sentido crítico tomando nota de las ideas y los planteamientos científicos en relación al tema.

3.1.3. Ordenamiento del material.

En esta instancia se preparó la guía de redacción, para ello se consultó formatos utilizados en investigaciones previas en el área de agricultura, guías de redacción de investigaciones monográficas de facultades de agricultura de la región, eligiendo la que más se adaptara al tipo de investigación y los objetivos planteados, también se contó con la guía de los asesores para ampliar sobre la manera correcta del ordenamiento y redacción del documento adaptando la metodología existente para trabajos de investigación científica de La facultad de Ciencias

Agronómicas, UES y los consultados de tal forma que el documento cumpliera con la rigurosidad de una investigación científica.

3.1.4. Redacción.

Esta etapa comprendió de: introducción, desarrollo, asimilación teórica, conclusión y recomendaciones. Esto como guía principal para no perder el correcto ordenamiento. En esta etapa se sintetizó la información de muchos autores e investigadores sobre el tema, contrastando la información a través de la comparación de ideas y teorías alrededor del tema, llegando a un ordenamiento coherente enriqueciendo de esa manera el marco teórico. Para la asimilación teórica se estudió detalladamente resultados de investigaciones tales como, tesis y artículos científicos, se compararon resultados en diferentes cultivos y malezas en estudio de diferentes regiones y diferentes condiciones edafoclimáticas lo cual nos dio amplitud en el análisis de la temática investigada; por último, se concluyó y recomendó en base a todo el análisis adaptando criterios técnicos que son similares para nuestro país.

4. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES CONSULTADAS

4.1. Laynez y Méndez (2007) estudiaron el efecto de extractos acuosos foliares de *C. rotundus*, especie donadora, sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas del híbrido comercial de maíz Pioneer 3031, especie receptora.

La preparación de los extractos acuosos se realizó a partir del follaje de *C. rotundus*, de plantas de unos 15 días de edad, provenientes de las parcelas experimentales del Campus Universitario «Los Guaritos», sembradas con algodón (*Gossypium hirsutum* L.).

El follaje fue secado a temperatura ambiente por 24 h, y después en estufa (72 h, 50 °C) luego se preparó un extracto al 15% p/v, cortando el follaje en trozos no mayores de 3 cm y licuándolo en agua sin llegar a pulverizar (aprox. 10 s).

El extracto al 15% p/v se dejó en reposo por 48 h en recipientes de vidrio tapados posteriormente, fue separado el líquido de la parte sólida a través de un proceso de filtrado (papel filtro Whatman 1) y a partir de este extracto se obtuvieron por dilución extractos al 2,0; 4,0 y 6,0% p/v. se determinó el pH y la conductividad eléctrica (S.cm⁻¹) a cada uno de los extractos obtenidos. Para el tratamiento control se empleó agua corriente.

La siembra se realizó en bandejas de aluminio (17,5 cm largo, 11,0 cm ancho y 2,5 cm alto) desinfectadas con cloro comercial (hipoclorito de sodio 5,25%) y cubiertas con una capa de dos hojas de papel absorbente, sobre las que se colocaron 20 semillas/ bandeja disponiendo así de 100 semillas por tratamiento en función de 5 repeticiones. Las semillas se cubrieron finalmente con dos hojas más de dicho papel. Se realizaron tres riegos diarios (en la mañana, a medio día y en la tarde) humedeciendo el papel de las bandejas mediante un aspersor manual con los extractos de los tratamientos. La cosecha de las plántulas se efectuó a los 12 días después de la siembra.

Se empleó el diseño estadístico de bloques al azar. Donde fue estudiado el efecto de cuatro concentraciones (0; 2,0; 4,0 y 6,0% p/v) de extracto acuoso foliar de *C. rotundus* sobre el maíz, con 5 repeticiones.

Los parámetros se estudiaron mediante análisis de varianza usando el programa STATISTIX v 8.0 y de regresión utilizando el programa SPSS v 13.0.

4.1.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica de los extractos foliares

Tabla 1. Análisis de regresión para el pH y la conductividad eléctrica de los extractos acuosos foliares de *Cyperus rotundus* L.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	
		pH	Conductividad eléctrica
Regresión	1	0,02592 *	13,122 **
Residual	2	0,00184	0,014
Total	3		

*: Significativo (p 0,05) **: Significativo (p 0,01)

Los análisis de regresión para los valores de pH y CE de los extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*, son presentados en la Figura 10 y Tabla 1. Se observó que el pH disminuyó con el incremento de la concentración del extracto, en tanto la CE aumento con la concentración. Los valores de pH oscilaron entre 6,42 y 6,64, en tanto que los de CE estuvieron entre 0,10 y 4,90 S.cm⁻¹. Los incrementos apreciados en la CE con el aumento de la concentración de los extractos sugieren un posible efecto osmótico sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas producto de elevadas concentraciones de sales o compuestos químicos liberados a partir del follaje de *C. rotundus*.

Tabla 2. Análisis de regresión para porcentaje de germinación (PG), altura de la planta (AP) (cm), longitud de la radícula (LR) (cm) y relación altura de la planta/longitud de la radícula (RAP/LR) bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de *Cyperus L.* en condiciones de laboratorio.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios			
		PG	AP	LR	RAP/LR
Repetición	4	1,09ns	41,415*	3,650ns	0,490ns
Concentración	3	5,73*	420,124*	387,537*	0,442ns
Reg. Lineal	1	16,70*	1096,80*	1161,583*	0,965ns
Reg. Cuadrática	1	0,44ns	145,045*	0,074ns	0,436ns
Reg. Cúbica	1	0,07ns	18,524ns	0,953ns	0,476ns
E. Experimental	12	1,057	11,949	3,547	0,587
Total	19	9,91	17,41	13,23	35,03
C.V. (%)					

* : Significativo (p < 0,05) ns : No Significativo (p < 0,05)

Tabla 3. Análisis de regresión para peso seco del vástago (PSV) (g) peso seco de la radícula (PSR) (g) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR) bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de *Cyperus rotundus L.* en condiciones de laboratorio.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios		
		PSV	PSR	RPSV/PSR
Repetición	4	0,000173 ^{ns}	0,000465 ^{ns}	0,008 ^{ns}
Concentración	3	0,002052*	0,013804*	0,134*
Reg. Lineal	1	0,005112*	0,041006*	0,390*
Reg. Cuadrática	1	0,000911*	0,000151ns	0,005ns
Reg. Cúbica	1	0,000132ns	0,000256ns	0,007ns
E. Experimental	12	0,000252	0,000252	0,003
Total	19			
C.V. (%)		17,44	8,14	21,81

* : Significativo (p < 0,05) ns : No Significativo (p < 0,05)

pH y conductividad eléctrica.

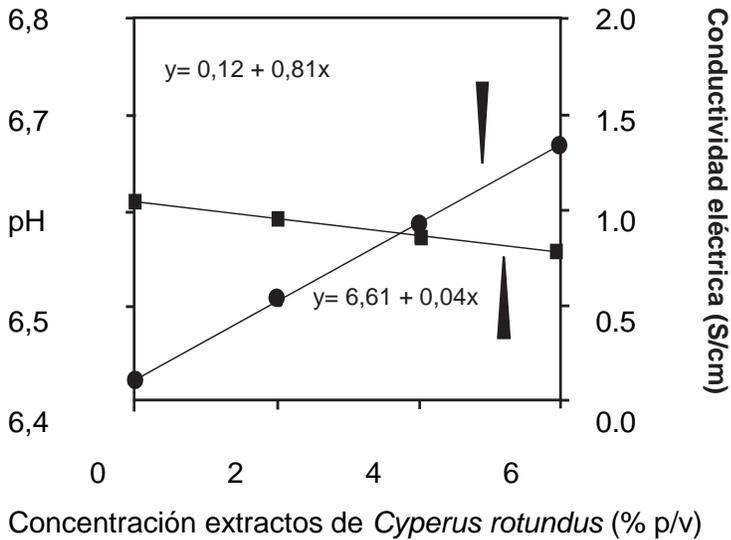


Figura 10. Análisis de regresión para valores del potencial hidrogénico (pH, línea con marcas de cuadrados, $r^2= 87,6\%$; $F= 14,01$; $p< 0,064$) y conductividad eléctrica (CE, línea con marcas de círculos, $r^2= 99,8\%$; $F= 937,3$; $p< 0,001$) de los extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., utilizados en el ensayo con maíz (*Zea mays* L.).

Los análisis de regresión para los valores de pH y CE de los extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*, son presentados en la Figura 10 y Tabla 1. Se observó que el pH disminuyó con el incremento de la concentración del extracto, en tanto la CE aumentó con la concentración. Los valores de pH oscilaron entre 6,42 y 6,64, en tanto que los de CE estuvieron entre 0,10 y 4,90 S.cm-1.

4.1.2. Porcentaje de germinación

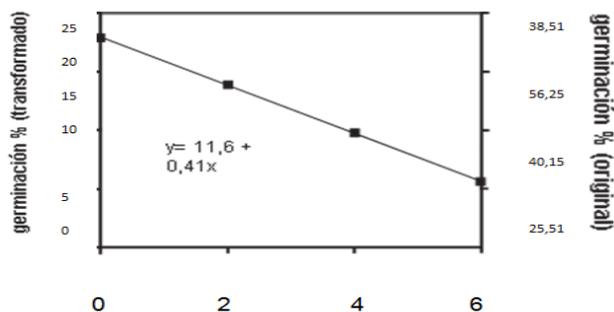


Figura 11. Análisis de regresión para porcentaje de germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio.

Los resultados presentaron diferencias significativas solo para las fuentes de variación concentración y regresión lineal, Tabla 2. En la Figura 11 se observa el análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semillas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje del *C. rotundus*. La respuesta fue lineal, la germinación decreció proporcionalmente al incremento de la concentración del extracto.

4.1.3. Altura de la planta

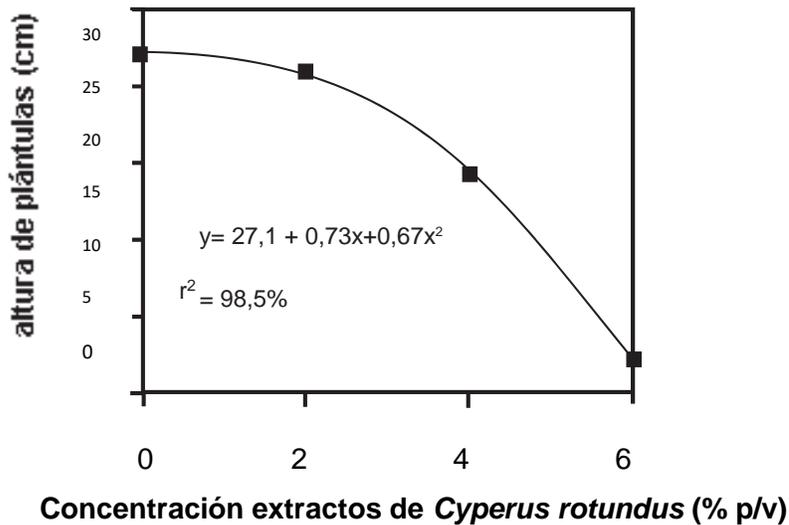


Figura 12. Análisis de regresión para altura de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio.

Se observaron diferencias significativas en las fuentes de variación repetición, concentración, regresión lineal y cuadrática. Tabla 2, y en la Figura 12 se observa el análisis de regresión para la altura de las plántulas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*. La respuesta fue cuadrática, el carácter disminuyó en todas las concentraciones probadas, siendo más pronunciado el efecto a mayor concentración.

4.1.4. Longitud de la radícula

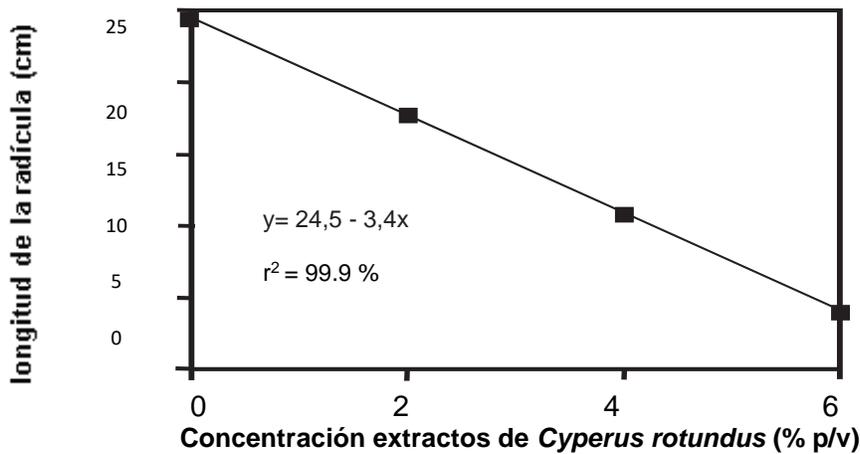


Figura 13. Análisis de regresión para longitud de la radícula de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio.

Los resultados presentaron diferencias significativas únicamente para las fuentes de variación concentración y regresión lineal. En la Figura 13 y Tabla 2, se presenta el análisis de regresión para la longitud de la radícula de las plántulas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*. La respuesta fue lineal, incrementos en las concentraciones de los extractos resultaron en decrecimientos proporcionales de este parámetro.

