



Universidad Austral de Chile

Escuela de Agronomía

Efecto de lixiviados de algunos genotipos de trigo sobre el crecimiento y emergencia de *Rumex acetosella*, *Spergula arvensis* y *Avena fatua*.

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Agronomía

Viviana Edith Torres Álvarez

Valdivia – Chile

2009

PROFESOR PATROCINANTE:

Ricardo Fuentes P.
Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal

PROFESORES INFORMANTES:

Daniel Calderini R.
Ingeniero Agrónomo, Dr. Agr.
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal

Roberto Carrillo L.
Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Instituto de Producción y Sanidad Vegetal

AGRADECIMIENTOS

Al terminar esta etapa tan importante en mi vida quiero agradecer a la gran cantidad de personas que hicieron posible este sueño y que me apoyaron incondicionalmente.

En primer lugar al Profesor Ricardo Fuentes, patrocinante de esta tesis, por su gran labor como docente y comprensión en los momentos difíciles; por sus consejos y la confianza que depositó en mí para finalizar esta tarea.

A los profesores informantes Roberto Carrillo y Daniel Calderini, quienes a través de sus sugerencias ayudaron a la realización de este trabajo.

A Sylvia Oettinger por su infinita paciencia en la tramitación de todos los aspectos finales de titulación y por su optimismo en la finalización de este periodo.

A mi familia que fueron mi motor para seguir adelante en la vida, en especial a mi madre, que juntas transitamos por caminos muy difíciles donde aprendí a sacar fortaleza y coraje para afrontar el día a día.

A Esteban quien me apoyó desde un inicio ofreciéndome su amor y confianza; a mis amigas Carola y Marlis que siempre me motivaron a terminar.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Definición general de alelopatía	4
2.2	Sustancias Aleloquímicos	4
2.3	Modo de acción de los compuestos alelopáticos	5
2.4	Influencia de factores bióticos y abióticos en los aleloquímicos	5
2.4.1	Factores abióticos	7
2.4.2	Factores bióticos	7
2.5	Alelopatía en trigo	7
2.6	Aleloquímicos en trigo	8
2.6.1	Ácidos fenólicos	9
2.6.2	Ácidos hidroxámicos	10
2.6.3	Ácidos grasos cadena corta	11
2.6.4	Otros agentes alelopáticos	11
2.7	Diferencias entre genotipos de trigo	11
3	MATERIAL Y METODOS	13
3.1	Antecedentes generales	13
3.2	Lixiviados de trigo sobre el crecimiento de <i>R. acetosella</i> , <i>S. arvensis</i> y <i>A. fatua</i> .	14
3.2.1	Caracterización de la unidad experimental	14

3.2.1.1	Macetas	14
3.2.1.2	Siembra y raleo	15
3.2.1.3	Temperatura	15
3.2.1.4	Estado de desarrollo	15
3.2.1.5	Lixiviados de trigo	17
3.2.1.6	Aplicación de nutrientes	17
3.2.2	Diseño experimental	17
3.3	Lixiviados de trigo sobre la emergencia de <i>R. acetosella</i> , <i>S. arvensis</i> y <i>A. fatua</i>	18
3.3.1	Caracterización de la unidad experimental	18
3.3.2	Diseño experimental	18
3.4	Análisis estadístico	19
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
4.1	Caracterización de lixiviados recolectados de diferentes genotipos de trigo	20
4.2	Efectos de lixiviados de trigo sobre tres tipos de malezas receptoras	22
4.2.1	Longitud de planta	22
4.2.1.1	Altura de planta	22
4.2.1.2	Longitud radical	23
4.2.3	Biomasa	25
4.2.3.1	Biomasa aérea	25
4.2.3.2	Biomasa radical	26
4.2.3.3	Biomasa total	28
4.2.3.4	Porcentaje de materia seca	29
4.3	Efectos de lixiviados sobre la emergencia de tres especies de malezas receptoras	30

