

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**ANTECEDENTES SOBRE LA ALELOPATÍA Y SU APLICACIÓN EN EL
CONTROL DE MALEZAS ASOCIADAS AL TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

Monografía presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo

**ANGELA XIMENA LILLO SÁEZ
TEMUCO – CHILE
2013**

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**ANTECEDENTES SOBRE LA ALELOPATÍA Y SU APLICACIÓN EN EL
CONTROL DE MALEZAS ASOCIADAS AL TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

Monografía presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo

**ANGELA XIMENA LILLO SÁEZ
PROFESOR GUÍA: EMMA AMANDA BENSCH TAPIA
TEMUCO – CHILE
2013**

ANTECEDENTES SOBRE LA ALELOPATÍA Y SU APLICACIÓN EN EL CONTROL DE MALEZAS ASOCIADAS AL TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

PROFESOR GUIA

: EMMA BENSCH TAPIA
Ingeniero Agrónomo, MSc.
Departamento de Ciencias Agronómicas y Recursos Naturales.
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.
Universidad de La Frontera.

PROFESOR CONSEJERO

: HEIDI SCHALCHLI SÁEZ
Ingeniero Agrónomo, Dr.
Departamento de Ingeniería Química
Universidad de La Frontera.

CALIFICACIÓN PROMEDIO MONOGRAFÍA :

*“Con sabiduría se construye la casa,
y con inteligencia se ponen sus cimientos;
con conocimientos se llenan sus cuartos
de objetos valiosos y de buen gusto.” Pr 24.20*

A Dios, quien me guio en este camino y me dio fuerzas para seguir. Por haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mis Padres, por sus consejos y valores, su apoyo incondicional. Su ejemplo de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A Jonathan, por tu apoyo, los consejos que me han ayudado a salir adelante en todo momento y sobre todo... por tu amor.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero expresar mis agradecimientos a la Universidad de La Frontera y todos los profesores con los que tuve clases e influyeron en mi crecimiento como estudiante, porque me entregaron los conocimientos necesarios para poder desempeñarme como una buena profesional.

Un agradecimiento muy especial a mi profesora guía Sra. Emma Bensch, quien creyó en mí y me apoyo en todo momento en el desarrollo de ésta monografía y en el transcurso de la carrera. Gracias profe por su disponibilidad, comprensión y por su buena voluntad. A mi profesora consejera Heidi Schalchli, que sin duda contribuyó en gran magnitud en el desarrollo de esta monografía.

A las niñas. Yazmin, te agradezco infinitamente por tu apoyo en todo este camino, sin ti no hubiera sido lo mismo. Carla, fuiste un apoyo inmenso en esta monografía, te doy las gracias por tu paciencia, amistad y preocupación. María Ignacia, agradezco tu amistad y cariño, siempre has estado ahí cuando te he necesitado. Y por último Karen... tus locuras siempre me alegraron, siempre has tenido una gran disposición a ayudar en todo y a todos. Les doy gracias a ustedes por ser mis amigas.

ÍNDICE

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ANTECEDENTES GENERALES DE LA ALELOPATÍA	3
2.1	Concepto de alelopatía	4
2.2	Condiciones para considerar la interacción como alelopatía	6
2.3	Aleloquímicos o compuestos alelopáticos	7
2.3.1	Función de los aleloquímicos en la naturaleza	9
2.3.2	Biosíntesis	9
2.3.3	Naturaleza química	10
2.3.4	Mecanismos de liberación	13
2.3.5	Mecanismos de acción	15
2.3.5.1	<i>Efectos directos</i>	16
2.3.5.2	<i>Efectos indirectos</i>	18
2.3.6	Influencia de factores bióticos y abióticos en aleloquímicos	19
2.3.6.1	<i>Factores bióticos</i>	21
2.3.6.2	<i>Factores abióticos</i>	21
3	ALELOPATÍA EN LA AGRICULTURA	22
3.1	Utilización de la alelopatía en manejo de malezas.	22
3.2	Alelopatía en cereales	23
4	EFEECTO ALELOPÁTICO DEL TRIGO EN EL CONTROL DE MALEZAS	25
4.1	Antecedentes generales del trigo	25
4.2	Trigo como un cultivo alelopático	27
4.2.1	Aleloquímicos presentes en el trigo	28
4.2.2	Tipos de aleloquímicos presentes en el trigo	30
4.2.3	Localización y liberación de aleloquímicos	33

4.2.4	Modo de acción de aleloquímicos de trigo	36
4.3	Malezas en producción de trigo	36
4.4	Trigo como un cultivo alelopático a malezas	39
5	CONCLUSIONES	45
6	RESUMEN	46
7	LITERATURA CITADA	47

1. INTRODUCCIÓN

En busca de alta productividad, la agricultura moderna ha generado dependencia creciente hacia los agroquímicos, situación perjudicial para las propiedades físico-químicas del suelo como para el agua y las plantas, por lo que resulta de gran importancia investigar y encontrar las variantes que nos permitan el desarrollo de una agricultura rentable y no contaminante del medio ambiente.

La alelopatía ha demostrado ser una alternativa con distintas aplicaciones prácticas en la agricultura, tales como control de plagas, enfermedades y malezas. Ésta consiste en interacciones biológicas mediante señales químicas, las cuales pueden inhibir o estimular los organismos aceptores (Putman y Duke, 1978).

En el fenómeno de la alelopatía existe una planta llamada “donador” que libera al medioambiente por diversas vías (exudados radicales, lixiviación y volatilización o durante la descomposición de residuos vegetales en el suelo) los compuestos alelopáticos (aleloquímicos) y otra que incorpora estos, llamada “receptor”, provocando un efecto perjudicial o beneficioso sobre germinación, crecimiento o desarrollo de esta última (Noor *et al.*, 2012). Distinto es el caso cuando la planta receptora es de la misma especie que la planta dadora, ya que en esta situación la alelopatía se llama Auto-toxicidad o Auto-alelopatía (Rice, 1974).

Hasta hace unos años, solo se consideraba la competencia para la interacción trigo-malezas como importante método de pérdida de rendimiento del cultivo, pero actualmente se conocen también, sustancias aleloquímicas producidas por el trigo y/o las malezas

Estudios en alelopatía señalan la rotación de cultivos alelopáticos o cultivos compañeros, incorporación de residuos de cultivos alelopáticos, obtención de nuevas moléculas con potencial herbicida obtenidas de extractos fitotóxicos de plantas alelopáticas y utilización de cultivares en

control de vegetación no deseada en el cultivo, siendo esta una medida incorporada como herramienta en el programa de manejo integrado de malezas disminuyendo la dependencia a los herbicidas y otorgando un beneficio ambiental adicional.

En este contexto, los objetivos planteados en esta monografía son:

Objetivo general.

Recopilar información relacionada con la alelopatía y su aplicación en el control de malezas asociadas al trigo.

Objetivos específicos.

1. Señalar la función, naturaleza química, mecanismos de acción y liberación de los compuestos químicos implicados en las interacciones alelopáticas.
2. Identificar los compuestos alelopáticos en trigo.
3. Determinar el efecto de los aleloquímicos del trigo sobre malezas asociadas al cultivo.

2. ANTECEDENTES GENERALES DE LA ALELOPATÍA

En la naturaleza, las plantas están expuestas a factores bióticos y abióticos con los cuales han sido capaces de co-evolucionar. La presión 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 (Sampietro, 2003), por lo que la competencia por factores de producción, tales como luz, agua y nutrientes no explicaría en su totalidad la disminución del crecimiento de plantas en los agro-ecosistemas (Al-johani *et al.*, 2012; Noor *et al.*, 2012).

La identificación de cultivares con alta actividad alelopática y la transferencia de esta característica a cultivares modernos, podrían contribuir a restaurar una propiedad que inadvertidamente pudo haberse perdido durante el proceso de selección, cuando los cultivares se seleccionaron para otros fines (Bensch *et al.*, 2007). Sin embargo, varias dificultades han limitado las investigaciones. Entre ellas se encuentra la falta de acuerdo en la nomenclatura para definir respuestas de las plantas, la falta de técnicas fiables para separar las influencias alelopáticas de otros aspectos de la interferencia en la planta, y un fracaso para demostrar la existencia de influencias directas versus indirectas a través de organismos intermedios (An *et al.*, 1998).

Entre los factores que reducen el rendimiento, la intervención de malezas es una de las limitaciones más importantes (Qureshi y Bhatti, 2001). También se ha demostrado que los efectos alelopáticos del trigo pueden ser utilizados como método de control de malezas (Wu *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2011).

Ormeño (1997), indica que las relaciones alelopáticas se pueden establecer a nivel de cultivos sobre malezas, malezas sobre malezas, cultivos sobre cultivos, entre una misma especie y malezas sobre cultivos.

2.1. Concepto de alelopatía

El concepto de alelopatía fue propuesto y definido inicialmente por Molisch (1937), el cual deriva del griego *allelon* = uno al otro y *pathos* = perjuicio. Este se refiere al proceso por el cual una especie inhibe el crecimiento de otra que vive en el mismo hábitat o en un hábitat cercano (Arévalo, 2011; Maharaj y Prabhakaran, 2013). Sin embargo, años más tarde Rice (1974) define la alelopatía como el efecto dañino o benéfico de una planta sobre otra por la liberación de compuestos aleloquímicos.

Anaya (1999), indica que luego del primer Congreso Mundial de Alelopatía realizado en 1996 en Cádiz, España, el término alelopatía quedó definido como “cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos y excretados por plantas, algas, bacterias y hongos, que influya en el crecimiento y desarrollo de sistemas biológicos”.

Oliveros-Bastidas (2008), señala que las defensas de tipo químicas son metabolitos secundarios responsables de la transmisión de información de las plantas con su entorno, e incluyen la interacción planta-planta, planta-insectos y planta-microorganismos.

Dependiendo del tipo de interacción o información a transmitir, muchos de estos metabolitos son sintetizados desde los primeros estadios de crecimiento (defensa constitutiva), como en el caso de las interacciones planta-planta de la misma especie, o por el contrario, estos pueden ser sintetizados por estímulos externos, como la presencia de herbívoros, que se traducen en una alarma metabólica que disparan o catalizan sus rutas biosintéticas (defensa traducida) (Tallamy y Raupp, 1991).

Bensch (2000), se refiere a la alelopatía como al daño, directo o indirecto o a los efectos benéficos que una planta o un microorganismo puede ejercer sobre el desarrollo de otras plantas que crecen en su proximidad. No obstante, Wu *et al.* (1999) indican que la mayoría del efecto

alelopático es inhibitorio de alguna etapa del desarrollo de las plantas. Sin embargo es necesario puntualizar que muchas sustancias con actividad alelopática tienen efecto benéfico a muy bajas concentraciones y superando un determinado umbral, actúan negativamente sobre la planta receptora (Sampietro, 2003).

Según Espinoza-García (2001), 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. Esto condujo a ciertos autores a ampliar el alcance de la alelopatía. Es así como Sampietro (2003), propuso una designación específica para los diferentes agentes alelopáticos basada en el tipo de planta productora de los mismos y el tipo de planta receptora. Sin embargo no tuvo amplia aceptación, ya que esto sería consecuencia de que frecuentemente la fuente emisora de un compuesto alelopático no se conoce a priori con claridad. Por ejemplo, compuestos liberados por plantas superiores pueden ser alterados por microorganismos en el suelo antes de que ejerzan su acción sobre la planta receptora. A su vez, es difícil establecer la fuente de producción de un compuesto aislado en el medio edáfico. También la terminología sugerida no permite aclarar el rol de “a” sustancia con actividad biológica “c”, cuando esta tiene múltiples funciones afectando varios organismos (Inostroza, 2006).

Los síntomas producidos en una planta receptora por los aleloquímicos son: reducción de la germinación, menor vigor en la plántula, radículas con escaso desarrollo, amarillamiento de hojas y muerte de plántulas. Diversos autores señalan que el efecto de estos compuestos es más pronunciado en el crecimiento de la radícula que sobre la o el crecimiento de brotes, lo que evidencia en una reducción en la relación raíz:brote (Blanco, 2006).

A partir de la definición de alelopatía, es posible extraer tres rasgos imprescindibles a ser tomados en cuenta al estudiar la existencia este fenómeno: a) la liberación de un compuesto al ambiente encargado de transmitir un efecto, b) la absorción por el organismo receptor y c) 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).

2.2. Condiciones para considerar la interacción como alelopática.

Por mucho tiempo se confundieron los términos de alelopátia y competencia (Sampietro, 2003). La competencia entre plantas consiste en la eliminación o reducción de algún factor del ambiente (agua, minerales, nutrientes y luz.), debido a su utilización por un individuo de especie vegetal que es requerido también por otra planta que comparte el mismo hábitat. Mientras que la alelopátia implica la liberación de compuestos químicos que ocasionan un efecto sobre otra. Estos conceptos son diferentes entre sí, pero desde el punto de vista eco-fisiológico se pueden considerar estrechamente ligados y complementarios en su efecto (Rice, 1974). Para evitar confusiones se utiliza el termino interferencia, para designar al efecto total de una planta sobre otra, es decir, la suma de efectos debido a los fenómenos de competencia y alelopátia (Blanco, 2006).

Duke *et al.* (1997), mencionan que es necesario establecer cuatro condiciones para que una interacción pueda considerarse como alelopátia, según los postulados de Koch:

- a) Identificar y cuantificar los síntomas de interacción, excluyendo la posibilidad del fenómeno de competencia.