4.1.5. Peso seco del vástago

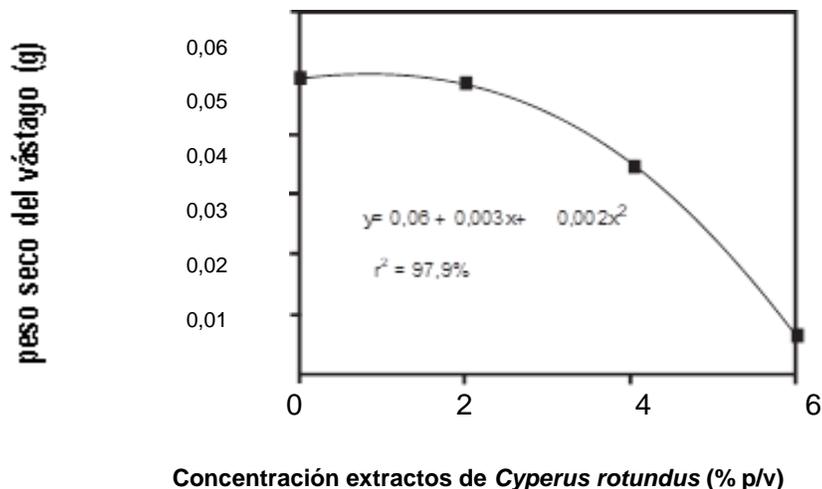


Figura 14. Análisis de regresión para el peso seco del vástago de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio.

En la Figura 14 y Tabla 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco del vástago de las plántulas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*, encontrándose diferencias significativas solo para las fuentes de variación concentración, regresión lineal y cuadrática. La respuesta fue cuadrática, el peso seco disminuyó en las distintas concentraciones evaluadas, resultando más notorio el efecto a mayor concentración, resultado que concuerda con la disminución observada en la altura de las plántulas como efecto de los incrementos en la concentración del extracto, cuyo comportamiento también fue cuadrático.

4.1.6. Peso seco de la radícula

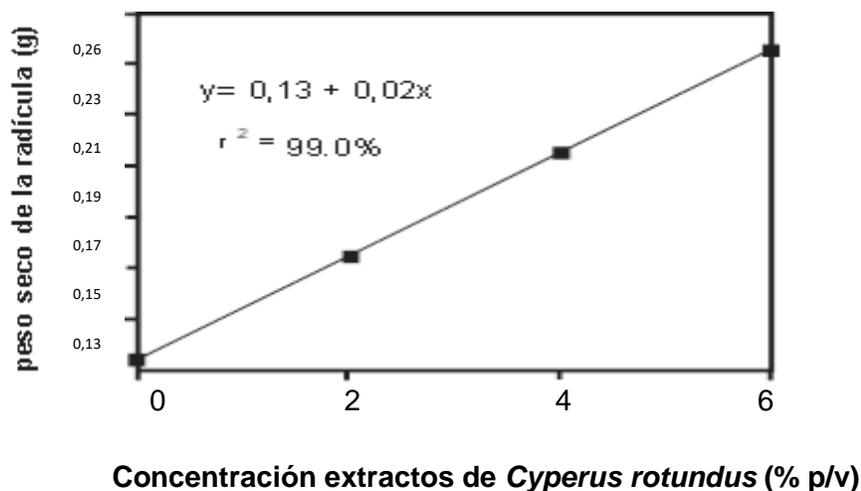


Figura 15. Análisis de regresión para el peso seco de la radícula de plantas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* L., en condiciones de laboratorio.

Se observaron diferencias significativas en las fuentes de variación repetición, concentración y regresión lineal. En la Figura 15 y Tabla 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco de la radícula de las plántulas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*. La respuesta fue lineal, el carácter se incrementó progresivamente con el aumento de la concentración del extracto.

4.1.7. Relación altura de la plántula/longitud de la radícula

No se presentaron diferencias significativas en las fuentes de variación. Esto quiere decir que las concentraciones de los extractos de *C. rotundus* no tuvieron efecto sobre esta relación (ver Tabla 2). El promedio general para esta relación fue de 1,52.

4.1.8. Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula

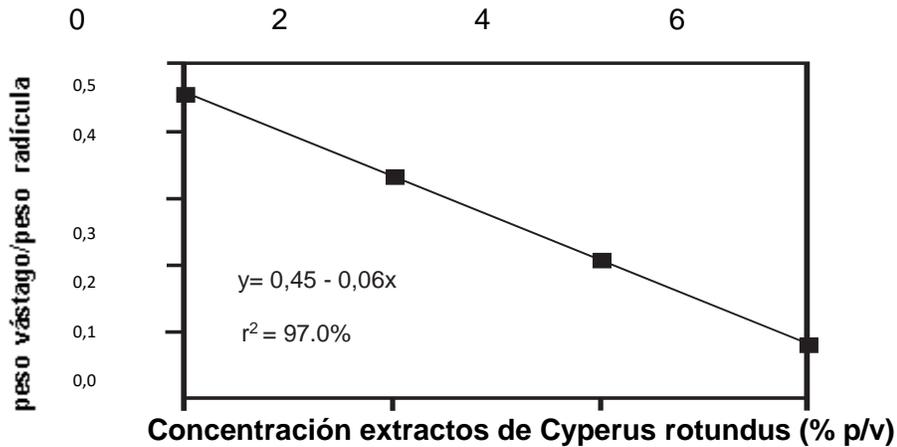


Figura 16. Análisis de regresión para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (*Cyperus rotundus* L.), en condición

Se observaron diferencias significativas solo en las fuentes de variación concentración y regresión lineal. En la Figura 16 y Tabla 3 se observa el análisis de regresión para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula de las plántulas de maíz cv. Pioneer 3031, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de *C. rotundus*. La respuesta fue lineal, se presentó una tendencia a disminuir el parámetro proporcionalmente al aumento de la concentración del extracto.

4.1.9. Efecto de los extractos sobre la germinación y crecimiento

Incrementos en la concentración del extracto acuoso foliar produjeron inhibiciones de la germinación proporcionales al aumento de la concentración de extracto. Los parámetros de crecimiento fueron reducidos por todas las concentraciones de extracto acuoso foliar evaluadas.

4.2. Laynez y Méndez (2006) determinaron los efectos de extractos acuosos del follaje del coyolillo (*Cyperus rotundus*) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cultivar Tenerife. Con follaje de coyolillo de 15 días.

Se preparó un extracto al 15% p/v y por dilución extractos al 0; 2,0; 4,0 y 6,0% p/v, determinándose pH y conductividad eléctrica ($S.cm^{-1}$).

Se sembraron 20 semillas por bandeja y las bandejas fueron regadas 3 veces al día con los extractos foliares. El diseño estadístico fue bloques al azar con 4 concentraciones de extracto y 5 repeticiones.

Para la preparación de los extractos, en una parcela de algodón (*Gossypium hirsutum*) localizada en las parcelas experimentales del *Campus* Universitario “Los Guaritos”, se recolectó follaje de plantas de coyolillo de unos 15 días de edad. Se secó a temperatura ambiente por 24 h, y después en estufa (72 h, 50 °C). Una vez seco, el follaje se cortó en trozos no mayores de 3 cm y licuado en agua sin llegar a pulverizar (aprox. 10 s), hasta obtener un extracto al 15% p/v. La preparación así obtenida se dejó en reposo por 48 h en recipientes de vidrio tapados.

Luego, se le sometió a un proceso de filtrado (papel filtro Whatman 1) para separar el líquido de la parte sólida y a partir de este extracto se obtuvieron por dilución extractos al 2, 4 y 6% p/v. A cada una de ellos se le determinó el pH y la conductividad eléctrica ($S.cm^{-1}$). En el tratamiento control se utilizó agua corriente.

La cosecha se realizó a los 12 días después de la siembra, se evaluaron los parámetros de germinación: porcentaje de germinación (%) y crecimiento/altura de la planta (cm), longitud de la radícula (cm), pesos secos del vástago y de la radícula (g), secados en estufa a 70°C por 72h, y las relaciones altura de la plántula/longitud de la radícula, y peso seco del vástago/peso seco de la radícula. La evaluación de los resultados se efectuó mediante análisis de varianza convencional y de regresión. El pH y la conductividad eléctrica de los extractos acuosos foliares del coyolillo fueron analizados por regresión.

4.2.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica de los extractos

Los resultados de los análisis de regresión para el pH y la conductividad eléctrica (CE) de los extractos acuosos del follaje del coyolillo, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de regresión para el pH y la conductividad eléctrica de los extractos acuosos foliares de coyolillo (*Cyperus rotundus*).

Fuente de Variación	GL	Cuadrado Medio	
		pH	Conductividad Eléctrica
Regresión	1	0,0259 *	13,122 **
Residual	2	0,0018	0,014
Total	3		

*Significativo ($P \leq 0,05$), Significativo ($P \leq 0,01$), GL = Grados de Libertad.

Los análisis de regresión para los valores de pH y CE de los extractos acuosos del follaje del coyolillo, son mostrados en la Figura 17. Puede observarse una tendencia a disminuir el pH y a incrementar la CE en la medida en que se aumenta la concentración. Los valores de pH oscilaron entre 6,64 y 6,42, en tanto que los de CE estuvieron entre 0,10 y 4,90 S.cm⁻¹.

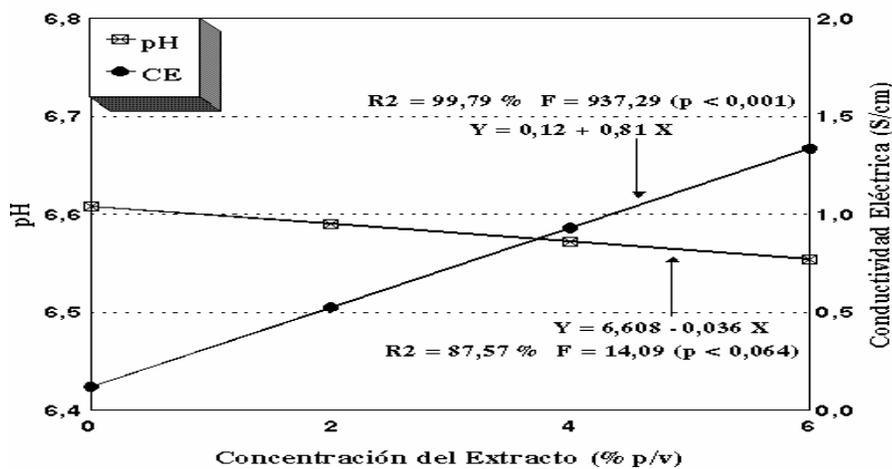


Figura 17. Análisis de regresión para valores del potencial hidrogenico (pH) y conductividad eléctrica (CE) de los extractos acuosos del follaje del coyolillo *Cyperus rotundus* L., utilizados en el ensayo con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

El pH varió muy poco entre el testigo 0% p/v (pH = 6,64) y las concentraciones de extractos acuosos foliares utilizadas, 2, 4 y 6% p/v (pH = 6,50, 6,44 y 6,42, respectivamente), esto hace pensar que este parámetro no afectó la germinación y el crecimiento de las plántulas.

En el presente estudio, la CE para los extractos a 0, 2, 4 y 6% p/v fue 0,10; 1,70; 3,50 y 4,90 S.cm⁻¹, respectivamente, ubicándose por debajo de los valores para las concentraciones en las cuales se presentó reducción sobre la germinación en el trabajo de Guedes *et al.* (2002) (concentración de los extractos 4 y 6%, CE = 6,74 y 7,47 S.cm⁻¹, respectivamente), lo que permite presumir que la falta de efecto de los extractos de coyolillo sobre la germinación de las semillas de frijol no fue enmascarada por el incremento en la conductividad eléctrica creado con los extractos.

4.2.2. Análisis para Porcentaje de germinación

Tabla 5. Análisis de regresión para porcentaje de germinación (PG), altura de la plántula (AP) (cm), longitud de la radícula (LR) (cm) y relación AP/LR (RAP/LR) en frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios							
		PG		AP		LR		RAP/LR	
Repetición	4	0,170	ns	25,036	ns	0,261	ns	0,969	ns
Concentración	3	2,668	ns	158,509	*	39,995	*	8,696	*
Reg. Lineal	1	1,235	ns	65,432	ns	97,417	*	7,574	*
Reg. Cuadrática	1	0,324	ns	352,380	*	2,408	ns	14,45	*
Reg. Cúbica	1	1,554	ns	57,714	ns	20,160	*	4,064	ns
Error Experimental	12	1,478		30,198		2,150		1,217	
Total	19								
C.V. (%)		13,08		28,92		22,01		33,96	

*Significativo ($P \leq 0,05$), ns = No Significativo ($P > 0,05$), GL = Grados de libertad.

El análisis de varianza y de regresión para los datos transformados del porcentaje de germinación, no arrojaron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación en estudio (Tabla 5). Así, ninguna de las concentraciones de los extractos afectó significativamente la germinación. El promedio general fue de 38,25.4.2.3. Análisis para la altura de la plántula (cm).