4.3.1	Porcentaje de emergencia	31
4.3.2	Velocidad de emergencia	32
5	CONCLUSIONES	34
6	BIBLIOGRAFÍA	35
7	ANEXOS	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Porcentaje de germinación de distintos genotipos de trigo y distintas variedades de malezas	13
2	Estados de desarrollo de genotipos de trigo durante el estudio	16
3	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la altura de planta (cm) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra	22
4	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la longitud radical (cm) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.	24
5	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa aérea (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra	25
6	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa radical (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra	27
7	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa total (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra	28
8	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre el porcentaje de materia seca de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra	30
9	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre el porcentaje de emergencia de tres especies de malezas 30 días después de la siembra	31
10	Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la velocidad de emergencia de tres especies de malezas 30 días después de la siembra, expresado en plántulas por día	32

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Medio ambiente biótico y abiótico que influyen en la respuesta de la planta a los Aleloquímicos	6
2	Recolección e incorporación de lixiviados	15
3	Caracterización de conductibilidad eléctrica de diferentes genotipos de trigo a través del tiempo	20
4	Caracterización del pH de diferentes genotipos de trigo a través del tiempo	21

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Gráfico de temperaturas medias registradas durante el desarrollo de los estudios a partir de los 11 días después de la siembra	37
2	Imagen de distribución de macetas por repetición	38
3	Valores obtenidos en medición de la conductibilidad eléctrica (ms/cm) de los diferentes genotipos de trigo.	39
4	Valores obtenidos en medición de pH de los diferentes genotipos de trigo.	40

RESUMEN

Según investigaciones realizadas, diversos genotipos de trigo presentan efectos alelopáticos distintos sobre algunas especies. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los lixiviados acuosos de cuatro genotipos de trigo, Perquenco, Metrenco, Furio y Genial, sobre tres especies de malezas, *Rumex acetosella* L., *Spergula arvensis* L. y *Avena fatua* L., presentes en los cultivos comerciales en el sur del país. Los estudios fueron realizados en invernadero de la Universidad Austral de Chile, por un periodo de 90 días. Los lixiviados radicales de los trigos fueron caracterizados a través de su conductibilidad eléctrica y pH. Al término de este periodo fueron registrados datos como altura de planta y longitud radical, peso fresco y seco, porcentaje de materia seca, porcentaje de emergencia y velocidad de emergencia de las especies de malezas. Los datos obtenidos fueron comparados estadísticamente a través de prueba de Tukey 0,05% con respecto a un testigo. 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 12,4% respectivamente; genotipos Perquenco, Metrenco y Furio disminuyeron la biomasa total de *A. fatua* en 34,58%, 25,84% y 32,23% con respecto al testigo; genotipo Furio produjo descenso en la velocidad de emergencia de *S. arvensis* en un 56,06% respecto al testigo. Los resultados obtenidos se contraponen a los registrados en estudios anteriores, mostrando algún grado de sensibilidad las especies *S. arvensis* y *A. fatua*, ésta última para todas las variables analizadas. La maleza *R. acetosella* no presentó sensibilidad a los distintos cultivares de trigo estudiados.

SUMMARY

According to experimental evidence, various genotypes of wheat have allelopathic effects on different species. The aim of this study was to determine the effect of aqueous leachates from four genotypes of wheat, Perquenco, Metrenco, Furio and Genial on three weed species, *Rumex acetosella* L., *Avena fatua* L. and *Spergula arvensis* L. present in commercial crops in the south of the country. The studies were conducted in a greenhouse at the Universidad Austral de Chile, for a period of 90 days. Leachate radical wheat's were characterized through their electrical conductivity and pH. At the end of this period were recorded: plant height and root length, fresh and dry weight, percentage of dry matter, percentage of emergence and speed emergence of weed species. The data obtained were compared statistically using Tukey test of 0.05% compared to a control. Within the parameters analyzed, the most notable were: Metrenco and Perquenco genotypes reduced root length of *S. arvensis* by 10.6% and 12.4% respectively; Perquenco, Furio and Metrenco genotypes decreased the total biomass of *A. fatua* at 34.58%, 25.84% and 32.23% compared with the control; genotype Furio reduced in the speed of emergence of *S. arvensis* in a 56.06% in relation to control. Results differ with those recorded in previous studies, showing some degree of sensitivity of the species *S. arvensis* and *A. fatua* to wheat aqueous exudates to the all parameters analyzed. The weed *R. acetosella*, was not sensitive to the different cultivars of wheat studied.