- b) Aislar, identificar, ensayar, caracterizar y sintetizar los aleloquímicos.

c) Los síntomas de interferencia previamente diagnosticados, deben ser repetidos por la aplicación de toxinas a dosis presentes en la naturaleza.

d) La liberación de las toxinas, su movimiento y captación por parte de la planta receptora debe ser monitoreada y demostrar que la dosis es suficiente para explicar la interferencia observada.

Según datos bibliográficos, no existen antecedentes donde todos estos requerimientos sean satisfechos, sobre todo los referentes a la absorción del aleloquímico por la especie receptora. La gran mayoría de los estudios llevados a cabo están dirigidos al aislamiento, identificación y síntesis de agentes aleloquímicos, midiendo su actividad mediante bioensayos estrictamente diseñados y optimizados para probar la hipótesis de la naturaleza de su potencial alelopático (Inderjit y Nilsen, 2003).

Según Anaya *et al.* (2001), la determinación de propiedades alelopáticas en plantas se evalúa en primera instancia a nivel de campo o por antecedentes bibliográficos. Luego continúa una fase experimental en donde se verifican las propiedades alelopáticas sobre otras plantas. Finalmente, confirmadas estas propiedades, se produce la identificación del compuesto. Ésta última etapa es de alta complejidad, ya que presenta un alto costo, toma tiempo efectuarla y no siempre se llega a determinar que aleloquímico o aleloquímicos están actuando.

2.3. Aleloquímicos o compuestos alelopáticos.

Se ha definido como aleloquímicos o compuestos alelopáticos a aquellos metabolitos secundarios que alteran las relaciones entre las plantas en la naturaleza, pudiendo ser sus efectos modificados por microorganismos en el suelo (Ilori e Ilori, 2012).

Según Maharaj y Prabhakaran (2013), Desde un punto de vista más general, el término aleloquímico incluye a:

- a) Productos bioquímicos de plantas que ejercen su acción fisiológica/toxicológica en una planta (alelopatía, auto-toxicidad o fitotoxicidad).
- b) Productos bioquímicos de plantas que ejercen su acción fisiológica/toxicología sobre los microorganismos.
- c) Sustancias bioquímicas microbianas que ejercen su acción fisiológica/toxicológicos sobre las plantas.

Diferentes partes de la planta, incluyendo flores, hojas, tallo, lixiviados del suelo y sus compuestos derivados, pueden tener actividad alelopática que varía dependiendo del estado fenológico de ésta. Los compuestos alelopáticos también pueden permanecer en el suelo, lo que afecta tanto a las plantas vecinas como las plantas en sucesión (Noor *et al.*, 2012).

Duke (2003), enfatizan que el término “aleloquímico” se relaciona con el papel que un compuesto desempeña en una situación dada y no con la identidad química de dicho compuesto. Por lo tanto, para considerar un compuesto químico como un agente alelopático, debe analizarse: la forma en que es liberado al ambiente, su acción fitotóxica, su concentración bioactiva, su persistencia y su destino en el ambiente. Por otro lado, las características alelopáticas de determinadas especies o cultivos pueden ser consideradas como un rasgo genético que incrementa la capacidad competitiva de dichas especies (Olofsdotter, 2001).

El entendimiento de los componentes genéticos, fisiológicos y ecológicos de este mecanismo químico natural tienen una importancia creciente en la investigación científica. Actualmente hay opiniones contrapuestas acerca del potencial alelopático de diferentes

compuestos químicos liberados por las plantas, debido a que numerosos investigadores coinciden en que es difícil documentar pruebas de esta actividad en condiciones de campo (Inderjit y Nilsen, 2003).

La cantidad y calidad de aleloquímicos liberados al medio por la planta varía de acuerdo a factores internos y externos del vegetal (Ilori e Ilori, 2012). Entre los internos se incluye a las especies, características morfo-fisiológicas, desordenes fisiológicos y estado nutricional de las raíces. Los externos están regulados por factores ambientales abióticos como luz, intensidad y duración de la lluvia y periodo de sequía, temperatura, humedad, nutrientes y microorganismos del suelo (El-Khawas y Shehata, 2005).

2.3.1. Función de los aleloquímicos en la naturaleza. Los aleloquímicos cumplen básicamente con la función de protección o defensa, ya sea sobre el ataque de patógenos, inhibiendo el ataque de patógenos, inhibiendo o favoreciendo el desarrollo de estos, actuando como repelente o atrayente de insectos y reduciendo la competencia de otras plantas (Anaya *et al.*, 2001). Pudiendo actuar como mensajeros en interacciones planta-insecto. Además tienen un rol importante en los mecanismos adaptativos de las plantas y dentro de la co-evolución de los insectos (Anaya *et al.*, 2001).

2.3.2. Biosíntesis. Sampietro (2003), indica que la mayoría de los agentes alelopáticos son metabolitos secundarios derivados de las rutas del acetato-mevalonato o del ácido shikímico (Figura 1). 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 floroglucinol. 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 en cuya síntesis participan metabolitos de las dos rutas (ejemplo: flavonoides). 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. Es importante tener presente que no siempre los detalles de la biosíntesis de estos compuestos son conocidos.

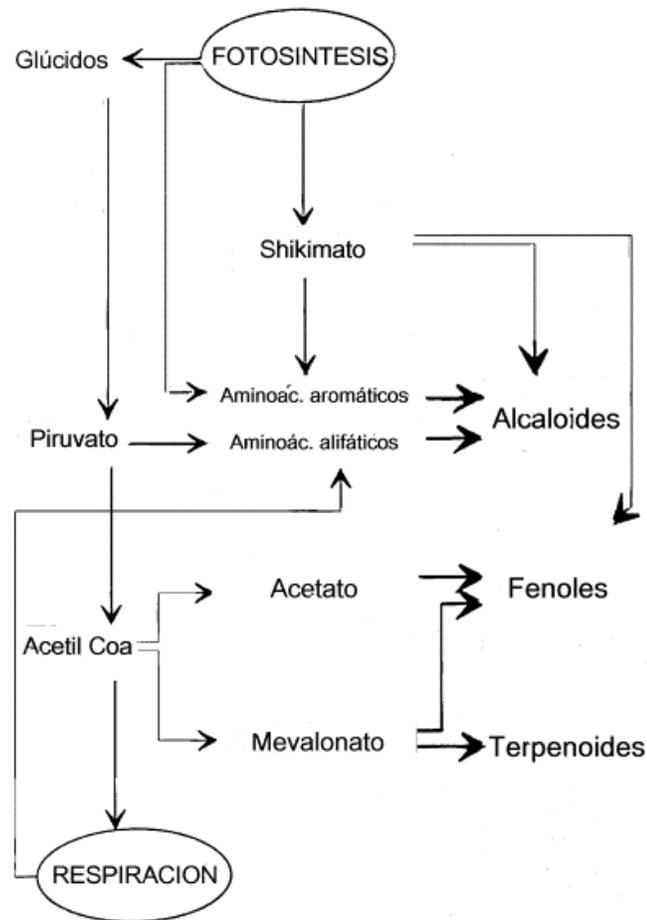


Figura 1. Rutas de biosíntesis de los principales aleloquímicos. (Fuente: Sampietro, 2003)

2.3.3 Naturaleza química. Los agentes alelopáticos conocidos han sido aislados de las plantas y el suelo. A medida que progresan las investigaciones en el tema se incorporan nuevos grupos de sustancias (Landaverde, 2012).

Sampietro (2003) y Weinert (2005) agruparon los aleloquímicos en los siguientes grupos:

a) Compuestos aromáticos. Estos comprenden la más extensa cantidad de agentes alelopáticos. Incluye fenoles, derivados del ácido benzoico, derivados del ácido cinámico, quinonas, cumarinas, flavonoides y taninos.

- Fenoles simples. Entre otros hidroxiquinonas y arbutina.

- Ácido cinámico y sus derivados. La mayoría de estos compuestos son derivados de la ruta metabólica del ácido shikímico, 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, siendo reportados incluso como inhibidores de la germinación.

- Ácido benzoico y sus derivados. Destacan los ácidos hidroxibenzoico y vainílico.

- Taninos. Los taninos, tanto los hidrolizables como los condensados, tienen efecto inhibitorio debido a su capacidad para unirse a proteínas. Taninos hidrolizables comunes tales como los ácidos gálico, elágico, trigálico, tetragálico y quebúlico están ampliamente distribuidos en el reino vegetal.

- Cumarinas. Destacan escopolina, escopoletina y furanocumarinas.

- Flavonoides. Tales como floridzina y sus productos de degradación (glicósidos de quempferol, quercetina y myrcetina).

- Quinonas y derivados. Varias de las quinonas y sus derivados provienen de la ruta metabólica del ácido shikímico.

b) Compuestos alifáticos. Comprenden varios ácidos (oxálico, crotonico, fórmico, butírico, acético, láctico y succínico) y alcoholes (tales como metanol, etanol, *n*-propanol y butanol) solubles en agua, comúnmente presentes en plantas y suelo.

c) Lactonas no saturadas. Destacan la psilotina, psilotinina y protoanemonina como poderosos inhibidores de crecimiento, aunque el rol en alelopatía no se conoce completamente.

d) Lípidos y ácidos grasos. Se pueden citar entre otros los ácidos linoléico, mirístico, palmítico, láurico e hidroxisteárico, inhibidores del crecimiento vegetal. Sin embargo, su rol en alelopatía no está completamente investigado.

e) 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 a cianhídrico e hidroxibenzaldehído. Este último al oxidarse origina el ácido *p*-hidroxibenzoico, el cual posee por sí mismo actividad alelopática.

f) Terpenoides. Frecuentemente estas sustancias se aislaron de plantas que crecen en zonas áridas y semiáridas. 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. Entre los terpenoides el alcanfor, α y β pineno, 1,8-cineol y dipenteno, son conocidos por su potencial alelopático contra malezas y plantas de cultivo.

g) Alcaloides. Pocos alcaloides se conocen con actividad alelopática. Algunos como la cocaína, cafeína, cinconina, fisostigmina, quinina, cinconidina y estricnina son reconocidos inhibidores de la germinación.

2.3.4. Mecanismos de liberación. Las plantas superiores liberan regularmente compuestos orgánicos por exudación de las raíces, lixiviación de las plantas por la lluvia, rocío, o niebla, la descomposición de residuos y volatilización llevada a cabo principalmente (Lam *et al.*, 2012). Los mecanismos de liberación de los aleloquímicos se pueden ver en la Figura 2.

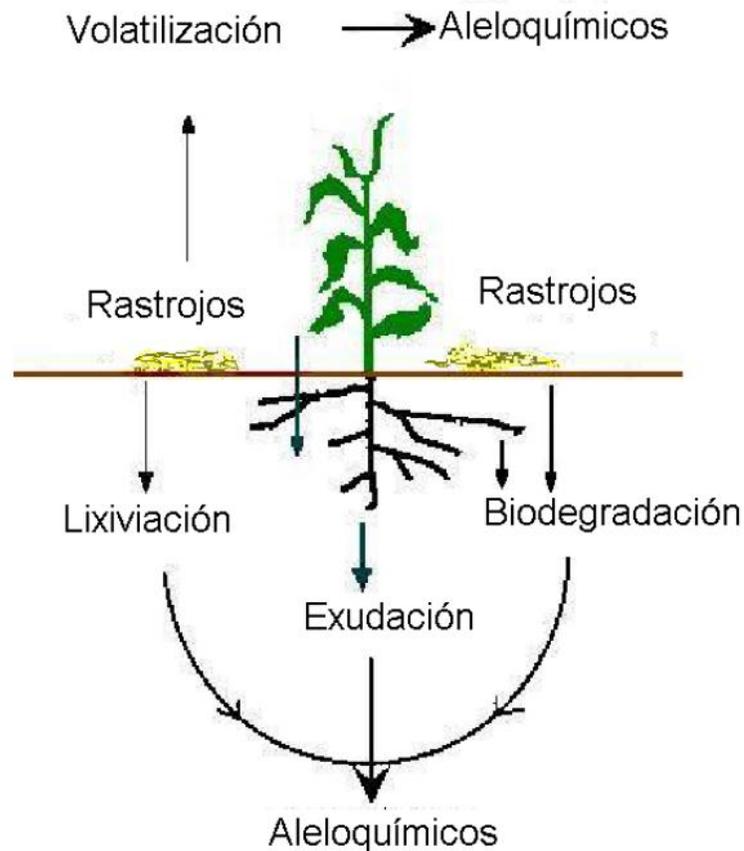


Figura 2. Vías de liberación de los agentes alelopáticos al entorno. (Fuente: Sampietro, 2003)

Hay toda una variedad de agentes alelopáticos que se sintetizan y almacenan en diferentes células de la planta, ya sea en forma libre o conjugada con otras moléculas, y que son liberados al entorno como respuesta a factores de estrés biótico y abiótico (Calle, 2010).

Chou (1999), señala que la cantidad de aleloquímicos liberados por una planta es significativamente mayor cuando la planta crece en situaciones adversas, en relación a lo producido por una planta que se ha desarrollado bajo condiciones normales.

a) Volatilización: La volatilización ocurre principalmente en las hojas, flores y frutos. Los metabolitos secundarios que se volatilizan pueden ser directamente de la atmósfera por las plantas vecinas o retenidos por las partículas del suelo donde afectan a las raíces de las plantas por contacto directo o a través de la solución del suelo (Rios, 2010).