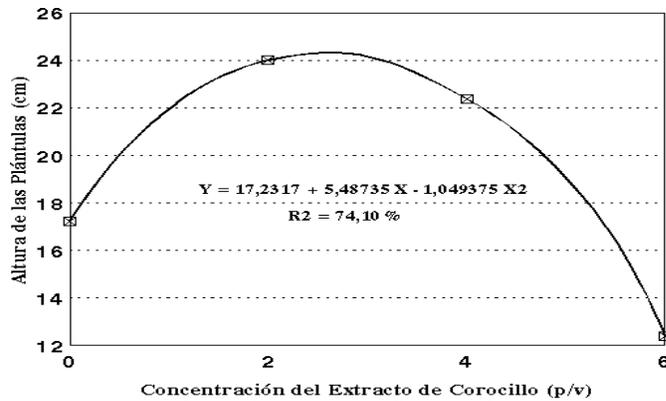


Figura 17. Análisis de regresión para la altura de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en condiciones de laboratorio.

Los resultados demuestran que se presentaron diferencias significativas solo en las fuentes de variación concentración y regresión cuadrática (Tabla 5.). En la Figura 18 se presenta el análisis de regresión para la altura de las plántulas de frijol cv. Tenerife, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje del coyolillo. La respuesta fue cuadrática, el carácter aumentó con relación al testigo con las concentraciones de 2 y 4%, para luego disminuir por debajo del control con la concentración de 6%. Estos resultados indican el efecto estimulante sobre la altura de la planta a bajas concentraciones y un efecto fitotóxico en la concentración mayor.

4.2.3. Análisis de longitud de la radícula (cm)

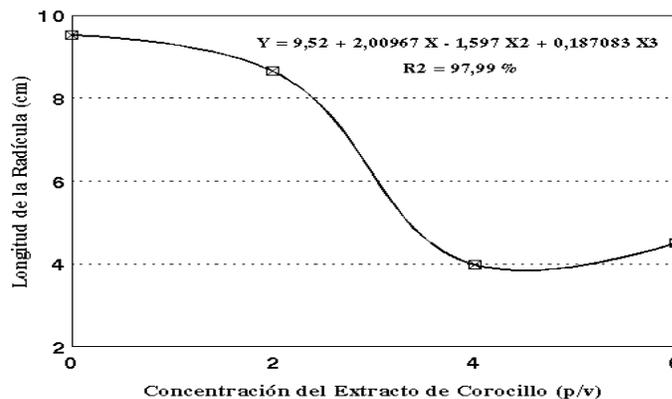


Figura 19. Análisis de regresión para la longitud de la radícula de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en condiciones de laboratorio.

Se presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación concentración, regresión lineal y cúbica (Tabla 5). En la Figura 19 se observa el análisis de regresión para la longitud de la radícula de las plántulas de frijol cv. Tenerife, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje del coyolillo. La respuesta fue cúbica, la concentración de 2% redujo muy poco dicho parámetro, el mayor efecto inhibitor se presentó en los extractos al 4 y 6%. El crecimiento de las plantas fue más afectado que la germinación de las semillas sugiriendo que los posibles efectos alelopáticos del coyolillo sobre el cultivo de frijol no afecta el establecimiento de la misma.

4.2.4. Análisis del peso seco del vástago (gr)

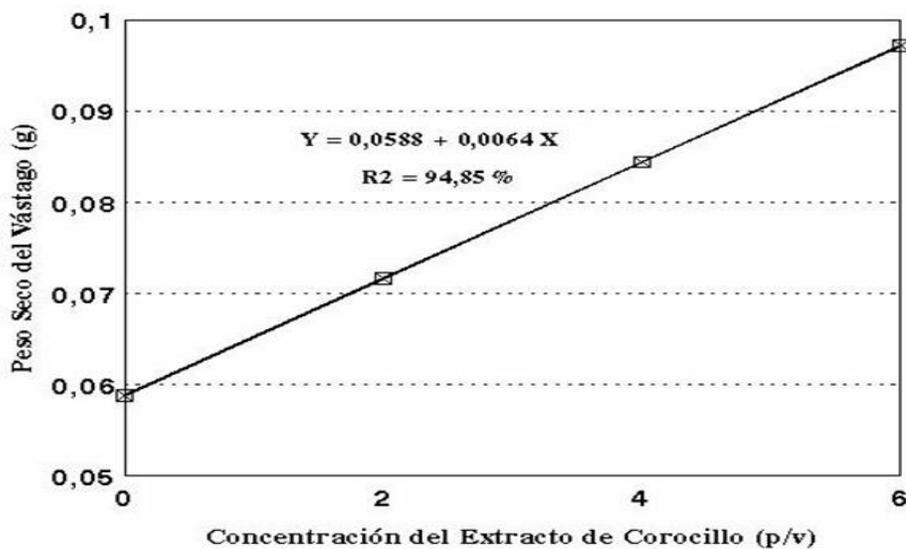


Figura 20. Análisis de regresión para el peso seco del vástago de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en condiciones de laboratorio

Los resultados obtenidos presentaron diferencias significativas para las fuentes de variación concentración y regresión lineal (Tabla 6). En la Figura 20 se presenta el análisis de regresión para el peso seco del vástago de las plántulas de frijol cv. Tenerife, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje del coyolillo. La respuesta fue lineal, el carácter presentó tendencia al incremento respecto al control al aumentar las concentraciones de 2% a 6%, lo cual concuerda con el incremento observado en la altura de la plántula por encima del testigo, por efecto de la aplicación de los extractos. El incremento del peso seco de la plántula

con el aumento de la concentración de los extractos de coyolillo puede producirse en parte por el incremento en la altura de la planta.

Tabla 6. Análisis de regresión para peso seco del vástago (PSV) (g), peso seco de la radícula (PSR) (g) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR) en caraota (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios					
		PSV		PSR		RPSV/PSR	
Repetición	4	0,000489	ns	0,000070	ns	2,012	ns
Concentración	3	0,001440	*	0,000065	ns	3,315	ns
Reg. Lineal	1	0,004096	*	0,000047	ns	4,356	ns
Reg.	1	0,000080	ns	0,000035	ns	2,987	ns
Reg. Cúbica	1	0,000143	ns	0,000076	ns	3,431	ns
Error	12	0,000402		0,000105		2,296	
Total	19						
C.V. (%)		25,72		46,63		38,17	

* Significativo, ns = No significativo, GL = Grados de libertad.

4.2.5. Peso seco de la radícula (g)

Dicho análisis no arrojó diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación en estudio (Tabla 6). De aquí se desprende que ninguna de las concentraciones de los extractos acuosos de coyolillo utilizadas afectó significativamente el peso seco de la radícula. El promedio general para este carácter fue de 0,02 g. El peso de la radícula no se vio afectado por la concentración del extracto, pero como ha sido mencionado antes, la longitud de la radícula si se afectó, esto sugiere que las posibles sustancias alelopáticas del coyolillo inhiben el crecimiento celular en frijol a nivel de elongación sin afectar la acumulación de materia orgánica, similar mecanismo pudo haber actuado para la altura de la plántula y el peso seco del vástago en la concentración de 6% de extracto de coyolillo.

4.2.6. Relación altura de la plántula/longitud de la radícula

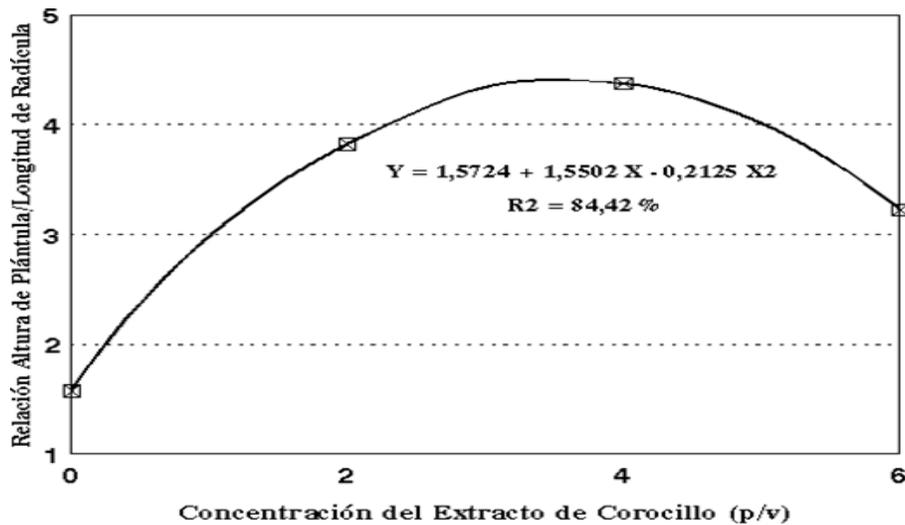


Figura 21. Análisis de regresión para la relación altura de la plántula/longitud de la radícula de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Tenerife, bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en condiciones de laboratorio.

Se presentaron diferencias significativas solo para las fuentes de variación concentración, regresión lineal y cuadrática (Tabla 6). En la Figura 21 se observa el análisis de regresión para la longitud de la radícula de las plántulas de caraota cv. Tenerife, bajo las diferentes concentraciones de extractos acuosos del follaje del coyolillo. La respuesta fue cuadrática, la relación se incrementó respecto al control al aumentar la concentración hasta 4%, descendiendo después en el extracto al 6%, pero manteniéndose por encima del testigo.

4.2.7. Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula

No se presentaron diferencias significativas en las fuentes de variación. De este resultado se desprende la no existencia de influencia de las concentraciones de coyolillo utilizadas en el ensayo sobre esta relación. El promedio general para la relación fue de 3,97. La relación de peso entre el vástago y la radícula no se afectó por las diferentes concentraciones lo que insinúa que este último carácter fue el más importante en definir esta relación ya que los diferentes extractos tampoco afectaron el peso seco de la radícula.

4.3. García (2005) realizó un estudio para determinar el potencial alelopático supresor de malezas de los cultivos de maíz (*Zea mays* Lin.), sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) y girasol (*Helianthus annuus* Lin.).

En parcelas de 21 x 40 m por cultivo se evaluó la composición total de las malezas, en puntos situados en el entorno de las plantas y a un metro de distancia a los cuarenta y cinco días de la siembra. La comparación de los valores de maleza obtenidos con los esperados, según evaluación previa del banco de semillas viables de las parcelas, demostró las capacidades de estos cultivos para reducir la población de importantes malezas.

El sorgo presentó mayor acción supresora contra *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton alrededor de la planta, con 86%, que girasol con 59% y maíz con 50%. Los tres produjeron reducciones significativas de *Eleusine indica* (L.), *Portulaca oleracea* Lin. y *Parthenium hysterophorus* L., así como también sobre *Sorghum halepense* L. Pers. y *Cyperus rotundus* L., sobre los que girasol presentó el mayor poder inhibitorio, y el sorgo ocasionó una inhibición total de la aparición de *Euphorbia heterophylla* L. los resultados se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Comportamiento de las malezas y su valoración por chi cuadrado (X²)

Malezas	Girasol			Millo			Maíz		
	M. pron.	M. alred.	M. alej.	M. pron.	M. alred.	M. alej.	M. pron.	M. alred.	M. alej.
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	113	46**	102 ns	153	21**	43**	134	59**	52**
<i>Echinochloa colonum</i>	44	0**	2**	59	54 ns	57 ns	72	69 ns	71 ns
<i>Eleusine indica</i>	22	0**	0**	28	0**	0**	25	0**	0**
<i>Brachiaria platiphylla</i>	6	0 ns	0 ns	3	0 ns	0 ns	6	0 ns	0 ns
<i>Digitaria sanguinalis</i>	3	0 ns	0 ns	–	–	–	–	–	–
<i>Sorghum halepense</i>	22	2**	2**	19	0**	8 ns	16	0**	15 ns
<i>Cyperus rotundus</i>	19	6 ns	10 ns	19	3**	3**	16	4*	4*
<i>Cyperus esculentus</i>	–	–	–	9	0*	0*	12	2*	5 ns
<i>Amaranthus dubius</i>	88	0**	2**	47	32 ns	43 ns	97	85 ns	57**
<i>Portulaca oleracea</i>	25	0**	0**	16	2**	0**	25	6**	0**
<i>Parthenium hysterophorus</i>	16	2**	4**	47	12**	11**	41	3**	2**
<i>Euphorbia heterophylla</i>	44	36 ns	37 ns	66	0**	0**	34	26 ns	22 ns
<i>Kallstroemia maxima</i>	9	3 ns	1 ns	9	3 ns	1 ns	9	3 ns	1 ns
<i>Achyranthes aspera</i>	25	0**	2**	–	–	–	–	–	–
MS de malezas (g/m ²)	49		320	124		249	262		468

M. Pron.: Malezas pronosticadas.

M. Alred.: Malezas encontradas alrededor.

M. Alej.: Malezas encontradas alejadas.

Las malezas aparecidas en las parcelas con los cultivos mostraron valores muy inferiores a los esperados, lo que es índice de la existencia de algún efecto de inhibición. *R. cochinchinensis*, con una presencia esperada superior a los 100 individuos/m², presentó una reducción de 86%

alrededor de la planta en sorgo y de 72% en la parte alejada. En el maíz se redujo en 50 y 61% respectivamente, mientras que en el girasol fue de 59% solo en el entorno.

Estos resultados permiten hacer un uso más consciente de estos cultivos dentro de un programa de manejo, a fin de causar reducciones importantes de las malezas sin emplear herbicidas químicos.

4.4. Ordeñana y Tapia (2008), evaluaron el comportamiento de las malezas en maíz (*Zea mays L.*) bajo sistemas de producción convencional y orgánico.