1 INTRODUCCION

Existen diversos estudios respecto a la capacidad alelopática del trigo, donde han sido identificados un gran número de compuestos alelopáticos que causan un efecto de inhibidor o potenciador del crecimiento o germinación sobre diferentes especies vegetales.

Las sustancias alelopáticas producidas por el trigo, también llamadas aleloquímicos, en su mayoría son compuestos solubles en agua los que potencialmente pueden ser lixiviados al suelo. Los estudios sugieren que el efecto alelopático del trigo pudiese ser utilizado en el manejo de la vegetación no deseada en el cultivo, siendo incorporada como una herramienta en un programa de manejo integrado de malezas, disminuyendo la dependencia de los herbicidas y otorgando un beneficio ambiental adicional.

En la Universidad Austral de Chile han sido realizados estudios enfocados a evaluar el efecto alelopático diferencial de cultivares de trigo sobre algunas especies de malezas asociadas (BENSCH, 2003). Estos estudios fueron desarrollados a través del Método de Análisis de Laboratorio ECAM (equal-compartment-agar-method). A través de este estudio busca evaluar la liberación de aleloquímicos de los diferentes genotipos de trigo en un sustrato inerte como arena y en condiciones ambientales de invernadero.

En este contexto, como hipótesis de trabajo se postula que las sustancias alelopáticas solubles en agua exudadas por las raíces de trigo, al ser lixiviadas al medio en condiciones de invernadero, inhiben la emergencia y crecimiento de algunas especies de las malezas asociadas al cultivo.

El objetivo general de éste estudio fue determinar el efecto alelopático de los exudados radicales de cuatro genotipos de trigo sobre el desarrollo de tres especies de malezas *Rumex acetosella* L., *Spergula arvensis* L. y *Avena fatua* L.

Objetivos específicos:

- 1) Caracterizar los lixiviados de los diferentes genotipos de trigo a través de su conductibilidad eléctrica y pH.
- 2) Determinar características de los exudados radicales de cuatro cultivares de trigo en condiciones de invernadero, sobre tres especies de malezas frecuentes en el cultivo en la zona sur de Chile.
- 3) Evaluar el efecto de los exudados radicales sobre la emergencia y la biomasa de tres especies de malezas
- 4) Establecer la sensibilidad alelopática de tres especies de malezas asociadas al cultivo en la zona sur de Chile.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Definición general de aleopatía

Según WESTON (1996), el primero en introducir el término aleopatía fue Molisch en el año 1937, señalando la existencia de interacción bioquímica entre las plantas e incluyendo también a los microorganismos.

La aleopatía es definida como un importante mecanismo de interferencia por parte de la planta, efecto causado por la liberación de productos fitotóxicos en el ambiente (WESTON, 1996). Estos productos fitotóxicos pueden producir efectos inhibidores sobre las mismas especies (autotoxicidad) o sobre distintas especies (heterotoxicidad) (MILLER, 1996).

El término aleopatía no debe ser confundido con el término interferencia, este último es usado para referirse a todos los efectos deletéreos de una planta sobre otra, encerrando los términos de aleopatía y competencia (RICE, 1974).

El mayor problema se ha presentado al tratar de separar entre competencia por recursos e interferencia por compuestos alelopáticos, debido al dificultoso entendimiento de los requisitos químicos y mecanismos de acción de las sustancias aleloquímicas (SEIGLER, 1996).

Por otra parte, Harper citado por WEIDENHAMER (1996), argumenta que la interferencia alelopática es poco probable, debido a que las plantas pueden desarrollar rápidamente tolerancia a las toxinas liberadas en el ambiente y además porque las toxinas pueden ser rápidamente degradadas en el suelo por microorganismo adaptados. En una comunidad natural de plantas, alguno de estos organismos puede adaptarse a la liberación de estas sustancias, y ser capaces de metabolizar estos compuestos alelopáticos (SEIGLER, 1996).

SEIGLER (1996), define diversas fuentes de agentes alelopáticos dentro de los cuales están plantas vivas, humus, detritos, lixiviados, bacterias del suelo, hongos del suelo, hongos micorrizas, exudados de raíces, la atmósfera, el agua, partículas de carbono y organismos patógenos.