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización se produce en plantas que producen etileno y aceites esenciales volátiles, los cuales están constituidos fundamentalmente por terpenoides (Calle, 2010).

La toxicidad de los compuestos volátiles es prolongada debido a las partículas del suelo, lo cual les permite permanecer varios meses en él. En ecosistemas desérticos y mediterráneos, la liberación de compuestos alelopáticos a través de volatilización es un mecanismo frecuente debido al predominio de altas temperaturas e influencia de la distribución de las especies vegetales (Sampietro, 2003).

b) Lixiviación: La lixiviación es la extracción acuosa de sustancias presentes en la planta por efecto de la lluvia, nieve, niebla o rocío. Su efectividad depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y naturaleza de la precipitación (Calle, 2010).

Los compuestos químicos que pueden liberarse por medio de la lixiviación, pertenecen a diversos grupos químicos. Por ejemplo, diversos aleloquímicos como alcaloides, ácidos orgánicos, fenoles, terpenos, etc., y otros compuestos no implicados en alelopatía como azúcares libres, aminoácidos y vitaminas. Los aleloquímicos más comúnmente identificados han sido los fenoles (Anaya *et al.*, 2001).

c) Exudación: La reducción del rendimiento observada en algunos cultivos tradicionales se ha atribuido a toxinas liberadas por otros cultivos y malezas asociadas. 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. Factores como la edad del vegetal, la nutrición, la luz y la humedad influyen tanto cualitativamente como cuantitativamente en la liberación de sustancias por las raíces. El efecto de los exudados radiculares ha sido extensamente estudiado por el efecto que tiene sobre las propiedades del suelo, tanto la presencia del exudado en sí, como las modificaciones microbianas causadas por este exudado (Calle, 2010).

d) Descomposición de residuos vegetales: Este proceso realizado por microorganismos del suelo es esencial para el reciclaje de nutrientes en el ecosistema debido a que es el proceso que aporta la mayor parte de aleloquímicos a la rizosfera. Las variables más importantes de este proceso son la naturaleza de los residuos vegetales, el tipo de suelo y las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la descomposición. El hecho de que haya una dinámica de este tipo no quiere decir que todas las sustancias serán transformadas o neutralizadas; existe la posibilidad de que la toxicidad permanezca a medida que se formen nuevos productos tóxicos durante las continuas y diversas transformaciones de la materia orgánica, de exudados o lixiviados de raíces y partes aéreas de las plantas (Anaya, 2003).

Los residuos en descomposición de las plantas liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. Los factores que influyen en la naturaleza de los compuestos incluyen la composición del residuo, el tipo de suelo y las condiciones de descomposición, siendo los compuestos solubles en agua los que más rápidamente pueden ser liberados (Calle, 2010)

2.3.5. Mecanismos de acción. Debido a la diversidad de la naturaleza química de los agentes alelopáticos, no se conoce un mecanismo de acción único que explique la manera en que éstos afecta a la planta receptora (Anaya *et al.*, 2001). Por lo tanto para que un efecto alelopático se manifieste, debe haber un mecanismo en la planta que permita que las toxinas sean liberadas

hacia el medio ambiente, luego concentradas y retenidas en un lugar donde actúan y finalmente absorbidas por las especies que van a ser inhibidas o dañadas (Sampietro, 2003).

Los aleloquímicos de la planta donadora según Putnam y Tang (1986), pueden interferir directa e indirectamente con los procesos metabólicos de la planta receptora.

2.3.5.1. Efectos directos. La actividad biológica de los aleloquímicos que actúan de forma directa va a depender de su naturaleza química, de su concentración, de la sensibilidad de la planta receptora, del proceso metabólico implicado y de las condiciones ambientales (Calle, 2010).

Aunque se reconoce que muchos aleloquímicos tienen más efectos tóxicos sobre la germinación de las semillas que en el desarrollo y viabilidad de la planta adulta, se han reportado diferentes efectos de los aleloquímicos en las plantas. Esta interferencia en los procesos metabólicos es diversa, lo cual implica una gran variedad de modos de acción de los aleloquímicos (Morrison y Boyd, 1998).

Cuando el efecto de un compuesto alelopático producido por una planta se manifiesta, por ejemplo, a través de la inhibición del crecimiento radicular, esto significa que se está afectando de manera específica a diversos órganos celulares relacionados con el funcionamiento de mitocondrias (respiración), cloroplastos (fotosíntesis), meristemos primarios y secundarios (división y elongación celular), propiedades de las membranas, cinética enzimática, síntesis de proteínas, estructura cromosómica, reproducción expresión genética, etc. (Anaya, 2003).

a) Efectos primarios.

- Cloroplastos (fotosíntesis): Los efectos alelopáticos sobre la fotosíntesis han sido principalmente en cuanto a una reducir del contenido de clorofila, cierre estomático y la

subsecuente reducción en la provisión de CO₂, vital para la producción de fotosintatos (Ilori e Ilori, 2012).

- Mitocondria (Interrupción de respiración y síntesis de ATP): Se ha sugerido que uno de los mecanismos de inhibición de la germinación puede ocurrir por interrupción de la respiración mitocondrial. Esta es a menudo, considerada un proceso de tres fases iniciado con la glucólisis, en la cual la glucosa es degradada hasta piruvato, compuesto que ingresa al ciclo de Krebs para generar CO₂ y NADH. Finalmente, la fosforilación oxidativa y el transporte de electrones ocurre utilizando el NADH generado durante el ciclo de Krebs produciendo una gran cantidad de ATP. Ahora bien, durante la germinación de las semillas hay un rápido incremento en la actividad glucolítica vinculada al incremento del ritmo de la respiración, esta actividad es necesaria para movilizar los carbohidratos almacenados para proveer la semilla de poder reductor, ATP y productos carbonados necesarios para la biosíntesis de raíces y partes aéreas de las emergentes plántulas (Morrison y Boyd, 1998).

- Efectos sobre la actividad enzimática: Muchos aleloquímicos modifican 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, provocando un incremento en ésta última cuando se encuentran en bajas concentraciones o reduciendo su actividad a concentraciones mayores (Sampietro, 2003).

- Alteración hormonal. Los compuestos fenólicos pueden reducir o incrementar la concentración de Ácido Indol Acético (AIA), una fitohormona del grupo de las auxinas. Monofenoles tales como los ácidos *p*-hidroxibenzoico, vainílico, *p*-cumárico y siríngico reducen la disponibilidad de AIA promoviendo su decarboxilación. En contraste, muchos di y polifenoles (p. ej. los ácidos clorogénico, cafeico, ferúlico y protocatéuico) sinergizan el crecimiento inducido por AIA suprimiendo la degradación de la hormona. Estos resultados sugirieron que existiría un control en los niveles de AIA a través del balance entre mono y polifenoles. La enzima polifenoloxidasas, actúa sintetizando polifenoles a partir de fenoles simples. Su actividad

regularía por tanto la destrucción y preservación de la auxina. 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 a membrana (Sampietro, 2003).

- Efecto 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 la estructura y permeabilidad de las mismas (Sampietro, 2003). Harper y Balke (1981) descubrieron compuestos fenólicos que aumentaron el flujo de K^+ de los tejidos de las raíces; el sitio de acción inicial es plasmalema; a bajo pH este y el tonoplasto causan pérdidas masivas de K^+ .

b) Efectos secundarios.

- Interferencia en la germinación. Putnam (1985) identificó un mecanismo por el cual se cree que las plantas enfrentan las enfermedades mediante la producción de inhibidores que evitan la acción de las enzimas exudadas por el organismo causal; también reporta la presencia de inhibidores de la germinación en fruto y semillas que incluyen compuestos fenólicos, flavonoides o sus glucósidos, así como taninos.

- Interferencia en el crecimiento de la planta. Los Aleloquímicos podrían inhibir el alargamiento de la raíz de la planta receptora de dichos compuestos, la división celular, el cambio de células a nivel estructural, y por lo tanto afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ilori e Ilori, 2012).

2.3.5.2 Efectos indirectos. Incluye los efectos ocasionados por la alteración de propiedades del suelo, del estado nutricional y de la actividad de poblaciones de organismos benéficos (Zamorano, 2006). Los efectos pueden manifestarse de manera indirecta, a través de un aumento

en la susceptibilidad a ciertas enfermedades en la planta receptora, o bien de una inhibición de algunos microorganismos cuya relación con la planta sea vital (Calle, 2010).

Las plantas con potencial alelopático indirecto contra otros organismos inducen cambios netos en el ecosistema que pueden impactar a las comunidades vegetales a largo plazo. Los metabolitos secundarios son depositados en el suelo a través de exudación o deposición del material vegetal, proporcionando una rica fuente de Carbono que es utilizada por las poblaciones microbianas del suelo. La composición de estos metabolitos influye en la diversidad de estos microbios en la rizosfera y afecta potencialmente las plantas con quienes ellos interactúan (Morrison y Boyd, 1998).

- Efectos en la toma de nutrientes: Según Putnam (1985), hay una evidencia considerable sobre el efecto de los compuestos alelopáticos en la toma de iones como el potasio por parte de las plantas.

- Efectos sobre otras poblaciones: el efecto sobre la actividad de una población benéfica o perjudicial, como microorganismos, insectos o nematodos, ha sido poco estudiado (Zamorano, 2006).

2.3.6. Influencia de factores bióticos y abióticos en los aleloquímicos. Einhellig (1996), señala que el crecimiento y desarrollo de una planta está influenciado por una serie de factores bióticos y abióticos que usualmente pueden disminuir la producción óptima del cultivo. Los aleloquímicos producidos y liberados por algunas plantas y microorganismos son tan solo uno de los diversos componentes de estrés que puede influir en el crecimiento de las plantas. Además menciona que factores como la temperatura, agua, disponibilidad de nutrientes, y densidad de plantas puede modificar significativamente la respuesta de la planta a las sustancias aleloquímicas (Figura 3).

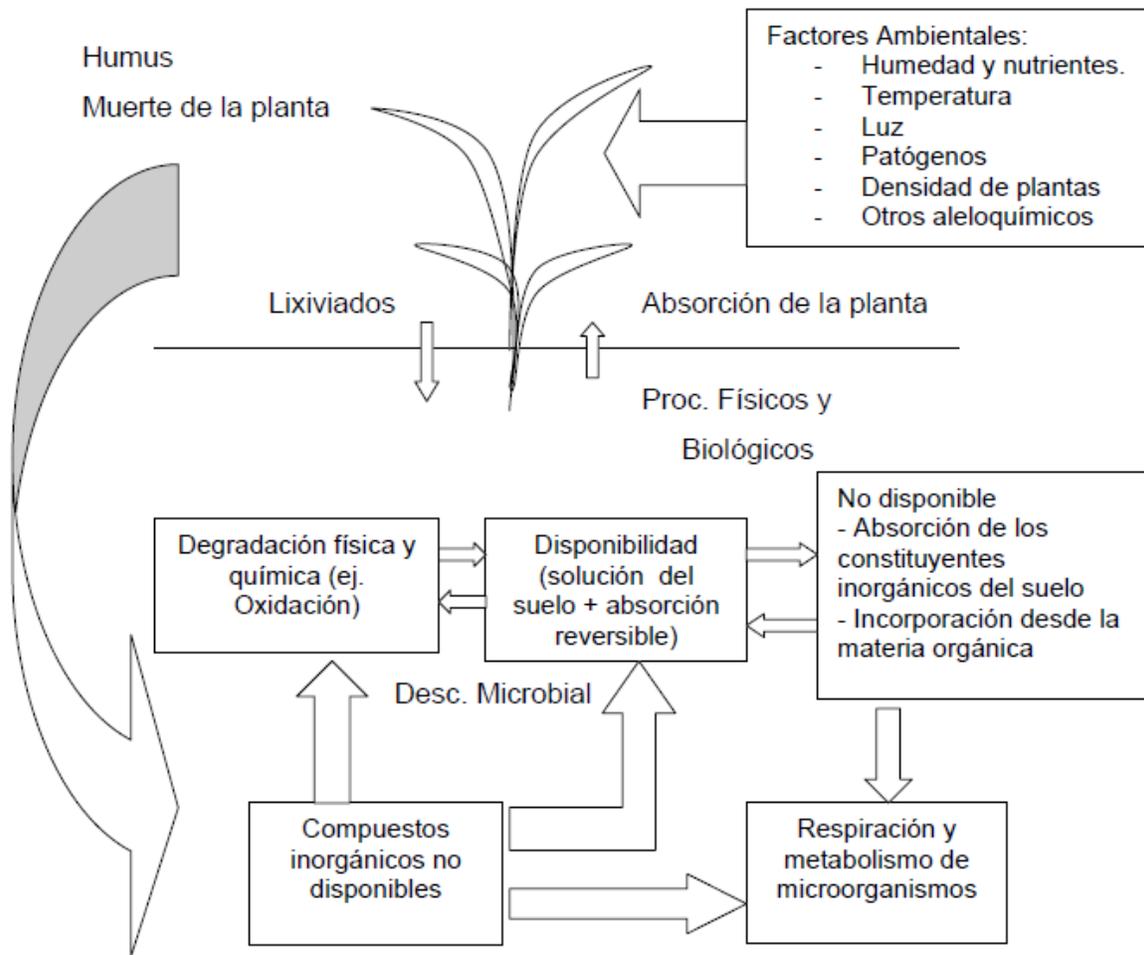


Figura 3. Factores bióticos y abióticos que influyen en la respuesta de la planta a los aleloquímicos (fuente: Weidenhamer, 1996).