Los resultados (Tabla 7) demostraron que las especies de arvenses que predominaron en ambos sistemas fueron similares encontrándose siete familias representadas por siete especies, con cinco especies dicotiledóneas.

Tabla 7. Diversidad de malezas encontradas en el sistema convencional y orgánico en el cultivo de maíz

Nombre Científico	Especie	Familia
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Monocotiledónea	<i>Cyperaceae</i>
<i>Ixophorus unisetus</i>		<i>Poaceae</i>
<i>Sida acuta</i> Burn. F	Dicotiledónea	<i>Malvaceae</i>
<i>Physalis angulata</i> (L)		<i>Solanaceae</i>
<i>Amaranthus spinosus</i>		<i>Amaranthaceae</i>
<i>Portulaca oleraceae</i> L.		<i>Portulacaceae</i>
<i>Ricinus communis</i> L		<i>Euphorbiaceae</i>

Entre las dicotiledóneas predominaron *Sida acuta* Burn.F, *Physalis angulata* (L), *Amaranthus spinosus*, *Portulaca oleracea* (L) y *Ricinus comunis* (L) y las monocotiledoneas estuvieron representadas por las familias *Cyperaceae* y *Poaceae*, especies *Cyperus rotundus* L, e *Ixophorus unisetus* (presl)

Las especies de arvenses que predominaron en el sistema convencional (Figura 22) fueron las monocotiledóneas presentando 24, 11, 15 y 12 individuos m² a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra representadas por las familias *Poaceae* y *Cyperaceae* predominando dos especies *Cyperus rotundus* L. e *Ixophorus unisetus*, En las dicotiledóneas se encontraron 17, 10, 6 y 9 individuos m² a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra encontrándose cinco familias: *Malvaceae*, *Solanaceae*, *Amaranthaceae*, *Portulacaceae*, y *Euphorbiaceae*, sobresaliendo las especies *Sida acuta* Burn. F, *Physalis angulata* (L), *A. spinosus* y *Portulaca oleraceae* L.

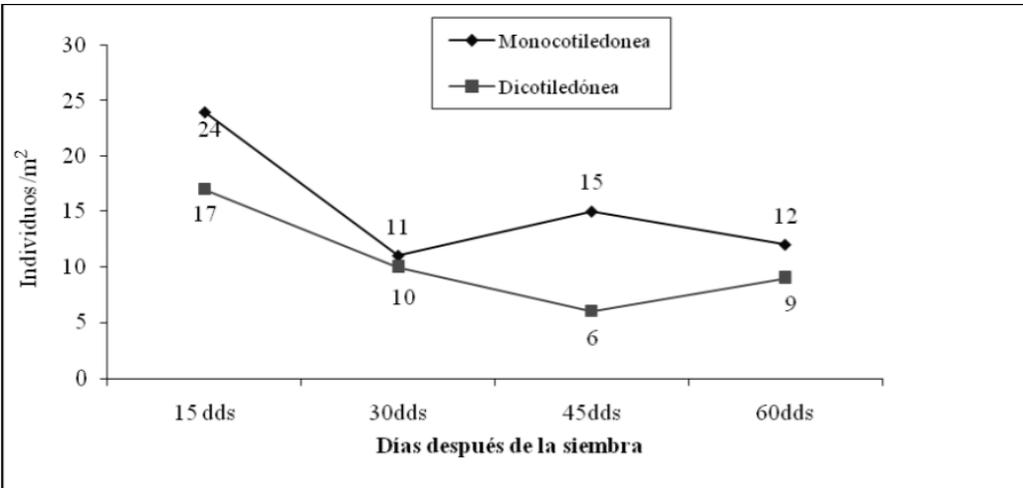


Figura 22. Abundancia de especies de maleza en sistema convencional de cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

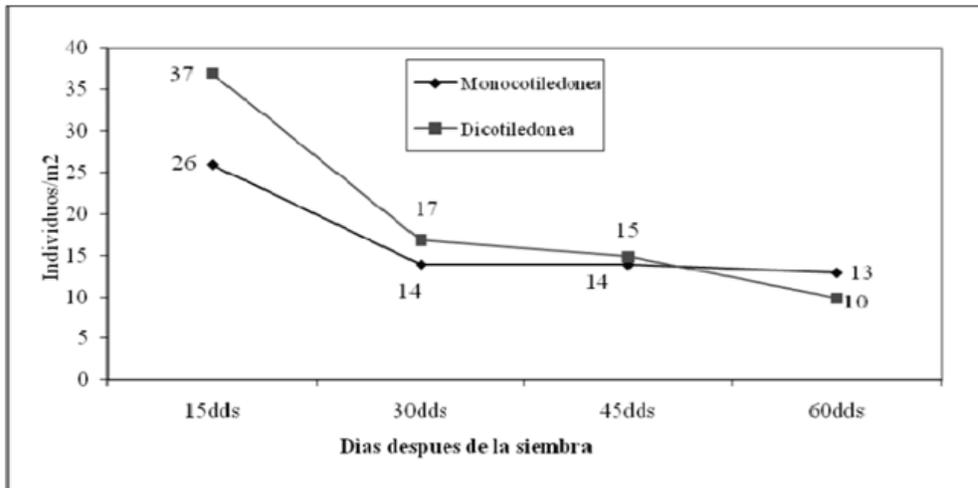


Figura 23. Abundancia de especies de maleza en sistema orgánico de cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

En el sistema orgánico (Figura 23) se presentaron 26, 14, 14 y 13 individuos m² a los 15, 30 45 y 60 días después de la siembra de la clase monocotiledóneas representadas por las familias *Cyperaceae* y *Poaceae*. En la clase dicotiledóneas se encontraron 37, 17 15 y 10 individuos m² a los 15,30, 45 y 60 días después de la siembra, de las familias: *Malvaceae*, *Solanaceae*, *Amaranthaceae*, *Portulacaceae* y *Euphorbiaceae*, predominando las especies *Sida acuta* Burn. F, *Physalis angulata* (L), *Amaranthus spinosus* y *Portulaca oleraceae* L.

4.4.1. Biomasa de las malezas encontradas en cada sistema.

La biomasa es el mejor indicador que permite saber con precisión la competencia ejercida de las malezas para con los cultivos o viceversa; la biomasa es el resultado del peso seco que se puede

obtener a partir de una población de plantas de malezas, está relacionada con el crecimiento y desarrollo de las especies (Bolaños 1998, citado por Mejía y Montes, 2006).

En el sistema convencional con 702.64 g/m², éstas son especies de raíces muy profundas plantas agresivas, y con mayor capacidad de competencia, además de ser especies C₄, se reproducen de forma asexual y sexual lo que les permite estabilidad durante ciclo del cultivo. *Amaranthus spinosus* con 327.40 g/m² *Portulaca oleracea* 180.50 g/m² *Ricinus comunis* con 51.39 g/m² *Sida acuta* Burn F, 42.08 g/m² *Cyperus rotundus* L, 35.09 g/m² y *Physalis angulata* con 29.80 g/m² a los 15, 30,45 y 60 días después de la siembra, al final se obtuvo un peso total de biomasa de 1,368.90 g/m² (Figura 24).

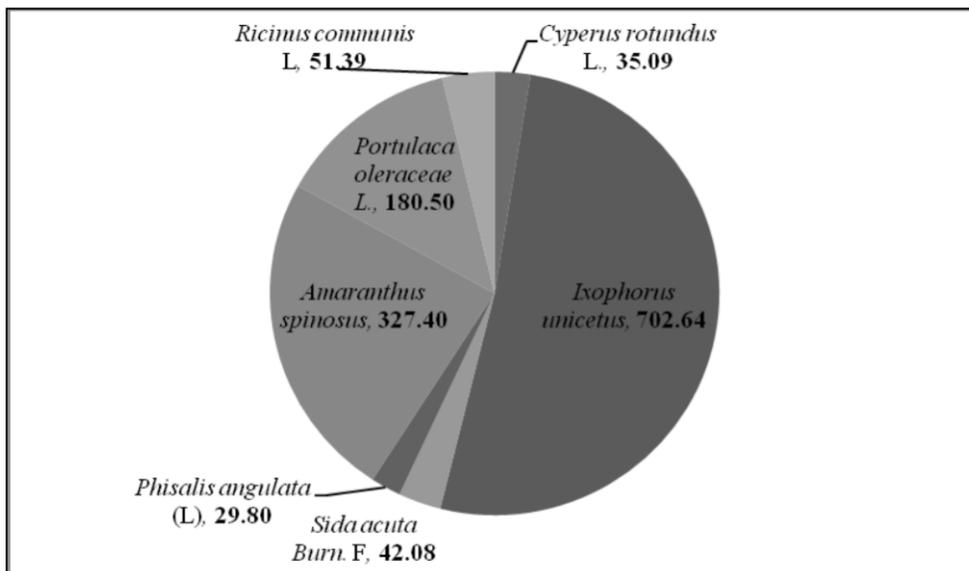


Figura 20. Biomasa de malezas (g/m²) por especie encontrada en el sistema convencional de cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

En el sistema orgánico la especie *Ixophorus unicetus* acumuló mayor biomasa, con 915.18, g/m² seguido de *Portulaca oleracea*, 548.68, g/m² *Amaranthus spinosus* 519.63 g/m², *Ricinus comunis*, 137.70, g/m² *Cyperus rotundus*, 61.98, g/m² *Sida acuta* Burn F 67.4 g/m² y *Physalis angulata* 46.3 g/m². La biomasa total fue de 2,261.17 g/m² (Figura 25).

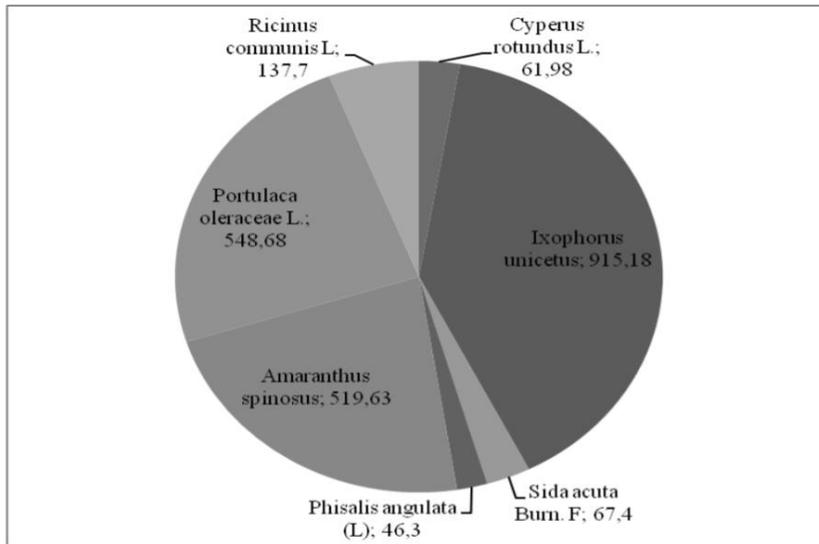


Figura 21. Biomasa de malezas (g/m²) por especie encontrada en el sistema convencional de cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

4.4.2. Efecto en el rendimiento.

Los resultados demuestran que hubo diferencias estadísticas significativas en los sistemas en estudio. El mayor rendimiento se obtuvo en el sistema orgánico con 3,327.50 kg/ha-1, mientras que en el sistema convencional se logró 1963.80 kg/ha-1 esto representó para el sistema orgánico un 25.77% de rendimiento mayor que el sistema convencional (Figura 26).

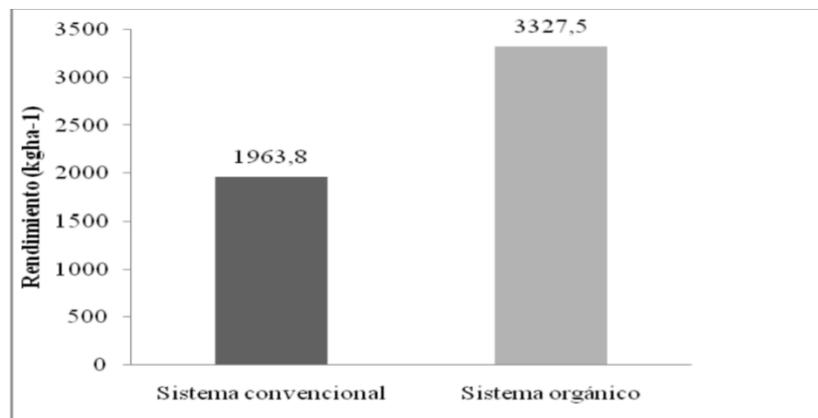


Figura 22. Rendimiento (kg ha⁻¹) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en sistema convencional y orgánico.

4.5. Acuña y Castro (2001) evaluaron el comportamiento de las comunidades de malezas, el crecimiento y rendimiento del maíz y del frijol en distintos arreglos topológicos de estos cultivos.

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos evaluados. Masaya postrera 1998.