Torres (2009), señala que los aleloquímicos constantemente ingresan y son removidos desde la solución del suelo. Existen diversas vías para la remoción de aleloquímicos del suelo, dentro de ellas se pueden mencionar la lixiviación, procesos químicos, microorganismos degradadores, y absorción por la planta. Además las sustancias aleloquímicas pueden quedar en forma no disponible dentro de la materia orgánica y las arcillas del suelo. De este modo, es probable que la toxicidad de los aleloquímicos sea función de la concentración (disponibilidad estática en un punto dado en el tiempo) y de la velocidad del flujo (disponibilidad dinámica

basada en la cantidad total de movimiento químico dentro y fuera del sistema en un periodo de tiempo).

2.3.6.1. Factores bióticos. La respuesta de las plantas a los aleloquímicos depende en gran medida de factores bióticos, dentro de los cuales los de mayor importancia son las enfermedades producidas por algunos patógenos e insectos. La infección de patógenos invariablemente deja al descubierto un incremento interno de aleloquímicos. La adición de toxinas y la interacción biológica implica un daño desde el patógeno a la planta. La infección patógena puede ser estimulada por aleloquímicos que difunden al interior de la planta huésped; alternativamente, los aleloquímicos microbiales (antibióticos) pueden limitar el desarrollo de organismos causantes de enfermedades. Los insectos pueden producir cambios metabólicos en la planta, incluyendo reubicación del carbono para síntesis de compuestos de defensa (Einhellig, 1996).

2.3.6.2. Factores abióticos. Dentro de estos factores, los de mayor importancia son la disponibilidad de nutrientes, la temperatura, la humedad y la irradiación. Estos interactúan estimulando o inhibiendo la liberación de aleloquímicos al medio ambiente (Torres, 2009).

Según Einhellig (1996), el déficit de humedad ya sea inducido por osmosis o por sequedad del suelo, ha sido reportado como estimulador del incremento de ácido clorhídrico, fenoles totales, monoterpenos, y ácido hidroxámico.

3. ALELOPATÍA EN LA AGRICULTURA

Actualmente, la demanda de productos ecológicos en el mundo está aumentando. La superficie dedicada a cultivos orgánicos es más de veinticuatro millones de hectáreas distribuidas en cien países, así también, el mercado mundial está priorizando aquellos alimentos de origen orgánico. Es por ello, que las investigaciones están enfocadas en encontrar un manejo de cultivos agrícolas ecológico y natural, dirigidos a disminuir el impacto de malezas, plagas y microorganismos en los cultivos (Jamil *et al.*, 2009).

Durante muchos años, los estudios sobre alelopatía fueron llevados a cabo principalmente por botánicos, dirigiendo sus estudios en función de tres directrices: a) estudiar la práctica del uso del desecho de cosechas en coberturas, b) rotación de cultivos o intercosechas, y c) estudiar el efecto de extractos de plantas con propiedades alelopáticas en el rendimiento de cosechas (Oliveros-Bastidas, 2008).

3.1. Utilización de la alelopatía en el manejo de malezas.

Alelopatía es un fenómeno que ocurre de manera natural en los ecosistemas agrícolas y ha recibido una enorme consideración en los últimos años como posible alternativa para el control de malezas (Cheema *et al.*, 2011).

An *et al.* (2000), simularon el fenómeno alelopático causado por la descomposición de residuos de las plantas. Sus análisis teóricos revelan que la descomposición de estos residuos puede inhibir o estimular el crecimiento de las plantas, y esta inhibición puede estar confinada a un periodo limitado. La mayor inhibición de los residuos de las plantas ocurre en estados tempranos de descomposición del residuo, en estados tardíos declina la inhibición y emerge la

estimulación. La inhibición y períodos estimulantes pueden ser manipulados a través de una amplia variedad de manejos.

Wu *et al.* (1999), indican que las investigaciones en el área están orientadas a la búsqueda de germoplasma de cultivos con potencial alelopático, genética de la actividad alelopática y creación de nuevos genotipos de especies de interés comercial que presenten esta característica.

Mohammadi (2013), señala las maneras por las cuales la alelopatía se puede ser utilizada para controlar las malezas en los sistemas de cultivo. En general, el uso de la alelopatía como una herramienta para controlar las malezas se puede lograr de diferentes maneras: a) El uso de variedades de cultivos con propiedades alelopáticas; b) Aplicación de los residuos y la paja de los cultivos alelopáticos como mulch o incorporados al suelo; c) El uso de un cultivo alelopático en una secuencia de rotación; d) Aplicación de aleloquímicos o aleloquímicos modificados como herbicidas. e) Modificación de los cultivos para mejorar sus efectos alelopáticos.

3.2. Alelopatía en cereales

El interés en los cultivos de cereales con mayor capacidad de supresión de malezas está creciendo, en respuesta a la evolución y la rápida expansión de poblaciones de malezas resistentes a los herbicidas, las preocupaciones ambientales y las necesidades insatisfechas de los productores orgánicos (Worthington y Reberg-Horton, 2013).

El potencial alelopático de Triticale fue evaluado por Cortéz (2003), el autor encontró diferencias significativas entre los cultivares de Triticale, Antuco, Calbuco y Tolhuaca, los que ejercieron efecto inhibitorio sobre algunos parámetros de crecimiento de *Lolium rigidum* Gaud. y *Rapano saphainstrum*.

Overland (1966, citado por Sampietro 2003), verificó que los extractos acuosos de semillas y raíces de *Secale cereale* L. (cultivo con acción competidora sobre malezas) tenían efectos inhibitorios sobre la germinación de *Stellaria media* y *Capsilla bursa*, sin afectar el cultivo del trigo. También observó que los extractos de raíces vivas eran más efectivas que las muertas, lo que indicaba una secreción metabólica de sustancias alelopáticas.

Según Jiménez *et al.* (1987, citado por An *et al.*, 2000), las malezas en los sistemas de cultivos son frecuentemente consideradas perjudiciales. Sin embargo, la interacción entre malezas y cultivos puede ser positiva. En un estudio donde las cantidades controladas de *Brassica campestris* fueron ínter plantadas con *Brassica oleracea* var. Premium crop, se incrementó la cosecha en un 50%, comparada con una siembra solo de *B. oleracea*.

4. EFECTO ALELOPÁTICO DEL TRIGO EN EL CONTROL DE MALEZAS

4.1. Antecedentes generales del Trigo

Planta gramínea anual, como los demás cereales, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. Actualmente, los trigos duros o cristalinos se clasifican botánicamente como *Triticum turgidum*, subespecie durum, y los harineros como *T. aestivum*, subespecie vulgaris. Se cree que se ha cultivado desde hace más de 9.000 años, algunos autores piensan que surgió en el valle del Río Nilo. El trigo se introdujo a América cuando inmigrantes rusos lo trajeron a Kansas en 1873 (Morales, 2006).

El trigo se cultiva en todo el mundo, desde los límites del Ártico hasta cerca del Ecuador, aunque la cosecha es más productiva entre los 30 y 600 de latitud Norte y entre 27 y 400 de latitud Sur. Las altitudes varían desde el nivel del mar a los 3.050 m en Kenya y 4.572 m en el Tíbet. El mejor cultivo del trigo se consigue en terreno con textura arcillosa, aunque el rendimiento es satisfactorio en terrenos más ligeros. El incremento de cosecha, compensa el fuerte abonado nitrogenado. El trigo prospera en climas sub-tropicales, moderadamente templados y moderadamente fríos, lo más apropiado es una pluviosidad anual de 229-762 mm, más abundante en primavera que en verano; la temperatura media en verano debe ser de 13 °C o más (Garza, 2003).

La antigüedad de este cultivo en Chile es de sólo 466 años ya que se introdujo al país con la llegada de los conquistadores españoles en el siglo XVI, junto a otros cereales en el año 1.540 y desde entonces se ha venido convirtiendo en el cultivo anual con más presencia, esto a causa de la buena adaptación que encontró el cereal en la zona central de Chile (Mellado, 2007).

El trigo es el componente básico de la dieta humana. Es uno de los cereales de mayor importancia mundial (Khan *et al.*, 2012).

En el informe entregado por el USDA en el mes de enero del 2013, se proyecta una baja de 42,1 millones de toneladas (6%) en la producción mundial de trigo en relación a la temporada anterior. Esto se explica principalmente por una disminución en la producción de Rusia (18,5 millones de toneladas), Kazajstán (12,2 millones de toneladas), Australia (7,9 millones de toneladas), Ucrania (6,6 millones de toneladas) y la Unión Europea (5,5 millones de toneladas). También se observa una baja en el consumo, proyectándose un total de 673,5 millones de toneladas (3,6% menos que en el año anterior) (ODEPA, 2013b).

Según la segunda encuesta de intenciones de siembra, publicada por el INE en octubre, la superficie con trigo en la temporada 2012/13 es de 245.277 Ha., cifra similar a la sembrada en 2011/12 (ODEPA, 2013a).

En la Región de La Araucanía, en la temporada 2011/12 se registró un total de 106.791 Ha., sembradas con trigo, lo que corresponde al 43,5% de la producción nacional (ODEPA, 2013b).

Los cultivares de trigo más utilizados en la IX región corresponden a Dalcahue, Tukan y Bingo. El cultivar Dalcahue es de hábito de desarrollo primaveral, semi-tardío, con una altura de 90 a 110 cm, resistente al desgrane y moderadamente resistente a roya estriada. Tukan es un cultivar de hábito de desarrollo invernal, con una altura de 105 – 115 cm, presenta un crecimiento rastrero, es precoz, resistente a la tendadura y desgrane; moderadamente resistente a roya estriada y oídio. Bingo es de hábito de desarrollo alternativo, siembra temprana y alto rendimiento, crecimiento rastrero, con una altura de 120 cm, resistente a la tendadura, resistente a Polvillo estriado y Septoria (Sandoval, 2006).

4.2. Trigo como un cultivo alelopático.

El trigo ha sido ampliamente estudiado por su potencial alelopático, el cual ha surgido como una alternativa a los herbicidas sintéticos para el control de malezas en los cultivos extensivos (Jamil *et al.*, 2009).

El Trigo (*Triticum* spp.) es uno de los cereales que tiene un papel importante en la producción agrícola. Por ello, para garantizar el rendimiento final del trigo se aplican grandes volúmenes de herbicidas y pesticidas, siendo éstos, compuestos que además de provocar la contaminación ambiental ocasionan grandes peligros ecológicos (Zhang *et al.*, 2011).

El potencial alelopático del trigo ha sido ampliamente estudiado. Si la actividad alelopática de trigo, o sus compuestos de aleloquímicos funcionales se pudiesen utilizar racionalmente en la agricultura, esto sería de gran importancia, ya sea para el control de las malezas y las plagas, sin ocasionar una contaminación secundaria (Ferrero y Tesio, 2010). Además Zuo *et al.* (2012), agrega que la actividad alelopática del trigo podría inhibir la infestación por patógenos nocivos, afectar el crecimiento de otros cultivos, posiblemente por un efecto de auto-tóxicidad mediante la exudación o liberación de metabolitos secundarios por las plantas vivas o muertas destacando que la actividad de las sustancias alelopáticas del trigo difiere dependiendo de la variedad.

Tanto la planta como los residuos, pueden ser aprovechados para el manejo de malezas; no obstante, también se han identificado impactos negativos de auto-toxicidad del trigo en los sistemas de producción agrícolas cuando se retienen rastrojos de trigo en la superficie del suelo (Wu *et al.*, 2001a). El crecimiento de las plantas en una sembradura de trigo de invierno puede verse inhibido si las raíces se encuentran con residuos inmaduros de la cosecha anterior (Wuest *et al.*, 2000).

Diversas experiencias realizadas por McCalla y Dulley (1949), demuestran los efectos inhibitorios del mulch de paja de trigo sobre la germinación y crecimiento del maíz. Los autores sugieren que el efecto detrimental posiblemente sea el resultado de una acumulación de toxinas presentes en el material vegetal, más las generadas por microorganismos que profusamente se desarrollan en este tipo de situaciones.

Guenzi y Mc Calla, (1962); Guenzi y Norstadt, (1967), citados por Silva (2002), determinaron que los residuos de trigo afectan la germinación y crecimiento de plántulas de trigo. Comprueban también que la fitotoxicidad debida a la descomposición de dichos residuos, era manifiesta durante un cierto tiempo declinando luego, y que ese período era distinto para cada una de las especies estudiadas.

4.2.1. Aleloquímicos presentes en trigo. Uno de los primeros estudios realizados para la identificación de los aleloquímicos fueron llevados a cabo por Guenzi y McCalla, citados por Rice (1974); los autores identificaron y cuantificaron cinco ácidos fenólicos en residuos maduros de plantas de trigo. Estos cinco compuestos fueron ácido *p*-cumárico, ácido sirínico, ácido vanílico, ácido ferúlico, y ácido *p*-hidroxibenzoico. El ácido *p*-cumárico se presentó en una mayor concentración. Estos cinco ácidos han mostrado ser inhibidores del crecimiento de plántulas de trigo.

La producción de aleloquímicos por la planta es la determinante intrínseca para el efecto alelopático y es muy probable que las accesiones de los cultivos que contienen niveles más altos de dichos aleloquímicos posean una capacidad alelopática más poderosa (Niemeyer y Jerez, 1997). Los mismos autores consignan que el examen directo de los aleloquímicos entre accesiones ayudaría a explicar los resultados del examen biológico e indicaría el probable control genético de la producción aleloquímica diferencial entre los distintos cultivares de los cultivos.