Tratamiento	Clave	Descripción
T1	Maíz	Maíz cultivo puro, 80 cm entre surcos
T2	Frijol	Frijol cultivo puro, 40 cm entre surcos
T3	M1:F1	Maíz a 80 cm, más un surco de leguminosa entre calle (1:1)
T4	M:20	Maíz a doble surco a 20 cm, calle ancha a 140 cm, con dos surcos de leguminosas a 50 cm entre hilera
T5	M:40	Maíz a doble a surco a 40 cm, calle ancha 120 cm, con dos surcos de leguminosas a 40 cm

Dimensiones del ensayo

Area de parcela	$8\text{ m} \times 5\text{ m} = 40\text{ m}^2$
Area de réplica	$40\text{ m}^2 \times 5 = 200\text{ m}^2$
Area entre réplica	$40\text{ m}^2 \times 3 = 120\text{ m}^2$
Area total	$200\text{ m}^2 \times 4 + 120\text{ m}^2 = 920\text{ m}^2$

Los resultados del muestreo, realizado a los 35 días después de siembra, muestran que el tratamiento con mayor abundancia de malezas fue en el tratamiento dos cultivos de frijol sembrado a 40 cm entre surco, seguido del tratamiento cuatro maíces sembrados a doble surco a 20 cm y calle de leguminosa entre calle y tratamiento tres maíz sembrado a 80 cm entre calle más un surco de frijol entre calle con los mayores promedios de malezas por metro cuadrado. La menor abundancia se obtuvo en el tratamiento del maíz, sin ningún asocio, en el tratamiento maíz sembrado a doble surco a 40 cm, calle ancha 120 cm, con dos surcos de leguminosa a 40 cm.

Esto hace pensar que las malezas, compiten fuertemente por espacio y por nutrientes en los cultivos, en este caso maíz y frijol, en los primeros días de crecimiento, y que los distanciamientos de siembra en los cultivos si incide en la abundancia de las malezas. es decir que a mayores espacios entre surcos de cultivo mayor es la abundancia de malezas en el terreno.

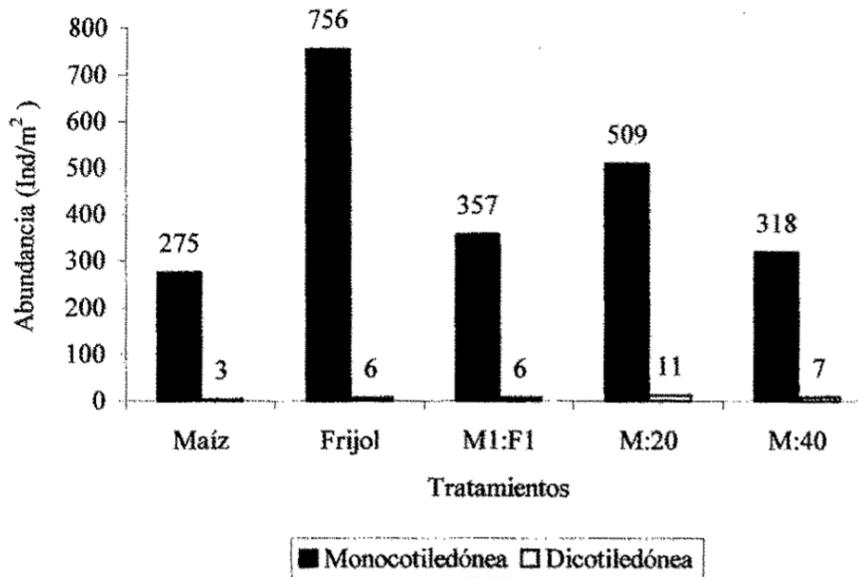


Figura 23. Efecto de los arreglos topológicos, sobre la abundancia de las malezas, 35 días después de la siembra (dds). Cofradía, Masaya. Postrera, 1998.

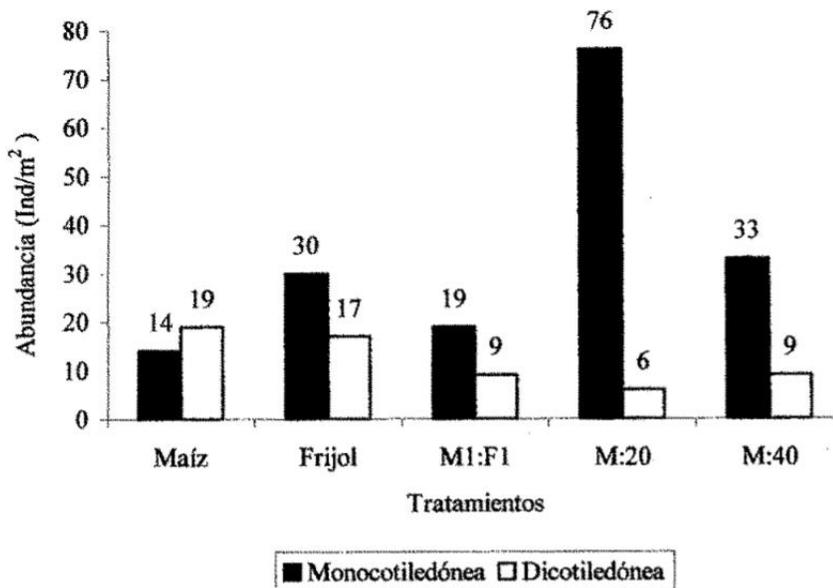


Figura 24. Efecto de los arreglos topológicos sobre la abundancia de las malezas, a los 80 días después de siembra (dds). Cofradía, Masaya. Postrera, 1998.

Los resultados obtenidos en el último recuento, a los 80 días después de siembra, (Figura 28), el arreglo M20, promedio el mayor número de malezas por metro cuadrado seguido del cultivo de frijol sembrado a 40 cm entre surco. Los tratamientos con menor abundancia fueron, el asocio maíz- frijol y el maíz como cultivo puro.

4.6. Terezinha P et al. 2011, evaluaron Exudados de la raíz de *Amaranthus cruentus* L. en semillas de *Glycine max* (L.) Merrill, *Zea mays* L. y *Bidens pilosa* L.

Para conocer los efectos alelopáticos en simulaciones de cultivos intercalados de amaranto-soja y amaranto-maíz, además de la interacción entre el mendigo invasor y amaranto. Para preparar el exudado, 50 semillas de amaranto bajo papel de filtro humedecido con 5 ml de agua destilada en placas de Petri, los cuales fueron almacenados en cámaras de germinación a 25°C, con un fotoperiodo de 12 horas de luz. Después de cinco días se retiraron las plántulas y se colocó el mismo sustrato utilizado para la germinación de la especie en estudio. Lo contrario también fue realizado, en el que las semillas germinadas de las especies agrícolas dieron lugar a las semillas de amaranto.

El diseño experimental fue completamente aleatorio y los datos se sometieron a análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba De Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 8. Exudados radiculares de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), Velocidad media de germinación (VMG) y longitud media de raíz (LMR) en soja (*Glycine max* L.).

Tratamientos	PG %	TMG (días)	VMG (semillas / día)	CMR (cm)
Testigo	90 a	2,20 a	0,48 a	7,99 a
Exudado	82,5 a	2,66 a	0,41 a	8,24 a
C.V.%	23,87	40,13	30,54	22,78

Letras diferentes en columnas indican diferencias estadísticas (Prueba de Tukey $p < 0.05$)
CV - Coeficiente de variación

Tabla 1. Exudados radiculares de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG), longitud media de raíz (LMR) y longitud media de parte aérea (LMPA) en plantas de maíz.

Tratamientos	PG %	TMG (días)	VMG (semillas / día)	CMR (cm)	CMPA (cm)
Testigo	90 a	3,51 a	0,28 a	3,90 a	3,44 a
Exudado	95 a	3,019 a	0,33 a	4,97 a	3,01 a
C.V.%	19,58	13,79	15,19	14,66	12,46

Letras diferentes en columnas indican diferencias estadísticas (Prueba de Tukey $p < 0.05$)
CV - Coeficiente de variación

Con el uso de exudado de raíz de amaranto en la germinación y desarrollo inicial de plántulas de maíz, hubo la ausencia de efectos alelopáticos de las sustancias exudadas. No se observaron diferencias estadísticas en los parámetros analizados, sin embargo, se nota un aumento en el porcentaje de germinación del maíz en presencia de exudado de amaranto, con un aumento del 5% en comparación con el control.

Tabla 10. Exudados radiculares de maíz (*Zea mays* L.) sobre el porcentaje de germinación (PG%), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG), longitud media de raíz (LMR) y longitud media de parte aérea (LMPA) en plantas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.)

Tratamientos	PG %	TMG (días)	VMG (semillas / día)	CMR (cm)	CMPA (cm)
Testigo	22 a	3,37 a	0.29 a	2,33 a	1,73 a
Exudado	24 a	3,65 a	0,28 a	1,09 b	0,98 b
C.V.%	19,69	19,53	21,79	25,33	24,2

Letras diferentes en columnas indican diferencias estadísticas (Prueba de Tukey $p < 0.05$) CV - Coeficiente de variación

Al realizar lo contrario, en el que las semillas germinadas de las especies agrícolas dieron lugar a las semillas de amaranto. Solo el exudado de maíz tiene efectos negativos en el desarrollo

temprano del amaranto. Así que estas investigaciones de asocio de cultivo-maleza deberían ser analizados en el campo para probar tales efectos.

4.7. Borgio Jukoski et al. (2011) evaluaron el efecto alelopático del pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.) en el desarrollo de plántulas de lechuga y frijol en condiciones de laboratorio.

Los resultados en relación a los promedios de germinación (%) en los cultivos de frijol y lechuga como resultado de los tratamientos con diferentes extractos acuosos a base de pasto se muestran en la Tabla 11.

Tabla 2. Promedio del porcentaje (%) de germinación de plántulas de frijol y lechuga en función de tratamientos con diferentes formulaciones de extractos a base de pasto bermuda

Tratamientos	Frijol	Lechuga
Testigo (agua destilada)	86,00 a	70,00 a
Extracto parte aérea	92,12 a	56,00 a
Extracto de raíz	90,00 a	66,00 a
Extracto de raíz + parte aérea	90,00 a	66,00 a
Media	89.53	64,50
CV%	11.26	28,80
Fc	0,51 ^{ns}	0,82 ^{ns}

(*) significativo y (ns) no significativo. Los promedios seguidos de la misma letra minúscula en la columna, no difieren entre sí, la prueba de Tukey con un 5% de probabilidad.

Puede verse que no hubo diferencia significativa entre tratamientos en promedios de germinación del control y los tratamientos en cuanto a la germinación de semillas de lechuga y frijol.

La tabla 12 muestra los resultados de los promedios de longitud de raíz de plántulas de frijol y lechuga en función de tratamientos con diferentes extractos acuosos a base de pasto de seda o pasto bermuda.

Tabla 12. Longitud promedio (cm) de raíces de plántulas de frijol y lechuga según tratamientos con diferentes formulaciones de extractos a base de pasto bermuda.

Tratamientos	Frijol	Lechuga
Testigo (agua destilada)	3,20 b	2,66 a
Extracto parte aérea	6,57 a	1,12 b
Extracto de raíz	4,81 ab	1,66 b
Extracto de raíz + parte aérea	6,04 a	1,22 b
Media	5,16	1,68
CV%	30,28	29,71
Fc	7,34 *	15,45 *

(*) significativo y (ns) no significativo. Los promedios seguidos de la misma letra minúscula en la columna, no difieren entre sí, la prueba de Tukey con un 5% de probabilidad.

Se encontró que existía una diferencia significativa entre tratamientos en relación a la longitud variable de la raíz de las plántulas de frijol. Los mejores promedios fueron respectivamente en tratamientos: extracto de parte aérea (6,57 cm), extracto de raíz + parte aérea (6,04 cm). El tratamiento con extracto de raíz fue de nivel intermedio (4,81 cm), y el control tenía un tamaño de raíz menor de 3,20 cm.

Se puede concluir que el extracto de pasto de seda influyó positivamente en el cultivo de frijol donde se obtuvo un mayor promedio de longitud de raíz, a diferencia del cultivo de lechuga donde influyó negativamente en el crecimiento, así como en el número variable de plántulas anormales.

La tabla 13 muestra los resultados de las medias en relación a la variable longitud de la parte aérea (cm) de las plántulas de frijol en función de los tratamientos con diferentes extractos acuosos a base de pasto de seda.

Tabla 13. Longitud promedio de la parte aérea (cm) de plántulas de frijol y lechuga en función de los tratamientos con diferentes extractos acuosos a base de pasto bermuda.

Tratamientos	Frijol	Lechuga
Testigo (agua destilada)	3,44 a	2,06 a
Extracto parte aérea	5,35 a	2,32 a
Extracto de raíz	3,85 a	2,13 a
Extracto de raíz + parte aérea	4,75 a	2,16 a
Media	4,35	2,17
CV%	34,57	26,97
Fc	2,65 ^{ns}	0,27 ^{ns}

(*) significativo y (ns) no significativo. Los promedios seguidos de la misma letra minúscula en la columna, no difieren entre sí, la prueba de Tukey con un 5% de probabilidad.

Se puede observar que no hubo una diferencia significativa entre tratamientos en relación a la longitud promedio de la parte aérea de las plántulas de frijol, así como en las plantas de lechuga.

4.8. Soares Novo et al. (2009) evaluaron extractos acuosos de las estructuras de pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.) en el desarrollo inicial de plantas de arroz, maíz y trigo.

Verificaron los efectos de extractos acuosos de estructuras pasto-seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) y exudados radiculares presentes en el suelo en el que creció la planta, en el momento de la germinación y el crecimiento inicial de arroz, trigo y maíz. El extracto acuoso de estructuras de partes aéreas subterráneas y de toda la planta, así como del estolón, de la hoja + culmo, estolón + hoja + culmo, rizoma, raíz.