Los ácidos hidroxámicos existen en las plantas intactas como glucósidos que, frente al daño de algún tejido del vegetal, son transformados en agluconas más tóxicas por una β -glucosidasa (Hofman y Hofmanova, 1969 citados por Cuevas *et al.*, 1992).

En extractos de trigo, la aglucona más activa y abundante es la 2,4-dihidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-one conocida como DIMBOA, mientras que su análogo 2,4-dihidroxi-1,4-benzoxazin-3(4H)-one (DIBOA) se encuentra en una proporción menor dentro de los cereales (Mathiassen *et al.*, 2004).

Los ácidos hidroxámicos parecen ser sintetizados a lo largo del período de vida de la planta, dos diferentes vías están comprometidas en la síntesis de DIMBOA, la primera a partir del lactamo metoxilado (Tipton *et al.*, 1973) y la segunda a partir del DIBOA (Zuñiga *et al.*, 1990).

Copaja *et al.* (1991), en un examen de 52 cultivares de *T. aestivum* y *T. durum* chilenos demostraron que los cultivares diferían en la producción de DIMBOA, fluctuando entre 1,4 y 10,9 mmol kg⁻¹ de peso fresco. Nicol *et al.* (1992), prolongaron el trabajo de análisis a una colección mundial de 47 cultivares de *Triticum*, principalmente *T. aestivum*, encontrando que el contenido de DIMBOA fluctuaba entre 0,99 a 8,07 mmol kg⁻¹ de peso fresco.

En un examen de 55 accesiones de 17 progenitores de trigo, Niemeyer (1988) encontró que DIMBOA era el más alto en el *T. speltoides* (16,0 mmol kg⁻¹ de peso fresco) y el más bajo en el *T. tauschii* (Coss.) Schmalh (0,21 mmol kg⁻¹ de peso fresco). Al respecto, el autor agrega que los altos niveles de DIMBOA en las accesiones de trigo podrían ser utilizados como referencia en los programas de mejoramiento de trigo para aumentar el potencial alelopático de este cultivo.

Los aleloquímicos se distribuyen diferencialmente en la planta de trigo. Normalmente las raíces contienen niveles de aleloquímicos mayores que los brotes. Las plántulas de trigo son

capaces de sintetizar y exudar compuestos fitotóxicos a través del sistema radical que pueden inhibir el crecimiento radicular de *L. rigidum* (Wu *et al.*, 2000b; Wu *et al.*, 2000c).

Según Wu *et al.* (2001a), se han identificado tres categorías principales de sustancias alelopáticas en el trigo, las que se han agrupado en ácidos fenólicos, ácidos hidroxámicos y ácidos grasos de cadena corta, todos solubles en agua y potencialmente lixiviables.

En trigo, así como en otros cereales y gramíneas silvestres, los ácidos hidroxámicos cíclicos son los aleloquímicos más abundantes (Niemeyer y Pérez, 1995). Estos ácidos hidroxámicos existen en las plantas intactas como glucósidos que, frente al daño de algún tejido del vegetal, son transformados en agluconas más tóxicas por una β -glucosidasa (Hofman y Hofmanova, 1969 citados por Cuevas *et al.*, 1992).

4.2.2. Tipos de aleloquímicos presentes en el trigo.

a) Ácidos hidroxámicos. Los ácidos cíclicos hidroxámicos, son una clase de alcaloides de importancia para la resistencia a plagas y enfermedades, y en el control de malezas. Su efecto sobre la planta modifica la afinidad de las auxinas a los receptores de la membrana (Wu *et al.*, 2001a).

La sustancia aleloquímica DIMBOA, se acumula diferencialmente en la planta de trigo, las raíces contienen mayor concentración que los brotes de la planta. La liberación de DIMBOA desde las raíces al medio solo es realizada por algunas variedades de trigo, alcanzando un 19% en un ensayo realizado por Wu *et al.* (2000c).

En los tejidos de la hoja, alrededor del 50% del ácido hidroxámico se presenta en los haces vasculares y no es detectado en la epidermis. Así, el otro 50% puede ser encontrado en las células parenquimáticas del mesófilo (Argandoña *et al.*, 1987).

Mogensen *et al.* (2004), también hicieron referencia al cambio de concentraciones de DIMBOA dentro de la planta de trigo, informando que éste varía según el estado de desarrollo trigo. En los estados de desarrollo inicial y final las concentraciones de éstos químicos fue más elevada que en un estado de desarrollo intermedio.

La alta concentración de ácido hidroxámico en plántulas jóvenes, es de particular importancia cuando éstas son más susceptibles al ataque de patógenos. El uso de variedades con alta concentración de ácido hidroxámico, puede servir para controlar en forma natural la población de áfidos durante el cultivo de cereales (Argandoña *et al.*, 1980).

Villagrasa *et al.* (2006), determinaron que las concentraciones de aleloquímicos encontrados en el follaje, raíces y semillas de diferentes variedades de trigo poseen niveles similares, sin embargo el tipo de metabolitos depende fuertemente del estado de crecimiento de la planta decayendo las concentraciones en plantas con mayor edad. Además determinaron diferencias entre las concentraciones de benzoxazinoides para cultivos convencionales y orgánicos, diferencias que fueron influenciados por los tipos de suelo y su historial de cultivos.

b) Ácidos fenólicos. De este grupo forman parte los siguientes ácidos: hidroxibenzoico, vanílico, *p*-cumárico, sirínico y ferúlico, los cuales han sido frecuentemente reportados. Los ácidos trans-felúrico y trans-*p*-cumárico han sido clasificados como ácidos dominantes (Wu *et al.*, 2001a). A nivel biológico, el efecto de éstos ácidos sobre las plantas inhibidas provoca un desbalance hormonal, afecta la absorción de nutrientes, permeabilidad de la membrana, la síntesis de proteínas, fotosíntesis, respiración, actividad enzimática y el potencial hídrico de la planta (Torres, 2009).

Alam (1990), en su investigación relacionada con el efecto de los residuos de trigo sobre plántulas del mismo cultivar, sugirió que la reducción del crecimiento en plántulas de trigo se debe a la presencia de toxinas solubles en agua, como los ácidos fenólicos; que son liberados

desde los residuos de la paja de trigo o producidas por microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica y sus efectos en el crecimiento del cultivo produciéndose una auto-toxicidad.

Wu *et al.* (2000b), analizaron siete ácidos fenólicos implicados en la alelopatía del trigo, para ello utilizaron una colección de 58 cultivares de trigos. Los análisis químicos mostraron que existen diferencias significativas en la producción de los ácidos *p*-hidroxibenzoico, vanílico, siríngico, *trans-p*-cumárico, *cis-p*-cumárico, *trans-p*-ferúlico, y *cis*-ferúlico en los brotes y raíces de plántulas de 17 días. La concentración de cada uno de estos ácidos varía entre 93 a 454 mg/kg de materia seca. Al ser ordenados decrecientemente se obtuvo ácidos *trans-p*-ferúlico, vanílico, *trans-p*-cumárico, *p*-hidroxibenzoico, siríngico, *cis*-ferúlico y *cis-p*-cumárico.

Estos resultados demostraron que los altos niveles de ácidos fenólicos en las raíces son consecuencia de la alta cantidad de estos ácidos en los brotes, debido a que los compuestos fenólicos producidos en los brotes pueden ser traslocados hacia las raíces siendo así exudados dentro del medio de crecimiento o pueden ser liberados por microorganismos al finalizar el crecimiento de la planta (Wu *et al.*, 2000b).

c) Ácidos grasos de cadena corta. Los ácidos grasos de cadena corta (ácidos alifáticos) han sido colocados en la tercera categoría de compuestos implicados de la alelopatía del trigo. La producción de ácidos grasos de cadena corta es el resultado de la fermentación anaeróbica de los polisacáridos insolubles que representa el mayor contribuyente de la paja de trigo, la que pueden tener un efecto adverso en el desarrollo del cultivo en suelos de bajo potencial redox (Lynch *et al.* citados por Wu *et al.*, 2001a).

Los ácidos grasos de cadena corta de mayor importancia han sido identificados por Tang *et al.* Citados por Wu *et al.* (2001a), como sales de ácido acético, propiónico y butírico, también han sido identificadas trazas de ácido isobutírico, pentanoico e isopentanoico.

d) Otros agentes alelopáticos. Dentro de esta categoría se encuentran compuestos como ácido carboxílico, metil ésteres, ácidos fenólicos y triterpenoides (Wu *et al.*, 2001a).

4.2.3. Localización y liberación de aleloquímicos. En plántulas de trigo, los aleloquímicos se encuentran en mayor proporción en aquellos tejidos vegetales fuertemente alelopáticos, siendo estos brotes y raíces. En aquellas plántulas de trigo adulto los tres grupos principales de ácidos (hidroxámicos, fenólicos y ácidos grasos) se distribuyen en igual proporción tanto en los brotes como en las raíces, mientras que en aquellas plántulas de trigo joven estos se distribuyen diferencialmente acumulándose más los aleloquímicos en las raíces de las plantas que en brotes de las mismas, destacando que la sustancia alelopática DIMBOA se encuentra en mayor cantidad en las plántulas de trigo jóvenes (Wu *et al.*, 2000b).

En cuanto a las características alelopáticas de las sustancias del trigo, éstas dependen de los antecedentes genéticos del ambiente externo de las plantas tales como la calidad agronómica y la resistencia al estrés, como por ejemplo, la resistencia a la sequía y tolerancia a la salinidad (Zuo *et al.*, 2012). En general, la producción y liberación activa de los compuestos con función alelopática por parte de las plantas donadoras de trigo dependerá entre otros factores de la naturaleza de estas moléculas, ya que pueden tener carácter volátil, hidrosoluble o poco soluble en agua. Además Tang *et al.*, (1995) citados por Einhelling (1996), señalan que también depende de las etapas de desarrollo relativo de los cultivos y de las condiciones ambientales externas. De este modo, las vías de liberación de las sustancias hacia el medio ambiente son mediante: exudación radicular, lixiviación de las plantas por niebla y lluvia, y por la descomposición de los residuos de cosecha (Noor *et al.*, 2012).

La investigación en el área ha demostrado que la variabilidad genética de la característica alelopática es amplia dentro de las especies cultivadas. Esto ofrece un pool genético para la selección de cultivares con habilidad alelopática alta (Bell y Charlwood, 1980 y otros, citados por Wu *et al.*, 2001b). Reportan también que la producción de aleloquímicos en una planta está controlada genéticamente y que la característica alelopática sería heredada en bloques desde los

progenitores, sin ser disminuida en el proceso de mejoramiento de los cultivares, por tanto el futuro desarrollo de cultivares alelopáticos, probablemente, dependerá de la comprensión del control genético de la alelopatía.

Putnam y Duke citados por An *et al.* (1998) y Wu *et al.* (1999, 2001b), indican que cultivares antiguos estarían más próximos genéticamente a sus progenitores silvestres, por tanto su potencial alelopático sería mayor. Sin embargo, Einhellig (1995) señala que la investigación de la genética del rasgo alelopático es el área más débil en el estudio de la alelopatía, ya que en el examen de herencia de aleloquímicos se presentan algunas dificultades, difícil de superar, como:

- a) dificultad para aislar y cuantificar los aleloquímicos en una población genéticamente diversa.
- b) baja disponibilidad de técnicas de identificación química, tales como la espectrometría por cromatografía de masa.
- c) la herencia de los agentes alelopáticos podría no ser simple, ya que probablemente genes múltiples están involucrados en la producción de algunos aleloquímicos.

Lo anterior fundamentado en que se han reportado diferentes categorías de componentes alelopáticos y se ha propuesto diversas vías bioquímicas para la biosíntesis de estos componentes.

Los genes conocidos como “regulatorios”, pueden controlar el proceso de liberación de aleloquímicos al ambiente del suelo, siendo liberados en mayor cantidad cuando las plantas están sometidas a una condición de estrés. Lo anterior involucra que las condiciones de estrés externo, pueden regular estos genes, promover la biosíntesis de aleloquímicos y estimular el movimiento de los componentes alelopáticos desde dentro de la planta hacia el ambiente exterior (Einhellig, 1996).

En el mismo sentido, Wu *et al.* (1999) señalan que la manipulación genética de la producción y exudación de los aleloquímicos ofrece un promisorio medio para el desarrollo de cultivares alelopáticos y que en vez de seleccionar pasivamente los genotipos alelopáticos existentes, se podrían incorporar activamente genes alelopáticos, desde aquellos cultivares con alta capacidad de supresión de malezas a otros con una baja capacidad.

Wu *et al.* (2000a), examinando el potencial alelopático del trigo en la supresión de malezas, identificó que plántulas de 17 días de esta especie, que crecían en un medio de cultivo (agar-agua), exudaban vía radical, los ácidos *p*-hidroxibenzoico, *trans-p*-cumárico, *cis-p*-cumárico, siríngico, vanílico- *trans*-ferúlico y *cis*-ferúlico. Además añaden, que el 60% de la producción total de aleloquímicos estuvo representada por DIMBOA. La presencia de este compuesto en las raíces de trigo ha resultado ser altamente dependiente de la variedad del mismo, lo cual indica que está determinado por factores genéticos.