Se preparó rizoma + raíz de pasto de seda a partir de 100 g L-1 de material seco. Se evaluaron las protuberancias de la radícula y los crecimientos de la radícula y plúmula de cada especie.

Tabla 14. Comparación entre los efectos de los extractos producidos a partir de raíz, rizoma y raíz + rizoma de plantas de pasto bermuda en la protuberancia de la radícula y en la longitud de la radícula en plantas de arroz, maíz y trigo.

extractos	Arroz		
	Protuberancia de la radícula % (*)	Longitud de la radícula cm	Longitud de la Plúmula
Água	36,89 a	20,17 ab	
Raíz	1,25 b	36,94 a	19,65 ab
Rizoma	3,79 b	39,99 a	19,34 b
Raíz + Rizoma	11,37 a	42,02 a	23,03
Maíz			
Água	25,83 a	105,71 b	39,89 b
Raíz	14,12 b	101,38 b	38,52 b
Rizoma	17,43 ab	93,58 c	35,17 c
Raíz + Rizoma	19,34 ab	115,77 a	44,85 a
Trigo			
Água	87,63 b	109,62 b	55,01 b
Raíz	80,76 bc	93,46 c	49,53 c
Rizoma	76,64 c	88,50 c	51,88 bc
Raíz + Rizoma	99,75 a	123,63 a	80,07 a

(1) Datos transformados en arco sin raíz cuadrada de $x / 100$.

Las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren entre sí según la prueba de Duncan al 5%.

Se observó que la protuberancia de la radícula y las longitudes de la radícula y plúmula de las plántulas de arroz no se redujeron con extractos preparado a partir de las estructuras subterráneas de zacate bermuda, incluso con tendencia a estímulo por extracto con raíz + rizoma. En maíz y trigo, se inhibió la protuberancia de la radícula en el tratamiento con extracto de raíz y rizoma respectivamente. Los crecimientos de la radícula y plántulas de maíz se inhibieron en presencia de extracto de rizoma. El desarrollo de la radícula de las plántulas de trigo también se vio afectada por extracto preparado con rizomas. Sin embargo, cuando el extracto se preparó con raíz + rizomas, se observó estímulo en el desarrollo de la radícula y la ciruela de maíz y trigo.

4.9. Bello Boente, 2018, evaluó el efecto Alelopático de *Tagetes erecta* L. y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en el control de plantas arvenses asociadas al cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones semicontroladas los efectos alelopáticos de los extractos acuosos y etanólicos en material vegetal de *Tagetes erecta* y *Tithonia diversifolia*, sobre las plantas arvense predominantes en el cultivo y sobre el propio frijol común.

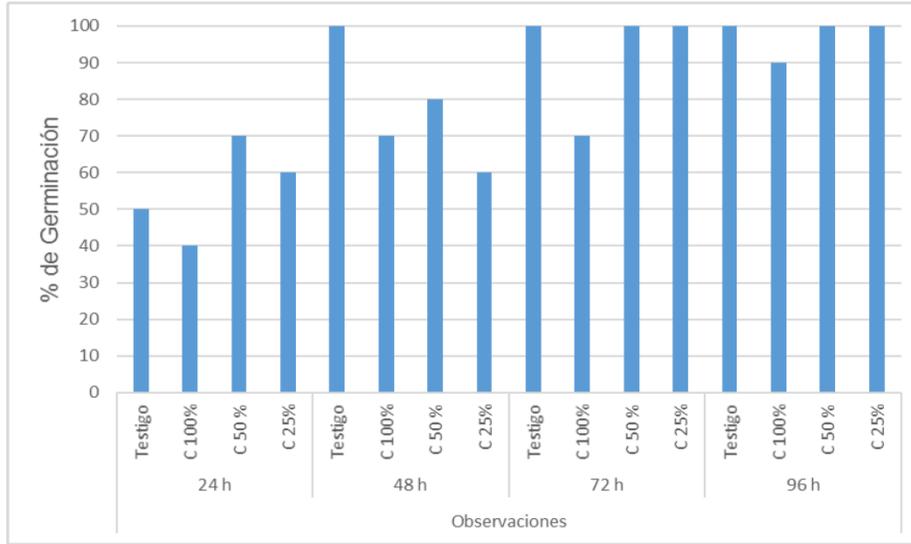


Figura 25. Tratamiento de *T. erecta* sobre la germinación de semillas de frijol común. En diferentes concentraciones y horas.

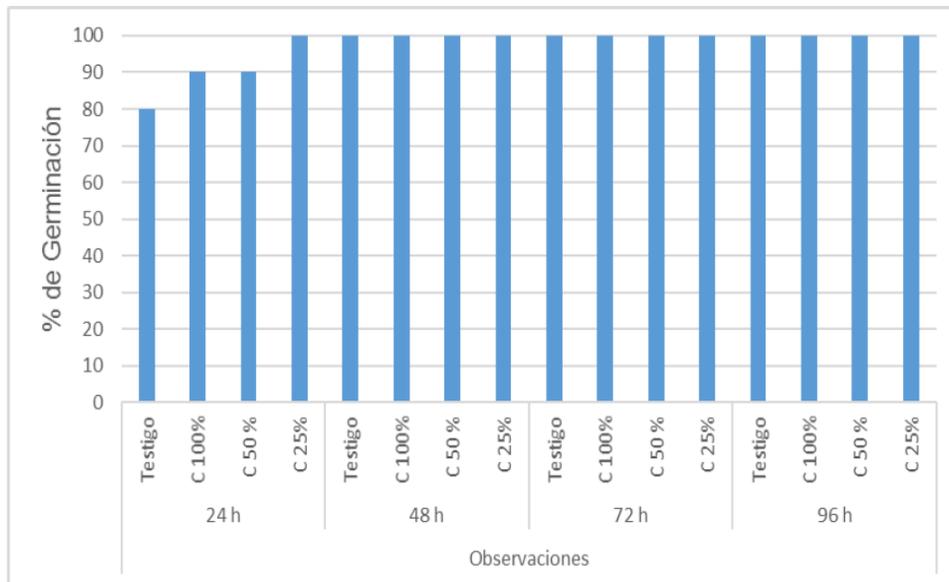


Figura 30. Tratamiento de *T. diversifolia* sobre la germinación de semillas de frijol común. en diferentes concentraciones de extractos y horas.

Tanto en la Figura 29 y 30 se muestran el estado de la germinación en el frijol a las 24 h y 96 h de tratamiento donde no se aprecia inhibición por parte de los dos tipos de extractos, tampoco el porcentaje de germinación del frijol bajo el efecto del extracto de *T. diversifolia* no se vio inhibido ni retardado comparado con el control ya que existió un 100 % de germinación en todos los tratamientos a partir de las 48 h (Figura 30).

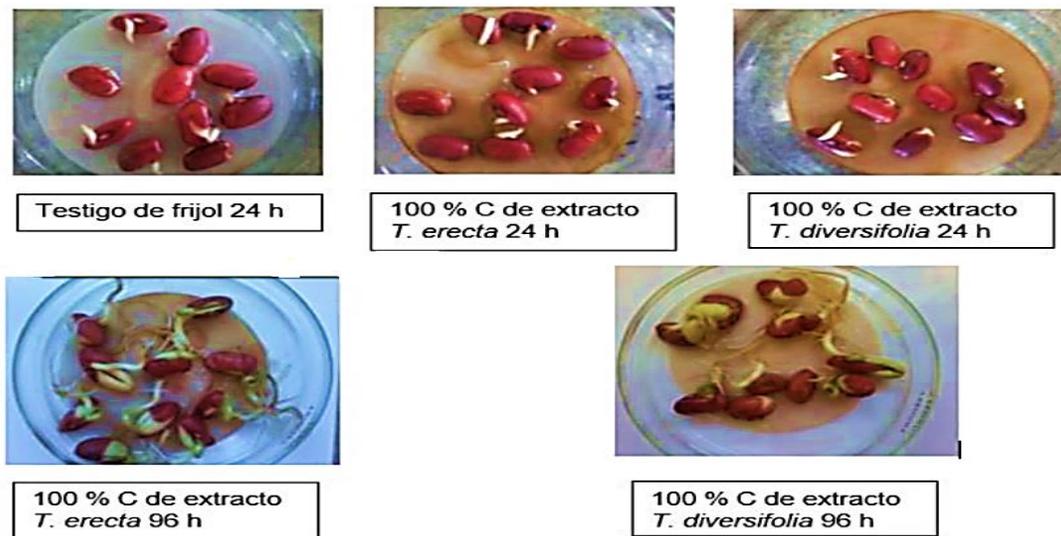


Figura 26. Estado de la germinación del frijol a las 24 h y 96 h, un testigo junto a las mayores concentraciones de extractos de *T. erecta* y *T. diversifolia* (C 100%)

Dentro de los principales resultados obtenidos se pudo comprobar que para el frijol el porcentaje de germinación bajo el efecto del extracto de *T. erecta* se mantuvo con valores altos, 96.7 % de germinación para el extracto a las 96 horas. Debemos puntualizar que en comparación con el testigo existió una pequeña demora menor de un 35 % en la germinación de las semillas a las 48 h con el tratamiento de *T. erecta*. En las 96 h ya el porcentaje de germinación es del 100% excepto para el tratamiento con 100% de concentración de extracto, donde se obtuvo un 90 % de germinación promediando a un 96.7 % de germinación total en el tratamiento (Figura 31).

Los extractos acuosos de *T. erecta* y *T. diversifolia* en altas concentraciones bajo condiciones in vitro inhibieron la germinación de semillas y la brotación de propágulos de especies de arvenses asociadas al cultivo, siendo mayor con *T. diversifolia*. Mientras la germinación del frijol común no se vio afectada.

La aplicación de altas dosis de material vegetal de *T. erecta* y *T. diversifolia* en condiciones semicontroladas inhibieron la germinación y crecimiento del Bledo (*A. viridis*) con efecto más pronunciado para *T. diversifolia*. Mientras la germinación del frijol común no fue afectada.

4.10. Rickli et al. 2011 consultado por Siberti da Silva, 2012, presentó los resultados sobre el efecto de aleloquímicos de extractos de neem (*Azadirachta indica* A.) en organismos vegetales de plántulas de maíz (*Zea mays* L.), frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Se estudió la bioactividad del extracto acuoso de hojas frescas de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), en el laboratorio, encontrándose una disminución significativa en el porcentaje de germinación de lechuga cuando sus semillas fueron sometidas a extractos con una concentración del 40%, mientras que la longitud de la raíz también se vio influenciada significativamente en todas las concentraciones de extractos.

Encontraron interferencias alelopáticas significativas de los extractos de neem en longitud de las raíces y vástago en plantas de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), a partir de la concentración del 20% de extracto (Figuras 32 y 33).



Figura 32. Plántulas de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a diferentes extractos de follaje de nim (*Azadirachta indica* A.) (T1) Testigo, (T2) extracto al 20%. (T3) extracto a 40%. (T4) extracto a 60%. (T5) extracto a 80%. (T6) extracto a 100%.

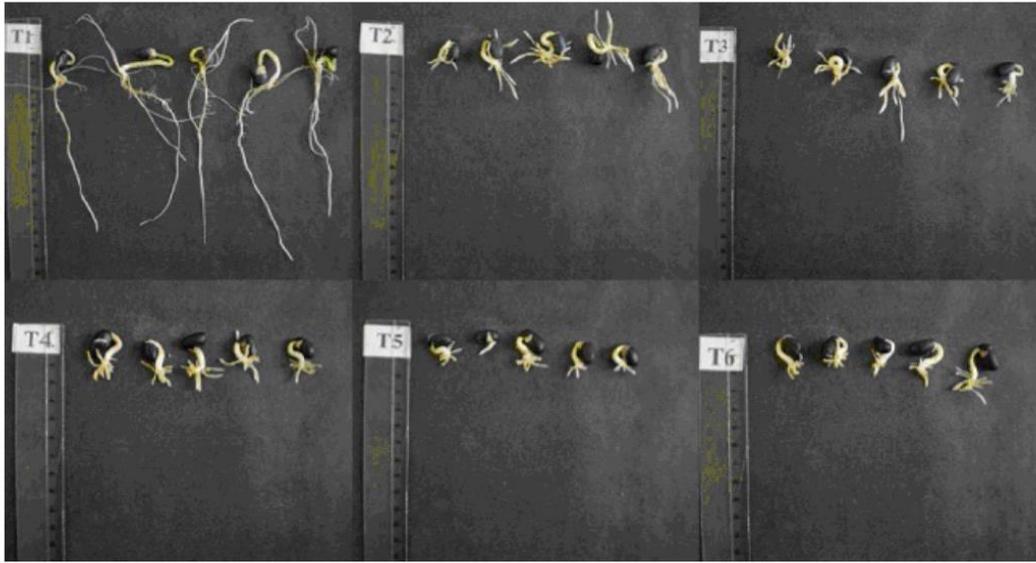


Figura 33. Plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidas a diferentes extractos de follaje de neem (*Azadirachta indica* A.) (T1) Testigo, (T2) extracto al 20%. (T3) extracto a 40%. (T4) extracto a 60%. (T5) extracto a 80%. (T6) extracto a 100%.

5. ASIMILACIÓN TEÓRICA

El estudio de la alelopatía de las plantas, en este caso malezas, en cultivos de interés económico y agrícola es un campo muy amplio y diverso con diferentes sistemas o componentes que deben de ser incluidos y analizados para poder determinar los elementos exactos que intervienen en la interacción que las plantas tienen entre ellas; el suelo, el ambiente, los microorganismos y los insectos, son componentes que también intervienen en los agroecosistema donde se dan estos tipos de interacciones; para eso la parte bioquímica de las plantas y la fisiología de estas, son la base donde todo estudio de alelopatía de plantas empieza.

En la naturaleza, las plantas están expuestas a factores bióticos y abióticos con los cuales han co-evolucionado a través del largo proceso evolutivo de selección teniendo así en sus órganos metabolitos secundario los cuales juegan un importante rol en interacciones complejas entre plantas en el entorno natural ejerciendo efectos benéficos o perjudiciales a otra planta al ser liberados.

Los metabolitos secundarios no presentan una función definida, difieren también de los metabolitos primarios donde ciertos grupos presentan una distribución restringida en el reino vegetal, es decir, no todos los metabolitos secundarios se encuentran en todos los grupos de plantas. Se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada, estando a menudo su producción restringida a un determinado género de plantas, a una familia y especie.

Se sabe que los mecanismos de liberación de los componentes secundarios que producen un efecto alelopático entre plantas son variados, desde los exudados, volatilización, lixiviación y descomposición de plantas en el suelo, entonces diversos serán los resultados encontrados cuando las plantas se someten a este tipo de investigación, tal es el caso de la evaluación de extractos foliares de coyolillo en cultivo de maíz y frijol donde se encontró que concentraciones de 6% p/v pueden inhibir la germinación y crecimiento temprano de estos cultivos.

Lo que lleva a pensar que extractos más concentrados de esta planta puede detener totalmente la germinación de semillas de maíz y frijol, y que se debería de investigar también las concentraciones de extracto foliar de esta planta en diferentes tipos de malezas, pudiendo ser útil los resultados en el control de malezas que compiten con otros cultivos y de esta manera reducir costos de producción y ayudar al medio ambiente por el ya no uso de herbicidas para control de malezas.

Las plantas de maíz y frijol son muy susceptibles a concentraciones de malezas en etapas tempranas de germinación y crecimiento, pudiendo ser afectado en la altura de planta y la longitud de la radícula al momento de la germinación, estos efectos son observados al incrementar las concentraciones de los extractos foliares de malezas sobre estas plantas.

Se afirma entonces que incrementos en la concentración de extractos acuosos foliares de coyolillo produjeron inhibición de la germinación proporcionales al aumento de la concentración de los extractos acuosos foliares evaluados.

También se debe de tomar en cuenta el efecto que tiene ciertas plantas cultivadas sobre la población de malezas que las rodean, ya que se ha demostrado por estudios realizados que hay mecanismos de defensa o capacidad de los cultivos para poder reducir la población, tal es el caso del maíz, sorgo y girasol que reducen drásticamente las malezas que tienen alrededor de ellas. Siendo plantas con abundantes metabolitos secundarios o más ligeras para absorber y liberar minerales.

Es muy importante conocer el tipo maleza a evaluar en un cultivo específico ya que puede provocar diferentes efectos en un mismo cultivo de interés agrícola o contrariamente un mismo efecto para diferentes cultivos, como el caso de *Amaranthus hybridus* donde se evaluaron solución de extracto de la hoja en semillas de pepino, encontrándose ningún efecto inhibitorio de la germinación de las semillas. Igualmente, extractos de raíz de plantas de *Amaranthus cruentus* no producen ningún efecto sobre la germinación y desarrollo inicial en plantas de maíz, pero si un aumento en el porcentaje de germinación del 5%.

Un aspecto muy importante de las plantas es que no todas las partes o órganos de esta, ya sean órganos aéreos o subterráneos pueden presentar el mismo nivel o porcentaje de compuestos secundarios o metabolitos secundarios que provocan un efecto alelopático entre plantas, ya que se han encontrado diferencias estadísticas cuando los ensayos de investigación se hacen con extractos foliares o con extractos radiculares de las plantas, tal es la diferencia encontrada al evaluar extractos preparados de partes aéreas como hoja y tallo de zacate bermuda y los preparados con parte de los estolones y raíces, siendo más efectivos los de la parte subterránea que los de la parte aérea en cultivo de lechuga, maíz y frijol.

No solo las malezas deben de ser objeto de estudio en el fenómeno alelopático ya que también existen árboles que sus hojas o raíces pueden llegar a inhibir la germinación de otras plantas ya sean estas malezas o cultivos. Uno de estos árboles es el árbol de neem, el extracto de sus hojas

produce un efecto alelopático significativo en la longitud de las raíces y vástagos de plantas de maíz y frijol al evaluarse en concentraciones del 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de extractos.

El estudio de la alelopatía debe de ser más investigado ya que la mayoría se han realizado a nivel de laboratorio y es necesario conocer el efecto planta maleza a nivel de campo.

Se debe de tener muy claro que el termino alelopatía entre plantas no es lo mismo que competencia entre plantas, existe diferencia muy bien marcada en estos dos aspectos al momento del estudio de las plantas, podemos decir que alelopatía, hace referencia a una liberación de componentes químicos de las plantas al medio o sistema donde habitan y competencia entre plantas es lo contrario, en competencia se da una lucha por absorber de nutrientes, agua, luz y oxígeno entre plantas, pero ambos aspectos de lucha o sobrevivencia que tienen las plantas es muy importante de estudiar para encontrar soluciones de problemas que se dan en los sistemas agrícolas.

Aunque es posible separar y estudiar la interacción alelopática de manera independiente, la determinación de la importancia relativa de estos fenómenos ha sido muy difícil, debido principalmente a las dificultades experimentales encontradas al separar sus efectos.

Básicamente, el fenómeno alelopático implica un componente ecológico (la evidencia de que exista en la naturaleza), un componente químico (aislar, identificar y caracterizar los aleloquímicos) y un componente fisiológico (interferencia en los procesos bioquímicos o fisiología, tanto a nivel celular como molecular). Y todo ellos han de ser abordados para estudiar la implicación del fenómeno alelopático en un determinado ambiente.

6. CONCLUSIONES

La producción de aleloquímicos se encuentra regulada genéticamente.

Los aleloquímicos se producen en los distintos órganos de una planta y ejerce su efecto una vez liberados en el suelo o en la atmósfera.

la cantidad de sustancias alelopáticas liberadas se encuentra estrechamente relacionada con distintos factores bióticos y abióticos.

El conocer los mecanismos de producción de aleloquímicos y la interacción con los factores ambientales permite establecer la potencialidad de uso de la alelopatía en la agricultura.

Se afirma con base a los resultados de las investigaciones realizadas, que el efecto alelopático de la maleza *Cyperus rotundus*, en concentraciones altas es significativo en la disminución del porcentaje de germinación del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), lo cual puede interpretarse como una sobre carga de sustancias nocivas que intervienen en la acción fisiológica del proceso de germinación.

Con base a los resultados conocidos se determina que los extractos de raíz más rizoma de la maleza *Cynodon dactylon*, es significativo en la disminución del porcentaje de germinación y crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) no así los extractos de la parte aérea.

Según los resultados de las investigaciones realizadas se determina que los extractos acuosos de *Tithonia diversifolia* en altas concentraciones bajo condiciones in vitro y la aplicación de altas dosis de material vegetal en condiciones controladas; inhiben la germinación de semillas y el crecimiento de especies arvenses asociadas al cultivo de frijol, no así la inhibición de la germinación del frijol común la cual no se ve afectada.

7. RECOMENDACIONES

Con esta investigación, damos una preliminar de las potencialidades alelopáticas que presenta los extractos de diferentes malezas asociadas al cultivo de maíz y frijol, *in vitro* y en condiciones semicontroladas, mostrando también el efecto de estos sobre diferentes cultivos por lo que se recomienda que en próximos trabajos de investigación se tomen en cuenta estas especies (*Cyperus rotundus L.* y *Cynodon dactylon*), con otras malezas de esta misma familia y con ello lograr una mayor utilidad de estos factores que nos brinda la naturaleza.

En investigaciones posteriores se recomienda revisar más fuentes bibliográficas de trabajos científicos sobre extractos de *Cyperus rotundus L.* en diferentes concentraciones en los cultivos de maíz y frijol, para conocer que otros procesos fisiológicos importantes, como la absorción de agua, minerales, actividades enzimáticas, actividades fotosintéticas y actividades de respiración en las plantas pueden ser afectadas.

Se recomienda revisar más fuentes bibliográficas de trabajos científicos sobre extractos de raíz más rizoma de *Cynodon dactylon* en cultivos de maíz frijol como también en plantas arvenses asociadas a dichos cultivos, para el conocimiento de su potencial alelopático.

Se recomienda coleccionar mayor información sobre los metabolitos secundarios presente en las diferentes plantas arvenses estudiadas, identificando los compuestos aleloquímicos que interfieren en los diferentes procesos fisiológicos de los cultivos de importancia económica como lo es el cultivo de maíz y frijol.

6. BIBLIOGRAFÍA

Abbasdokht H. 2008. The effect of plant residual on establishment of crops (en línea). 6th International meeting on soil fertility land management and agroclimatology, Kusadasi, Turkey. 121-124 p. consultado 7 mayo de 2021. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/43801893.pdf>.

Acevedo E; Silva P. 2003. Agronomía de la Cero Labranza (en línea). Santiago, Chile. consultado 14 de mayo 2021. disponible en http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/169992/Agronomia_cero_labranza.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Acosta, EM; Sánchez, BJ; Bañón, AM. 2001. Auxinas, Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de Barcelona. España: 305-323.

Acosta A. 2015. Comunicación entre plantas: relaciones alelopáticas (En línea Blog). Consultado 15 de mayo 2021. Disponible en <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/tag/volatilizacion/>.

Acuña Díaz, R A y Castro Hernández, O A. 2001. Efecto de diferentes arreglos topológicos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la dinámica de las malezas, el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y uso equivalente de la tierra (en línea) consultado 7 de enero de 2021. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1790/1/tnh60a189.pdf>

Albuja Illascas, LM. 2008. Evaluación De Cinco Herbicidas De Acción Sistémica En El Control De Malezas De La Unidad Productiva De Duraznero En La Granja “La Pradera” Chaltura-Imbabura. Tesis. Ing. Agr. Ibarra. Ecuador. 124 p.

An M; Pratley J; Haig T. 2000. Allelopathy: from concept to reality (en línea). Wagga, Australia. 1-5 p. consultado el 19 de mayo 2021. disponible en: <http://agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampled/1998/6/314an.pdf>

Anzalone, A; Melendez, L; Gamez, A. 2006. Evaluación de la interferencia de *Rootboellia cochinchiniensis* sobre el maíz (*Zea mays* L.) a través de un método aditivo. (En línea). Consultado el 8 de octubre de 2020. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000400001

Arévalo, RA; Bertoncini, EI; Aranda, EM; González, TA. 2011. Alelopatía en *Saccharum spp.* (Caña de azúcar). (en línea). Revista Avances en Investigación Agropecuaria, Universidad de Colima, México. Consultado 24 may. 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83717122004>.

Baldwin IT y Ohnmeiss TE. 1993. Alkaloid response to damage in *Nicotiana* native to North America. Journal of Chemical Ecology. (En Línea) consultado el 20 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

Bello Boente R; Mora Perez E. 2018. Efectos alelopáticos de *Tagetes erecta* L. y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en el control de plantas arvenses asociadas al cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). (En línea) consultado el 20 de jun. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

Blanco, Y. 2006. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. (en línea). Revista Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Cuba. Consultado 15 de jun. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215825001>.

Blanco Y; Leyva A. 2011. Determinación del período crítico de competencia de las arvenses con el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*, L)(En línea) consultado 11 de mayo de 2021. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000200005

Blum L; Kogan M. 1992. Allelopathy in plant (en línea). Allelopathy Journal 2(2). Shenyang, China. Consultado el 19 de mayo 2021. 16-23 p. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Chui-Hua-Kong/publication/271891557_Varietal_improvement_in_rice_allelopathy/links/570bbbd108aee06603519e18/Varietal-improvement-in-rice-allelopathy.pdf

Bowen J E. 1991. Las Alelopatías en la producción agrícola. Agricultura de las Américas. 40 (1):8-11.

Borgio Jukoski LA; Gláucia Cristina Moreira GC; Pares Rodrigues AC. 2011. Efeito alelopático de grama seda no desenvolvimento de plântulas de alface e feijão. (En línea) consultado el 30 de jun. De 2021. Disponible en: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/insula>

Canihuante Suarez L. 2012. La alelopatía y la agricultura (en línea). Temuco, Chile. Universidad de La Frontera. consultado el 22 marzo 2021. 65 p. disponible en <http://bibliotecadigital.ufro.cl/actions/download.php?file=1217a1b7851879185024032f085cd611d95ab1cff25d3417b9fa9ad0029d4351c5a5156b01f4448a3fb08c270cac899db805ee30217dc3ed46cd2edafb0be46f>

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2008. Para el manejo de variedades de frijol. (en línea). Consultado el 4 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2018. Cultivo de frijol. (en línea). Consultado el 4 de febrero de 2021. Disponible en: http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2018. Cultivo de maíz. (en línea) Consultado el 4 de febrero de 2021. Disponible en: http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Ma%C3%ADz%202019.pdf

Casamayor, R; García, R. 1977. *Cynodon dactylon*: una mala hierba para el cultivo de los cítricos en Cuba. Centro Agrícola. (en línea). Consultado el 23 de febrero de 2020. Disponible en <http://www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds>.