Las investigaciones más actuales en cuanto a alelopatía señalan que, se han identificado sustancias fitotóxicas capaces de provocar efectos alelopáticos en trigo, estas sustancias incluyen ácidos fenólicos, ácidos hidroxámicos cíclicos y ácidos grasos, entre estos los ácidos hidroxámicos cíclicos y los benzoxazolinones, son un foco particular debido a su importante papel en la defensa natural del trigo contra parásitos, enfermedades y malezas. Modernas investigaciones sobre el genoma se han orientado a identificar los marcadores genéticos asociados al efecto alelopático del trigo, estos estudios se han basado en el modo de acción de los aleloquímicos y en el descubrimiento de los genes que codifican la biosíntesis de estos. El citocromo P450s de la planta, cataliza innumerables caminos biosintéticos de los metabolitos secundarios, los códigos genéticos de este citocromo han sido identificados mediante el mapeo genético, entre estos se encuentran 5 genes P450 implicados en la biosíntesis del aleloquímico del trigo (DIBOA), estos estudios pretenden finalmente aumentar el potencial alelopático en cultivares comerciales de este cereal (Wu *et al.*, 2007).

Se ha determinado que las semillas de trigo no presentan ácidos hidroxámicos, no obstante, estos son sintetizados prematuramente durante la germinación de la semilla encontrándose los mayores niveles en las primeras fases del desarrollo de la planta (Mogensen *et al.*, 2004).

4.2.4. Mecanismo de acción de aleloquímicos de trigo. Los aleloquímicos pueden interferir con los procesos básicos de las plantas receptoras como en la fotosíntesis, división celular, respiración y síntesis de proteínas y provocar indirectamente otras formas de estrés. Además estos compuestos alelopáticos participan en la activación del sistema antioxidante celular en respuesta a la producción incontrolada y la acumulación de especies reactivas del oxígeno (Noor *et al.*, 2012).

Según Mathiassen *et al.* (2004), tanto DIMBOA como sus productos transformados (MBO) inhiben la germinación y suprimen el crecimiento de varias especies de plantas.

La descomposición de DIBOA y DIMBOA en BOA y MBOA respectivamente, disminuye el potencial inhibidor de crecimiento en relación a los ácidos hidroxámicos sintetizados por la planta (Wilkes *et al.*, 1999).

4.3. Malezas en producción de trigo.

Las malezas son muy perjudiciales para el rendimiento de los cultivos, sobre todo cuando son abundantes en los periodos críticos de éste, ya que en este caso, produce daño económico irrecuperable si no se realiza un temprano y adecuado control (Mellado, 2007). Sin embargo no solo reducen el rendimiento, sino también deterioran la calidad de estos (Khan *et al.*, 2012). En el caso de semilleros de trigo puede haber rechazos cuando se presentan malezas consideradas prohibidas en el proceso de certificación de semillas, tales como margarita (*Leucanthemum vulgare*), el cardo (*cirsium spp.*), cizaña púrpura (*Agrostemma githago*), galega (*Galega*

officinalis), hierba de San Juan (*Hypericum perforatum*), pasto ajo (*Allium vineale*) y maicillo (*Sorghum halepense*) (Mellado, 2007).

En trigos de invierno las malezas más comunes son las anuales de invierno, y para trigos primaverales las malezas más comunes son las anuales de verano. En el sistema de cero labranza, al no moverse el suelo, deberían esperarse una menor infestación de malezas que en el sistema con labranza convencional. Si la rotación de cultivos es amplia y cada cultivo se ha realizado un control eficaz de las malezas, deberían esperarse una disminución progresiva de estas en el tiempo. En trigos sembrados después de una pradera permanente, ya sea sembrada o natural, debería esperarse una mayor predominancia de las malezas perennes o de aquellas cuyo ciclo de vida coincide con el de la pradera (Espinoza, 2002).

En general, la cantidad de malezas que se presente en una sementera de trigo dependerá de la época de siembra (Otoño o primavera), del banco de semillas que se tenga el suelo, pero principalmente de la labranza, ya que la aparición de malezas será mayor cuando se hace una preparación de suelo en la forma tradicional (con remoción e inversión de suelo), que cuando se usa barbecho químico. Basado en este principio, muchos agricultores mediante labranza traen semillas de malezas que estaban estratificándose en los perfiles profundos del suelo, a la zona superficial para que con la humedad de lluvias o riego germinen y luego sean eliminadas mediante nueva labranza o con herbicidas. Por el contrario, cuando se siembra con cero labranza la ausencia de perturbación del perfil del suelo asegura que las semillas de malezas permanecerán en los estratos profundos donde no tienen condiciones aptas para germinar (Mellado, 2007).

Mellado (2007) describe la importancia del control de ciertas malezas comunes en trigo. La avenilla (*Avena fatua*) es una maleza que se desarrolla con mucho vigor en trigos bien fertilizados con nitrógeno, aumentando de manera significativa su crecimiento vegetativo y producción de grano. Al madurar antes que el trigo y desgranarse con facilidad, las semillas de avenilla se incorporan al suelo, constituyendo un banco de semillas que estar en latencia por muchos años, emergiendo una parte de ellas cada vez que se prepara suelo de la manera

convencional. Las características anteriores se potencian porque puede producir entre 1000 y 3000 semillas por planta, que tienen la propiedad de germinar aun cuando el grano no haya madurado completamente, y que conservan su capacidad germinativa en el suelo hasta después de seis años. Algo semejante ocurre con la ballica, vulpia y la arvejilla, que desgranar sus semillas al suelo antes de cosechar el trigo. En el caso de la vulpia, se trata de una planta cuya semilla es muy pequeña, ya que un gramo contiene alrededor de 980 semillas, por lo que su agresividad está dada por ese factor más que por su altura, siendo una planta más bien pequeña. Por otra parte, la ballica es invasora por el número de semillas por planta, que puede ser mayor a 1000, y por su altura que normalmente sobrepasa el metro.

El control de malezas en trigo es uno de los factores de producción más importante y, por lo tanto, siempre a tomar en cuenta, no debiendo ser un obstáculo técnico (Espinoza, 2002). Sin embargo, de cualquier manera las malezas siempre ejercerán un gran efecto competitivo con el trigo, ya que mientras mejora el manejo para el cultivo, también se favorecen las condiciones para las malezas y éstas responden mejor a los cambios del medio. Por este motivo se llegan a tener pérdidas, según el área agroecológica, superiores al 50% del rendimiento (Pedreros, 2004).

Algunas malezas, generalmente perennes, son de difícil control porque además de la multiplicación por semillas tienen estructuras vegetativas de reproducción. En el caso de gramíneas como la chépica (*Agrostis capilaris*) que se multiplican por rizomas y semillas, y el pasto cebolla (*Arrehenatherum elatius* spp bulbosus), de los que no puede esperarse 100% de control con una aplicación de herbicidas, ya que las plantas provenientes de las estructuras vegetativas llamada cormo que son difíciles de controlar. En el caso de algunas malezas como la vulpia (*Vulpia* sp.), la dificultad está en que pasado el estado de 3-4 hojas se torna más tolerante a los herbicidas (Mellado, 2007).

4.4. Trigo como un cultivo alelopático a malezas.

38 cultivares de trigo fueron empleados para probar un biotipo de *L. rigidum* resistente a herbicidas inhibidores de acetil CoA carboxilasa (grupo A), inhibidores de acetolactato sintasa (grupo B), inhibidores del fotosistema II (grupo C) y los inhibidores de la formación de tubulina (grupo D). Los resultados mostraron que los extractos acuosos de trigo inhibieron la germinación de semillas y el crecimiento de la raíz de este biotipo resistente. El porcentaje de inhibición de germinación vario entre 3,3% y 100% dependiendo del cultivar de trigo. Los efectos alelopáticos sobre el crecimiento de la raíz de *L. rigidum* vario de 12% de estimulación a 100% de inhibición del crecimiento, comparado con el control. Los resultados sugieren que la aleopatía también podría ser un potencial en el control de malezas resistentes a herbicidas (Wu *et al.*, 2001b).

Por la importancia del trigo, se ha evaluado con cierta intensidad el potencial alelopático diferencial entre cultivares, con resultados promisorios. Por ejemplo se evaluaron 286 cultivares de trigo para estudiar el potencial alelopático sobre el desarrollo de *Bromus japonicus* L. y *Chenopodium album* L. Del total, cinco cultivares produjeron exudados radicales significativamente inhibitorios del crecimiento radical de las dos especies de plantas receptoras (Spruell, 1984, citado por Wu *et al.*, 1999). Más recientemente, 38 cultivares de trigo, por medio de bioensayos de extractos radicales fueron evaluados para comprobar su potencial alelopático diferencial sobre *L. rigidum*, algunos cultivares inhibieron significativamente tanto la germinación como el desarrollo radical de *L. rigidum*, los autores determinaron que el potencial alelopático de los cultivares de trigo se correlacionó positivamente con el contenido total de ácidos fenólicos (Wu *et al.*, 1999).

Existen variados estudios para analizar el potencial alelopático del trigo en el control alelopático de *L. rigidum*. Wu *et al.* (2000a), concluyeron que entre cultivares de trigo hay diferencias significativas en su potencial alelopático sobre *L. rigidum*, en la inhibición del crecimiento de la raíz, variando desde 23,98% a 90,91%. Luego Wu *et al.* (2001b), se demostraron que el efecto alelopático de los extractos acuosos de residuos de trigo difieren

significativamente entre los cultivares examinados, inhibiendo significativamente la germinación y el crecimiento de un biotipo de *L. rigidum* resistente a herbicidas. El promedio de inhibición de los extractos de trigo en la ballica anual, fue de 68% para el crecimiento de la raíz y de 26% para la germinación de semillas.

A raíz de la importancia de esta maleza en el cultivo en el sur de Chile y del rápido crecimiento radical, Inostroza (2006), midió el efecto alelopático de los extractos crudos de exudados radicales de 4 cultivares de trigo (Domo, Otto, Dollinco y Tukan) sobre *Rumex acetosella* L. (vinagrillo). Se concluyó que en todos los casos hubo un efecto inhibitorio en el crecimiento radical de *R. acetocella*, de este modo, basado en los datos promedio del crecimiento radical obtenidos, Domo y Tukán fueron los cultivares que ejercieron el mayor porcentaje de inhibición del crecimiento radical (69% y 63% respectivamente), seguidos por Dollinco (61%) y Otto (55%).

Morales (2006), estudió el efecto alelopático de 4 especies de cereales sobre el crecimiento de raíces y brotes de *Lolium perenne* cv. Queartet, donde se evidenció una interacción alelopática positiva sobre la germinación y estados iniciales de crecimiento y negativamente en estados avanzados del crecimiento de *L. perenne*; la respuesta alelopática de la planta receptora fue proporcional a la concentración de extractos acuosos tanto en potenciador como la inhibición. Los extractos acuosos extraídos de brotes y tallo, comparada con los extractos de raíces de todos los cereales evaluados evidenciaron mayor potencial alelopático en el crecimiento de la especie receptora, la secuencia de mayor a menor potencial alelopático de los cereales en estudio sobre el crecimiento de follaje, raíz y germinación fue *A. sativa*, *T. aestivum*, *H. vulgare*, X *T. wittack*. La evaluación del efecto de interacciones alelopáticas entre especies vegetales se convierte en un factor de importancia en el desarrollo de nuevos cultivares con mayor capacidad para poder competir con malezas asociadas y así contribuir a disminuir la cantidad de herbicidas aplicados al cultivo.

Bensch *et al.* (2007), midieron el potencial alelopático diferencial de 50 cultivares de trigo chileno sobre *L. rigidum*. Los 50 cultivares de trigo ejercieron efecto alelopático inhibitorio significativo sobre el crecimiento radical de *L. rigidum*; el rango varió entre 80 y 20%, con 50% de los cultivares por sobre el 50% de inhibición. Los cultivares con mayor potencial alelopático inhibitorio fueron Tukan (80%), Oracle (71%) Cataño (70%), Paleta (69%) Aztec (69%), Trauco (68%), Fama (68%) y Remam (68%).

Luego, Bensch *et al.* (2009) estudiaron el potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo sobre algunas malezas asociadas al cultivo en el sur de Chile (*Spergula arvensis*, *R. acetosella*, *A. fatua* y *Vulpia bromoides*). Para *R. acetosella*, los cultivares con los que se obtuvo una mayor inhibición fueron Budifen (70%), Metrenco (69%), Perquenco (67%), Naofen (66%) Dalcahue (65%) y Oracle (62%). Con relación a *S. arvensis*, junto con el efecto inhibitorio se detectó potenciación del crecimiento radical con los cultivares Oracle (10%) y Puken (20%), constituyendo grupos aparte, los otros cultivares ejercieron un efecto alelopático inhibitorio, de los cuales Texel (88%), Baroudeur (85%), Perquenco (82%), Dalcahue (81%), Chifen (80%) y Metrenco (80%) son los cultivares que ejercieron una mayor inhibición del crecimiento radical. En el caso de *V. bromoides* se detectó principalmente efecto inhibitorio en los demás casos, con un efecto potenciador de crecimiento radical con los cultivares Carahue (11%), Tibet (8%) y Bingo (1%), al contrario, los cultivares trauco (68%), Crac (68%) Texel (66%), Toquifen (63%), Contra (62%), Dalcahue (62%) y Oracle (62%) son los cultivares que presentaron un mayor porcentaje inhibitorio. Por último para *A. fatua* los cultivares que obtuvieron el porcentaje de inhibición más alto son Rancofen (74%), Oracle (73%), Trauco (68%), Carahue (67%) y Tibet (66%). Al contrario, los cultivares Avial (7%) y Dollinco (36%) obtuvieron efecto estimulante de crecimiento radical.