Del Moral R, Muller CH.1970. Effects of *Eucalyptus camaldulensis* (en línea). Department Sciences, University of California, Santa Barbara, USA. consultado el 19 de mayo 2021. disponible en <https://www.jstor.org/stable/2424020?seq=1>

De la Cruz R, Merayo A. 1989. Manejo integrado de plagas. Manejo de malezas en el cultivo de frijol en centroamerica.(En línea) Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica. No 13 p. 49-64. Consultado 30 de septiembre. 2019. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6542/Manejo_de_malezas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

De la Cruz R. 1991. La Alelopatía en el Manejo de malezas. (En línea). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica. Consultado 30 de septiembre. 2019. Disponible en <https://www.CATIE.com>. Disponible en: <http://elmaizdelzulia.blogspot.com/2011/02/morfologia-de-la-planta-de-maiz.html>.

Deras Flores, H. 2014. El cultivo del maíz: guía técnica. Ciudad Arce, San Salvador. 42 p.

Díaz V; Kogan M; Bengoa R. 1985. Alelopatía. Fenómeno de gran importancia en la ecología de las plantas (En línea). Consultado 5 de abril 2021. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CL19860001568>

Einhelling FA. 1995. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy (en línea). American Chemical Society, Washington DC, USA. consultado 2 de marzo de 2021. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bk-1995-0582.ch007>

Facchini PJ. 2001. Alkaloid biosynthesis in plants: Biochemistry, cell biology, molecular regulation, and metabolic engineering applications. (En Línea) consultado el 20 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1997. Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas. (En línea). Roma, IT. Consultado el 2 de octubre 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds>.

FAO.2004. Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO producción y protección vegetal (En línea). Consultado 5 de mayo de 2021. Disponible en <https://books.google.com.sv/books?id=OjqYPlk5QXcC&pg>

Fernández MC. 2010. Control de la germinación in vitro de *Araujia sericifera* con aceites esenciales de *Laurus nobilis*, *Myrtus communis*, *Citrus sinensis* y *Citrus limón* (en línea). Valencia, España. consultado 17 de mayo de 2021. disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11348/Control_de_la_germinaci%C3%B3n.pdf

Fontana, H; González, C. 2000. Protección y sanidad vegetal, combate y control de malezas. Maracay, Venezuela. Editorial Fundación Polar. 530 P.

Galmes J; Conesa M A; Cifre J; Gulías J; Medrano H; Ribas-Carbó M; Flexas J. 2010. Ecofisiología de las plantas endémicas de las islas Baleares en el contexto Mediterráneo.

García Castillo R. 2005. Potencialidades de maíz, millo y girasol como cultivos alelopáticos para el control de malezas. (En línea) consultado el 30 de jun. De 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209116189004.pdf>

Grodzinsky A M. 1989. Mecanismos generales y específicos de interacciones bioquímicas entre plantas. (en línea) *Biol Plant* 31, Kiev, UKR. 448-457 p. Consultado 24 may. 2020. disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02876218>

Hernández, F. 2006. Caracterización y almacenamiento de granos de elotes criollos de la región Otomí Tepehua del Estado de Hidalgo, Tesis Lic. Agr. Industrial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. UAEH. 69 p.

Khalid S, Ahmad T, Shad A. 2002. Use of Allelopathy in agricultura (en línea). *Asian Journal of Plant Sciences* 1 (3), 292-297 p, consultado 30 de junio 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/26554975_Use_of_Allelopathy_in_Agriculture

Labrada R; Casaley JC; Parker C. 2010. Manejo de malezas para países en desarrollo: dinámica y complejidad de la competencia de malezas. FAO. Roma, Italia. 127 p.

Lambers H, Chapin F S, Pons TL. 2008. *Plant Physiological Ecology*. . (En Línea) consultado el 22 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

Layne-Gasaball, JA; Méndez-Natera, JR. 2006. Efectos de extractos acuosos del follaje de *Cyperus rotundus* sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de caraota (*Phaseolus vulgaris*). (En línea). Maturín. Venezuela. Boletín. Universidad del Zulia, Centro de Investigaciones Biológicas. Vol 40, no. 3,2006, pp. 207–226. Consultado 24 may. 2019. Disponible en <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/59/59>

Layne-Gasaball, JA; Méndez-Natera, JR. 2007. Efectos de Extractos acuosos de maleza (*Cyperus rotundus* L.) (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea May* L.) cv. Pioner 3031. (en línea). Maturin. Venezuela. Revista. Perú. Biología. 14(1): 055- 060. Consultado 24 may. 2019. Disponible en <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm>

Leyva, E; Loredó, SE; López, LI; Escobedo, EG; Navarro, TG. 2015. Importancia química y biológica de naftoquinonas. Universidad Autónoma de Coahuila (En línea). Coahuila, México. 15 p. Consultado 17 de mayo 2021. Disponible en <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/320755/411246>

Lorenzo P; González L; Pazos ME; Reigosa MJ. 2008. Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata*: physiological effects (En línea). *Allelopathy Journal* 22. Consultado 5 de abril 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/235430652_Allelopathic_interference_of_invasive_Acacia_dealbata_Physiological_effects

Lorenzo, P; González, L. 2010. Alelopatía: una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. (en línea). *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, Vigo España. Consultado 18 de jun. 2019. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=628>.

Mederos M D. sf. El fenómeno de la alelopatía (En línea). consultado el 4 de mayo 2021 Disponible en <https://s0b3945371a06d9a2.jimcontent.com/download/version/1308628557/module/5338880970/name/LECTURA%20ALELOPATIA%20fenomeno.pdf>

Muller C; Hanawalt R; McPherson J. 1970. Control alelopático del crecimiento de hierbas en el ciclo de fuego del chaparral Bull de California. (En línea) consultado el 05 de may. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

Muñoz, R y Pitty A. 1995. Guía fotografica para la identificacion de Malexas Parte I. Ed. Barletta, H.A. San Antonio de Oriente, Honduras. 124p.

Oliveros-Bastida, AJ. 2008. El fenómeno alelopático, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. (en línea). *Revista Química viva*, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Consultado 28 de may. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>.

Ordeñana Palacios, D y Tapia Martínez, L. 2009. Comportamiento de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad NB-6, bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico en la finca El Plantel, Masaya 2008 (en línea). Consultado 2 de marzo de 2021. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/2093/2/tnh60o65.pdf>

Paliwal, RL. 2010. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Roma, Italia. FAO. 352 p.

Pérez Leal, F. 2017. Fisiología vegetal II. Metabolitos secundarios (En línea) consultado 15 de abril de 2021. Disponible en: <https://docplayer.es/80869696-Fisiologia-vegetal-parte-ii-enzimas-y-coenzimas-mecanismos-de-regulacion-metabolismo.html>

Puente Mayra I; Danta Carmen I; García RH. 2000. Estudio de los efectos alelopáticos de residuos de maíz y sorgo en diferentes estados fisiológicos sobre cultivos de importancia económica y registro de la entomofauna presente en el cultivo del girasol (*Helianthus annuus* L.). Centro Agrícola. 27 p.

Putnam A, Duke W. 1974. Supresión biológica de malezas: evidencia de alelopatía en accesiones de pepino Science. (En línea) consultado el 05 de may. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

Reduca. 2009. Serie Fisiología vegetal. Metabolismo secundario de plantas (En línea) consultado el 10 de oct 2020. Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/798/814#>

Reigosa M, Sánchez Moreiras A, González L. 1999. Ecophysiological Approach in Allelopathy Crit. Rev. Plant Sci. (En línea) consultado el 05 de may. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>.

Rojas S. 2010. Malezas de México, ficha -*Rottboellia cochinchinensis*. México: Colegio de Postgraduados. (En línea). Consultado 08 de oct 2020). Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/rottboelliacochinchinensis/fichas/ficha.htm>

Saez, D J. 2006. Efecto alelopático inducido por diferentes fracciones procedentes del extracto acuoso de orozuz (*Phyla strigulosa*) sobre la germinación de maíz (en línea). Tesis. Santa Clara, Cuba. consultado el 12 enero 2021. disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/651/Q06003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sampietro, DA. 2003. Alelopatía: Conceptos, Características, Metodología de estudio e Importancia (en línea). San Miguel de Tucumán, Argentina. 26 p. Consultado 17 de may. 2019. Disponible en <https://scholar.google.es/scholar?hl>.

Sarkar, E; Chakraborty, P. 2015. Allelopathic effect of *Amaranthus spinosus* Linn. on growth of rice and mustard. (en línea). India, consultado 20 feb. 2020. Disponible en: <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/344/345>

Sepúlveda J G; Porta D H; Rocha S M. 2004. La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas (En Línea). Consultado 17 de mayo de 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221317.pdf>

Schonbeck, M. 2012. Amarantho espinoso (*Amaranthus spinosus*). (en línea). Virginia, Estados Unidos de América, consultado 20 feb. 2020. Disponible en: <http://articles.extension.org/pages/65210/spiny-amaranth-amaranthus-spinosus>

Shehata, F. 2014. ALLELOPATHIC POTENTIAL OF *Portulaca oleracea* L. SEED EXTRACTS ON

Shen B, Zheng Z, Dooner, HK. 2000. A maize sesquiterpene cyclase gene induced by insect herbivory and volicitin: characterization of wild-type and mutant alleles. Proceedings of the National Academy of Sciences. (En Línea) consultado el 11 de may. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

Siberti da Silva PS. 2012. Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. . (En línea) consultado el 20 de jun. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

Sinkkonen A. 2006. Ecological relationships and allelopathy. (En Línea) consultado el 22 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

Soares Novo MC; Deuber R; Do Lago AA; Tavares De Araújo R; Santini A. 2009. Efeito de extratos aquosos de estruturas de grama-seda no desenvolvimento inicial de plântulas de arroz, milho e trigo. (En línea) consultado el 30 de jun. De 2021. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86370102>

Swain, E.; Li, C.; Poulton , J. 1992. Development of the potential for cyanogenesis in maturing black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) (en línea) consultado 1 de abril 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1104/pp.98.4.1423>

Terezinha Pinto T; Teixeira Fortes AM; Bonamigo T; da Silva J; Melo Gomes F; Pilatti DM. 2011. Efeitos alelopáticos do exudado radicular de *Amaranthus cruentus* L. sobre semillas de *Glycine max* (L.) Merrill, *Zea mays* L. e *Bidens pilosa* L. (En línea) consultado el 05 de jul. De 2021. Disponible en: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/insula/article/view/2178-4574.2011n40p13/19452>

Torres Santos Z A. 2011. Efecto alelopático de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) y canavalia (*Canavalia ensiformis* L) sobre la germinación del marabú (*Dichrostachys cinerea* (L) Wight & Arn). Tesis Msc. Matanzas, Cuba, UMCC. 61 p.

Ulloa, JA; Ulloa, PR; Ramírez, JC; Rangel, BE. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos (en línea). Revista Fuente, Universidad Autónoma de Nayarit. 3(8):5. Consultado 4 de Julio de 2019. Disponible en http://a.uan.mx/a/sip/revistas_indexadas/pdf_2011/053_elfrijo_armandoulloa.pdf

Valadares Masa, C; Alias Gallegos, JC; Sosa Díaz, T; Chaves Lobón, N. 2008. Estudio Sobre las Posibles Vías de Incorporación de Sustancias Alelopáticas al Suelo (En línea). Badajoz, España. 6 p. Consultado 15 de mayo 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4251357.pdf> .

Vidal F; Daniela F. 2005. Evaluación del efecto alelopático sobre nuevos portainjertos de *Prunus persica* en condición de replante (En línea). Consultado: 21 mayo 2021. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/59712>

Valdés Y B, Galan A L, Lizazo I C. 2014. Determinación del período crítico de competencia de Arvenses en el cultivo del maíz (*Zea mays*, L.). (en línea). Revista Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Cuba. Consultado 15 de marzo 2021. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/3338/Determinaci%3%b3n%20del%20oper%3%adodo%20cr%3%adtico%20de%20competencia%20de%20arvenses%20en%20el%20cultivo%20del%20ma%3%adz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valverde BE. 1992. Manejo de malezas en países en desarrollo: progresos en el manejo de *Rottboellia cochinchinensis*. Roma, Italia: FAO, (en línea). Consultado 08 de Oct 2020). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s07.ht>

Vásquez Gutiérrez M, Martínez Flores LH, González Díaz HJ. 2016. Caracterización Agronómica Básica de los Principales Variedades de Maíz Criollo que se Cultivan en Cinco Municipios del Departamento de Cuscatlán. Tesis. Ing. Agr. San Vicente. El Salvador. 101 p.

Wink, M y Schimmer O. 1999. Modes of action of defensive secondary metabolites. (En Línea) consultado el 22 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>

Zhang C B; Wang J; Qian B Y; Li W H. 2009. Effects of the invader *Solidago canadensis* on soil properties (En Línea) consultado el 22 de abr. De 2021. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>