Torres (2009), estudió el efecto de lixiviados de algunos genotipos de trigo sobre el crecimiento y emergencia de algunas malezas asociadas al cultivo. Dentro de las variables analizadas, los más destacados fueron: genotipos Perquenco y Metrenco disminuyeron la longitud radical de *S. arvensis* en un 10,6% y 12,0% respectivamente; genotipos Perquenco, Metrenco y Furio disminuyeron la biomasa total de *A. fatua* en 34,6%, 25,8% y 32,2% con respecto al

testigo; genotipo Furio produjo descenso en la velocidad de emergencia de *S. Arvensis* en un 56,1% respecto al Testigo. *R. acetosella* no presento sensibilidad a los distintos cultivares del trigo estudiados.

Labbafi *et al.* (2010), realizaron un estudio del potencial alelopático de cultivares de trigo iraní sobre 2 especies de malezas monocotiledoneas (*S. cereale*, *A. ludoviciana*) y 2 especies de malezas dicotiledóneas (*Convolvulus arvensis* L. y *Vicia villosa* L.). Los factores evaluados fueron longitud de raíces y brotes y peso seco. Se concluyó que la actividad alelopática de trigo se asoció con el número de plántulas y cultivares de trigo. Los resultados mostraron que el peso seco y longitud de la raíz de las especies de malezas se redujeron significativamente en la presencia de variedades de trigo. Todas las variedades y densidades tuvieron un efecto estimulante en la longitud del tallo de dicotiledónea. Las malezas con mayor sensibilidad a los aleloquímicos del trigo son *C. arvensis* y *S. cereale* con un porcentaje de inhibición longitud de raíz de 57,7% y 13,2% de inhibición de longitud de brotes para *C. arvensis*, mientras que para *S. cereale* hubo un 13,2% de inhibición de la longitud de los brotes. Ninguno de los factores tuvo efecto significativo sobre el peso seco de las malezas.

Zheng *et al.* (2010), llevó a cabo experimentos hidropónicos, en donde concluyó que el contenido de aleloquímicos (DIMBOA) en exudados de las raíces y los brotes de plántulas de trigo se incrementaron significativamente por la presencia de *Digitaria sanguinalis* L., *A. fatua* y *Amaranthus retroflexus*. Mientras *Poa annua* L., *L. multiflorum*, y *Capsella bursa-pastoris* L. presenta una menor producción de DIMBOA en exudados de las raíces y los brotes de trigo.

Ghafarbi *et al.* (2012a), mostraron la interacción de semillas de trigo y 8 especies de malezas (*Rumex crispus* L., *Datura stramonium* L., *Sisymbrium irio* L., *Daucus carota* L., *Peganum harmala* L., *Cardaria Draba* L., *Hordeum spontaneum* y *A. ludoviciana*). La germinación de las semillas y los factores de crecimiento (longitud de raíz y brotes, peso fresco y seco) de *D. stramonium*, *D. carota*, *H. spontaneum*, y *C. Draba* se redujeron por la presencia de

semillas de trigo, mientras que la germinación y el crecimiento de plántulas de *S. irio*, *P. harmala* y *A. ludoviciana* se incrementaron con la presencia de semillas de trigo vecinos.

Otro estudio realizado por Ghafarbi *et al.* (2012a), evaluaron la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de 8 especies de malezas (*R. crispus*, *D. stramonium*, *S. irio*, *D. carota*, *P. harmala*, *C. Draba*, *H. spontaneum* y *A. ludoviciana*) con extractos de semillas de trigo. La reducción del porcentaje de germinación y el crecimiento de plántulas fue directamente proporcional al aumento de la concentración de extracto de trigo. Los resultados mostraron que *S. irio* era más sensible al extracto acuoso de semillas de trigo y *R. crispus* era la especie más resistente. La concentración de 20% de extracto de semillas de trigo tiene un efecto inhibitor sobre todas las semillas y los índices de crecimiento de plántulas.

Zarin *et al.* (2013), estudiaron el efecto inhibitorio de extractos de brotes, tallos y raíces de trigo (todos a la concentración de 75%). Los resultados mostraron que los extractos de brotes y de raíz tenían efectos inhibitorios significativos sobre la germinación de las semillas de todas las especies de malezas evaluadas (*Lathyrus aphaca*, *Phalaris minor*, *Convolvulus arvensis* y *A. fatua*). Con los extractos de brotes se logró hasta un 80% de inhibición de la germinación de las malezas, mientras que los extractos del tallo lograron un 50% de inhibición. El extracto de raíz mostró un efecto inhibitor no significativa sobre la germinación de semillas de las malezas. Todos los extractos de la planta presentaron inhibición significativa en la longitud de las plántulas de todas las malezas evaluadas. El peso seco de las especies de malezas también se vio afectado significativamente por los extractos de trigo. Extractos de tallo y brotes son los que presentan un porcentaje de inhibición mayor en el peso seco.

En Australia, se evaluó el potencial alelopático de extractos acuosos de rastrojos de 38 cultivares de trigo sobre *L. rigidum*. Los resultados mostraron que tanto la germinación como el crecimiento de la raíz fue inhibido por los extractos y que la inhibición difirió significativamente entre todos los cultivares. El porcentaje de inhibición de crecimiento de las raíces varió entre

19,2% y 98,7%, y para las semillas, el porcentaje de inhibición de germinación vario de 4,1% al 73,2% (Wu *et al.*, 1998).

5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados, las conclusiones de esta monografía son:

Los aleloquímicos son productos del metabolismo secundario de las plantas que tienen como función participar en los mecanismos de defensa de estas; los que influyen en el desarrollo, reproducción o ataque de otros organismos y de atrayente o repelente de insectos. Los mecanismos de liberación de los compuestos alelopáticos son a través de lixiviación, exudación de raíces, descomposición de residuos vegetales y volatilización. Debido a la diversidad de la naturaleza química de los aleloquímicos no se conoce un mecanismo de acción único, encontrándose: mecanismos de acción directos ya sea alterando la fotosíntesis, respiración celular, actividad enzimática, alteraciones hormonales y en procesos asociados a las membranas. Además de mecanismos de acción indirectos como disminución en la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Los aleloquímicos del trigo son liberados principalmente a partir de la raíz o residuos vegetales del mismo, los cuales varían según el cultivar. Los compuestos alelopáticos identificados que participan en las interacciones alelopáticas del trigo son ácidos hidroxámicos, ácidos fenólicos y ácidos grasos; de los cuales se encuentran en mayor cantidad son los ácidos hidroxámicos, especialmente 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one y 2,4-dihydroxy-1,4-benzoxazin-3(4H)-one. Son los compuestos fenólicos y ácidos hidroxámicos los aleloquímicos del trigo identificados en las inhibiciones de crecimiento de malezas presentes.

La habilidad del trigo para producir compuestos alelopáticos puede ser utilizada de diversas maneras en el control de malezas, como rotación alelopática o cultivo acompañante, extractos de la planta (ya sean raíces, rastrojos o la parte aérea), mulch o incorporación de residuos al cultivo, herbicida natural y en el desarrollo de cultivares con potencial para la supresión de malezas. La cantidad y calidad de los aleloquímicos liberados por la planta dependerá de factores internos y externos.

6. RESUMEN

Actualmente hay una alarma creciente por el uso de herbicidas sintéticos, ya sea por su efecto residual o su toxicidad. Además, si bien los herbicidas son eficientes para el control de malezas, su uso continuo estimula gradualmente que las malezas desarrollen resistencia a los productos químicos, lo que requiere herramientas innovadoras para su gestión.

La alelopatía ha demostrado ser una alternativa con distintas aplicaciones prácticas en la agricultura, dentro de ellas el control de malezas. Esta práctica se puede llevar a cabo por diversas maneras, tales como: como rotación alelopática o cultivo acompañante, extractos de la planta (ya sean raíces, rastrojos o la parte aérea), mulch o incorporación de residuos al cultivo, herbicida natural y en el desarrollo de cultivares con potencial para la supresión de malezas.

Uno de los cultivares que se ha registrado como alelopático a malezas es el Trigo (*Triticum aestivum* L.). Su actividad alelopática se ha atribuido a los ácidos hidroxámicos y ácidos fenólicos principalmente, los cuales interfieren de diversas maneras el desarrollo de las malezas.

La actividad alelopática del trigo a las malezas dependerá de variados factores, dentro de los cuales los principales son: el cultivar que se utilice, la manera en la cual se quiera controlar las malezas (extracciones de la planta, rotaciones alelopáticas, etc.) y la maleza que se quiera controlar.

7. LITERATURA CITADA

- Alam, S.** 1990. Effect of wheat straw extracts on the germination and seedlings growth of wheat (cv. Pavon). Wheat Information Service 71: 16-18.
- Al-Johani, N., Aytah, A. y Boutraa, T.** 2012. Allelopathic impact of two weeds, *Chenopodium murale* and *Malva parviflora* on growth and photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.) Pakistan Journal of Botany, 44(6):1865-1872.
- An, M., Pratley, J., y Haig, T.** 1998. Allelopathy: from concept to reality. In Proceeding 9 th Australian Agronomy Conference pp. 563-566. <<http://www.regional.org.au/au/asa/1998/6/314an.htm>>. Visitado el 10 de Mayo de 2013.
- An, M., Pratley, J. y Haing, T.** 2000. Allelopathy: from concept to reality. <<http://www.regional.org.au/au/asa/1998/6/314an.htm>>. Visitado el 8 de julio de 2013.
- Anaya, A.** 1999. Allelopathy as tool in the management of biotic resources in Agroecosystems. Critical Reviews in Plant Sciences 18:697-739.
- Anaya, A., Espinosa-García, F. y Cruz-Ortega, R.** 2001. Relaciones químicas entre organismos: aspectos básicos y perspectivas de su aplicación. Instituto de Ecología, UNAM. Plaza y Valdés, S.A. de C.V. México. 733p.
- Anaya, A.** 2003. Ecología química. Mexico D.F. Editorial Plaza y Valdéz.
- Arévalo, A., Bertoncini, I., Aranda, M. y González, A.** 2011. Alelopatía en *Saccharum* spp. (Caña de azúcar). Avances en Investigación Agropecuaria. (1):51-60.
- Argandoña, V., Luza, J., Niemeyer, H. y Corcuera, L.** 1980. Role of hydroxamic acids in the resistance of cereals to aphids. Phytochemistry 19:1665-1668.
- Argandoña, V., Zuñiga, G. y Corcuera, L.** 1987. Distribution of gramine and hydroxamic acids in barley and wheat leaves. Phytochemistry 26(7): 1917- 1918.
- Bensch, E.** 2000. Utilización alelopática en el manejo y control de malezas. Publicación interna. Escuela de graduados Facultad de Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Bensch E., Schalchli H., Fuentes R., Seemann P. y Jobet C.** 2007. Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) chileno sobre ballica anual (*Lolium rigidum*) var. Wimmera. Idesia (Arica), 25(2): 81-89.

- Bensch, E., Schalchli, H., Jobet C., Seemann, P. y Fuentes, R.** 2009. Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) chileno sobre algunas malezas asociadas al cultivo en el sur de Chile. *Idesia (Arica)*. 27(3): 77-88.
- Blanco, Y.** 2006. Revisión bibliográfica, la utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 3, p. 5-16
- Calle, M.** 2010. Control de la germinación in vitro de *Araujia sericifera* con aceites esenciales de *Laurus nobilis*, *Myrtus communis*, *Citrus sinensis* y *Citrus limon*. Tesis Máster en Producción Vegetal y Ecosistemas Agroforestales. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos, Departamento de Ecosistemas Agroforestales. 58 p.
- Cheema, A., Farooq, M., Khaliq, A. y Haider, G.** 2011. Allelopathy for weed management in wheat. In 23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference. Volume 2: weed management in a changing world, Cairns, Queensland, Australia, 26-29 September 2011. Asian-Pacific Weed Science Society p. 24-30.
- Chou, Ch.** 1999. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18:609-636.
- Copaja, S., Niemeyer, H. y Wratten, S.** 1991. Hydroxamic acids levels in Chilean and British wheat seedlings. *Annals of Applied Biology* 118: 223-227.
- Cortéz, C.** 2003. Protocolo de laboratorio para evaluar efecto alelopático de cultivares de triticale (*X. Triticosecale wittmack*) en el crecimiento de ballica (*Lolium rigidum* L.) y rabano (*Raphanus raphanistrum* L.). Tesis ingeniero agrónomo. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. 80p
- Cuevas, L., Niemeyer, H. y Jonsson, L.** 1992. Partial purification and characterization of a hydroxamic acids glucoside β -D-glucosidase from maize. *Phytochemistry* 19:1665-1668.
- Duke, S.** 2003. Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta* 217(4):529-539.
- Duke, O., Smeda, R. y Weston, L.** 1997. Potential for utilization of allelopathy for weed management. En: Palestras e mesas redondas. XXI Congresso Brasileiro da ciência das plantas daninhas. 6 a 11 de julio de 1997.
- Einhellig, F.** 1995. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy. In: Inderjit, Ch.; Daskshini, K. and Einhellig, F. (eds). *Allelopathy: Organisms, Processes, and Application*. pp. 96-116.
- Einhellig, F.** 1996. Interaction involving allelopathy in cropping system. *Agronomy Journal* 88:886-893.

- El-Khawas, A. y Shehata, M.** 2005. The allelopathic potentialities of *Acacia nilotica* and *Eucalyptus rostrata* on monocot (*Zea mays* L.) and dicot (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Biotechnology*, 4(1), 23-34.
- Espinoza-García, F.** 2001. La diversidad de los metabolitos secundarios y la teoría de la defensa vegetal. Relaciones químicas entre organismos. Aspectos básicos y perspectivas de su aplicación, En: Anaya, A., Espinosa-García, F., Cruz-Ortega, R., (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza y Valdés. México. pp. 231-249.
- Espinoza, N.** 2002. Avances en control de malezas en trigo. Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 83pp.
- Garza, A.** 2003 “El trigo”. <<http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyFVZyluuuKaIvuZg.php>>. Visitado el 10 de mayo de 2013.
- Ghfarbi, P., Hassannejad, S. y Lotfi, R.** 2012a. Allelopathic effects of wheat seed extracts on seed and seedling growth of eight selected weed species. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 19(4):1452-1457.
- Ghfarbi, P., Hassannejad, S. y Lotfi, R.** 2012b. Seed to Seed Allelopathic Effects between Wheat and Weeds. . *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 22(4):1660-1665
- Harper, R. y Balke, E.** 1981. Characterization of the inhibition of K^+ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology*, 68(6), 1349-1353.
- Ilori, J. e Ilori, O.** 2012. Allelochemicals: types, activities and usage in pest control. *Journal of science and science education*, Ondo Vol. 3(1):106-110.
- Inderjit y Nilsen, T.** 2003. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3-4), 221-238.
- Inostroza, T.** 2006. Efecto alelopático de extractos crudos de exudados radicales de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre la maleza *Rumex acetocella* L. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 54 p.
- Jamil, M., Cheema, Z., Mushtaq, M., Farooq, M. y Cheema, M.** 2009. Alternative control of wild oat and canary grass in wheat fields by allelopathic plant water extracts. *Agronomy for sustainable*.
- Kato-Noguchi, H. y Macias, F.** 2004. Mode of action of MBOA on inhibition of plant germination. In: the second European Allelopathy Symposium “Allelopathy from understanding to application”. Pulawy, Polonia.

- Khan, A., Awan, I., Mansoor, M., Khan, E., Khakwani, A. y Safdar, M.** 2012. Use of concentrated aqueous plant exudates as weed control measure in wheat crop. *Pakistan journal of weed Science Research*. 18(1):99-105.
- Lam, Y., Sze, W., Tong, Y., Ng, B., Wai, C., Wen, C. y Zhang, Y.** 2012. Research on the allelopathic potential of wheat. *Agricultural Sciences*, 3(8), 979-985.
- Landaverde, N.** 2012. Evaluación de diferentes dosis de mezclas de herbicidas preemergentes (pendimethalin y butachlor) y efecto alelopático de exudados radiculares de malezas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones de riego, en el distrito de riego atiocoyo norte, Nueva Concepción, Chalatenango. Tesis ingeniero agrónomo. Universidad de el salvador, facultad de ciencias agronómicas.
- Labbafi, R., Hejazi, A., Maighany, F., Khalaj, H. y Ali, M.** (2010). Evaluation of allelopathic potential of Iranian wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars against weeds. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, 355-361
- McCalla, M. y Duley, L.** 1949. Stubble Mulch Studies: III. Influence of Soil Microorganisms and Crop Residues on the Germination, Growth and Direction of Root Growth of Corn Seedlings. *Proc.* 14:196-199.
- Maharaj, S. y Prabhakaran, J.** 2013. Allelopathic potential of *Chrozophora rottleri* (geis.) A.juss. On germination and growth of some rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *International journal of advances in pharmacy. Biology and Chemistry*. 2(1):44-49
- Mathiassen, S., Mongensen, B. y Kudsk, P.** 2004. Effects on weeds of soil-incorporated wheat. In: The second European allelopathy Symposium "Allelopathy from understanding to application". Pulawy, Polonia.
- Mellado, M.** 2007. El trigo en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Mogensen, B.; Mathiassen, S.; Krongaard, T.; Eljarrat, E.; Villagrasa, M.; Guillamón, M.; Taberner, A. y Barceló, D.** 2004. Quantification Of Hydroxamic Acid Allelochemicals In Wheat Varieties Grown Under Varying Conditions. (On line). Second European Allelopathy Symposium. <<http://www.fateallchem.dk/upload/str50.pdf>>. Visitado el 20 de Mayo de 2013.
- Mohammadi, R.** 2013. Alternative Weed Control Methods: A Review. *Weed and Pest Control - Conventional and New Challenges*, Dr. Sonia Soloneski (Ed.), ISBN: 978-953-51-0984-6 <<http://www.intechopen.com/books/weed-and-pest-control-conventional-and-new-challenges/alternative-weed-control-methods-a-review>>. Visto el 5 de mayo de 2013.
- Morales, M.** 2006. Efecto alelopático de 4 especies de cereales (*Triticum aestivum* L., *Avena sativa* L., *X Triticosecale wittmack* y *Hordeum vulgare* L.), sobre el crecimiento de

raíces y hojas de ballica perenne (*Lolium perenne* cv. Quartet). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 69 p.

- Morrison, T. y Boyd, N.** 1998. Química orgánica. Addison Wesley Longman. pp 559-620
- Nicol, D., Copaja, S., Wratten, S. y Niemeyer, H.** 1992. A screen of worldwide wheat cultivars for hydroxamic acid levels and aphid antixenosis. *Annals of Applied Biology* 121:11-18.
- Niemeyer, H.** 1988. Hydroxamic acid content of *Triticum* species. *Euphytica* 37:289-293.
- Niemeyer, H. y Pérez, F.** 1995. Potential of hydroxamic acids in the control of cereal pest, diseases and weeds. *Phytochemistry* 28:3843-3856.
- Niemeyer, H. y Jerez, J.** 1997. Chromosomal location of genes for hydroxamic acid accumulation in *Triticum aestivum* L. (wheat) using wheat aneuploids and wheat substitution lines. *Heredity* 79:10-14.
- Noor, K., Khan, E. Baloch, M., Khan, M., Awan, I., Sadiq, M. y Aslam, M.** 2012. Allelopathic effect of congress grass on weeds and yield of wheat. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 18(3), 307-318.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).** 2013a. El trigo, temporada 2012/13: una temporada particular en Chile con resultados de producción aún inciertos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/9391.pdf;jsessionid=918536318264DAC0AB97FFA838CF9A0B>>. Visitado el 5 de mayo del 2013.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA).** 2013b. Boletín del trigo. Diciembre de 2012 y enero 2013. <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Boletines/boletinTrigoEnero2013.pdf;jsessionid=FBE81F57B845909E06990FADDAA15285>>. Visitado el 5 de mayo de 2013
- Oliveros-Bastidas, A.** 2008. El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Revista Química Viva*, 7(1): 2-34
- Olofsdotter, M.** 2001. Rice-a step toward use of allelopathy. *Agronomy Journal*. 93(1):3-8
- Ormeño, J.** 1997. Aplicación de la aleopatía en el control de malezas: El caso del centeno (*Secale cereale* L.) en Chile. En: Producción de alimentos orgánicos. Seminario internacional. INIA-Quilamapu, Chillán. 29-30 de octubre.
- Pedreros L.** 2004. Malezas en producción de trigo. Boletín de Trigo: Manejo tecnológico. Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 114.

- Putnam, A. y Duke, V.** 1978. Allelopathy in agroecosystems. Annual Review of Phytopathology (USA) 16:431-451.
- Putnam, R.** 1985. Weed allelopathy. En Duke, O. (ed) weed physiology. Vol 11. Reproduction and ecophysiology. CRC press, Boca Raton, fl. pp 131-155.
- Putnam, R. y Tang, S.** 1986. The science of allelopathy. John Wiley & Sons Inc. 317 pp.
- Qureshi, R. y Batti, R.** 2001. Determination of weed communities in wheat (*Triticum aestivum* L.) fields of district Sukkur. Pakistan Journal of Botany 33(1): 109-115.
- Rice, E.** 1974. Allelopathy. New York. Academic Press. 353p.
- Rios, E.** 2010. Composición química y potencial alelopático del aceite esencial de *Eupatorium glabratum* kunth (cedazo) de llano de pario michocan. Tesis Químico Farmacobiologo. Facultad de químico farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. pp. 89
- Sampietro, D.** 2003. Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad de Tucumán, Argentina. <<http://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Sampietro-.doc.>>. Visitado el 10 de Mayo 2013.
- Sandoval, P.** 2006. Efecto alelopático de *Rumex Acetosella*, *Raphanus raphanistrun* y *Avena fatua* sobre algunos parámetros de crecimiento inicial de *Triticum aestivum* L. cultivares Bingo, Dalcahue y Tukan. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 77 p.
- Silva, P.** 2002 Suelo-Agua-Planta. Aleloquímicos, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Laboratorio de Relación Santiago, Chile. 67p.
- Tallamy D. y Raupp M.** 1991. Phytochemicals induction by herbivores. New York. John Wiley and Sons
- Tesio, F., y Ferrero, A.** 2010. Allelopathy, a chance for sustainable weed management. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 17(5), 377-389.
- Tipton, C., Wang, M., Tsao, F., Lin, T. y Mithen, R.** 1973. Biosynthesis of 1,4-benzoxazin-3-ones-in Zea mays. Phytochemistry 12:347-352.
- Torres V.** 2009. Efecto de lixiviados de algunos genotipos de trigo sobre el crecimiento y emergencia de *Rumex acetosella*, *Spergula arvensis* y *Avena fatua*. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile, 49p.

- Villagrasa, M.; Guillamón, M.; Labandeira, A.; Taberner, A.; Eljarrat, E. y Barceló, D.** 2006. Benzoxazinoid allelochemicals in wheat: Distribution among foliage, roots, and seeds. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 54: 1009- 1015.
- Weidenhamer, J.** 1996. Distinguishing resource competition and chemical interference: Overcoming the methodological impasse. *Agronomy Journal* 88:866-875.
- Weinert, O.** 2005. La guerra de las plantas. Alelopatía. Universidad de concepción. <<http://etraliprimera.files.wordpress.com/2011/03/alelopat.pdf>>. Visitado el 10 de mayo de 2013.
- Wilkes, M., Marshall, D. y Copeland, L.** 1999. Hydroxamic acid in cereal roots inhibit the growth of take-all. *Soil Biology and Biochemistry*. 31 (13): 1831-1836.
- Worthington, M. y Reberg-Horton, C.** 2013. Breeding cereal crops for enhanced weed suppression: Optimizing allelopathy and competitive ability. *Journal of chemical ecology*, 1-19.
- Wu, H., Haig, T., Pratley, J., Lemerle, D. y Verbeek, B.** 1998. Differential allelopathic potencial among wheat accessions to annual ryegrass. <<http://www.regional.org.au/au/asa/1998/6/139wu.htm>>. Visitado el 10 de Mayo de 2013.
- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D. y Haig, T.** 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research* 39:171-180.
- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D. y Haig, T.** 2000a. Laboratory screening for allelopathic potential of wheat (*Triticum aestivum*) accessions against annual ryegrass (*Lolium rigidum*). *Australian Journal Research* 51: 259-266.
- Wu, H.; Haig, T.; Pratley, J.; Lemerle, D. y An, M.** 2000b. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation de phenolic acids in shoot tissues. *Journal Agriculture Food Chemical* 48: 5321:5325.
- Wu, H.; Haig, T.; Pratley, J.; Lemerle, D. y An, M.** 2000c. Distribution and exudation of allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Chemical Ecology*. 26(9): 2141-2154.
- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D. y Haig, T.** 2001a. Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Applied Biology* 139: 1-9.
- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D. y Haig, T.** 2001b. Wheat allelopathic potential against a herbicide-resistant biotype of annual ryegrass. *In: Proceeding of the 10th Australian Agronomy Conference*. Hobart, Australia. <<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/p/12/wu.htm>>. Visitado 07 de Julio 2013.

- Wu, H.; Pratley, J.; Lemerle, D.; An, M. y Li, L.** 2007. Autotoxicity of wheat (*Triticum aestivum* L.) as determined by laboratory bioassays. *Plant Soil* 296:85-93.
- Wuest, S., Albrecht, S. y Skirvin, K.** 2000. Crop residue position and interference with wheat seedling development. *Soil & Tillage Research* 55 (3-4):175-182.
- Zamorano, C.** 2006. Alelopatia: un nuevo reto en la ciencia de las arvenses en el tropico. *Agronomia*. 14(1):7-15.
- Zarin, A., Kashif, M., Adil, M., Rehman, S. y Khan, R.** 2013. Bio-herbicidal potentials of wheat. *Pakistan journal of weed science research*. 19(1):79-87.
- Zhang, T., Huang, J., Deng, S., y Yu, G.** 2011. Influence of pesticides contamination on the emission of PCDD/PCDF to the land from open burning of corn straws. *Environmental Pollution*. 159(6): 1744-1748.
- Zheng, Y., Liu, X., Dong, F., Li, J., Gong, Y., y Zhu, G.** 2010. Biological induction of DIMBOA in wheat seedlings by weeds. *Allelopathy Journal*. 25(2): 433-440.
- Zuo, S., Liu, G., y Li, M.** 2012. Genetic basis of allelopathic potential of winter wheat based on the perspective of quantitative trait locus. *Field Crops Research*. 135, 67-73.
- Zuñiga, G., Copaja, S., Bravo, H. y Argandoña, V.** 1990. Hydroxamic acids accumulation by wheat callus. *Phytochemistry* 29:2139-2141.