2.2 Sustancias aleloquímicas

Distintas sustancias fitotóxicas interrumpen la germinación e inhiben el crecimiento de las plantas, las que pueden ser identificadas desde los tejidos de las plantas o desde el suelo. A estas sustancias se conoce con el nombre de aleloquímicos (MILLER, 1996).

Los aleloquímicos pueden entrar al suelo a través de diversos procesos de exudación, degradación del humus y la caída de hojas. Es de suma importancia considerar factores de estudio como la biomasa, densidad de plantas, concentración y solubilización de aleloquímicos específicos para determinar el poder de estas sustancias sobre alguna otra especie (WEIDENHAMER, 1996).

Según Swain, citado por MILLER (1996), los aleloquímicos son usualmente considerados productos secundarios de las plantas o productos de desecho de algún proceso metabólico de la planta.

Entre los grupos de metabolitos secundarios que han sido encontrados en interacciones alelopáticas, se pueden mencionar, ácidos orgánicos simples solubles en agua, alcoholes de cadena abierta recta, aldehídos alifáticos y quetonas, lactonas simples insaturadas, ácidos grasos y compuestos acetilénicos, naftoquinonas, antraquinonas, quinonas complejos, fenoles simples, ácido benzoico, ácido fenólico, ácido cinámico y sus derivados, flavonoides, estilbeno, taninos, terpenoides de algunas categorías (incluyendo monoterpenos, lactonas sesquiterpenos, y lactonas diterpenos), aminoácidos y polipéptidos, alcaloides, glucósidos cianogénicos, glucosinolatos, y purinas y nucleótidos (SEIGLER, 1996).

Según Niemeyer; Niemeyer *et al.*; Niemeyer y Pérez, citados por BENSCH (2003), en trigo, así como en otros cereales y gramíneas silvestres, los ácidos hidroxámicos cíclicos son los aleloquímicos más abundantes. Estos ácidos hidroxámicos son solubles en agua y existen en las plantas intactas como glucósidos que, frente al daño de algún tejido del vegetal, son transformados en α -gluconas más tóxicas por una β -glucosidasa.

Al analizar como algunos cultivos pueden disminuir la población de malezas, WESTON (1996), identifica otro tipo de sustancias alelopáticas presentes, los ácidos fenólicos y ácidos simples. Dentro de éstos cultivos se mencionan los cereales como avena que presenta sustancias aleloquímicas del tipo ácido fenólico y scopoletin; centeno con compuestos de ácido fenólico y benzoxazinonas. Siendo la sustancia común en los diferentes tipos de cereales el ácido fenólico.

2.3 Modo de acción de los compuestos alelopáticos

Algunos de los efectos de los compuestos implicados en los fenómenos de alelopatía sobre la biología de las plantas expuestas a estas sustancias incluyen inhibición de la división celular (cumarina y algunos alcaloides); modificación de la construcción de la pared celular; fitohormonas y su balance; función y permeabilidad de la membrana; modificación del transporte activo; inhibición de enzimas específicas (ácido acetil oxidasa); germinación del polen, esporas y semillas; absorción de nutrientes; movimiento estomático; síntesis de pigmentos; fotosíntesis; respiración (algunos flavonoides); síntesis de proteínas (algunos fenólicos y alcaloides); biosíntesis de leghemoglobina y fijación de N_2 ; inhibición de bacterias nitrificantes, bacterias fijadoras de N_2 , y hongos micorrizas; relación planta-agua; modificación de DNA y RNA; compensación de nutrientes; prevención o promoción de formación de haustorios en parásitos; y cambios en la frecuencias de otros organismos, como por ejemplo, patógenos (SEIGLER, 1996).

2.4 Influencia de factores bióticos y abióticos en los aleloquímicos

El crecimiento y desarrollo de una planta esta 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 (EINHELLIG, 1996).

Según Einhellig (1987), Fischer et al. (1994); citados por SEIGLER (1996), factores como la temperatura, agua, disponibilidad de nutrientes, y densidad de plantas puede modificar significativamente la respuesta de la planta a las sustancias aleloquímicas.

Los aleloquímicos constantemente ingresan y son removidos desde la solución del suelo. Existen diversas vías para la remoción de aleloquímicos del suelo (Figura 1), 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) (WEIDENHAMER, 1996).

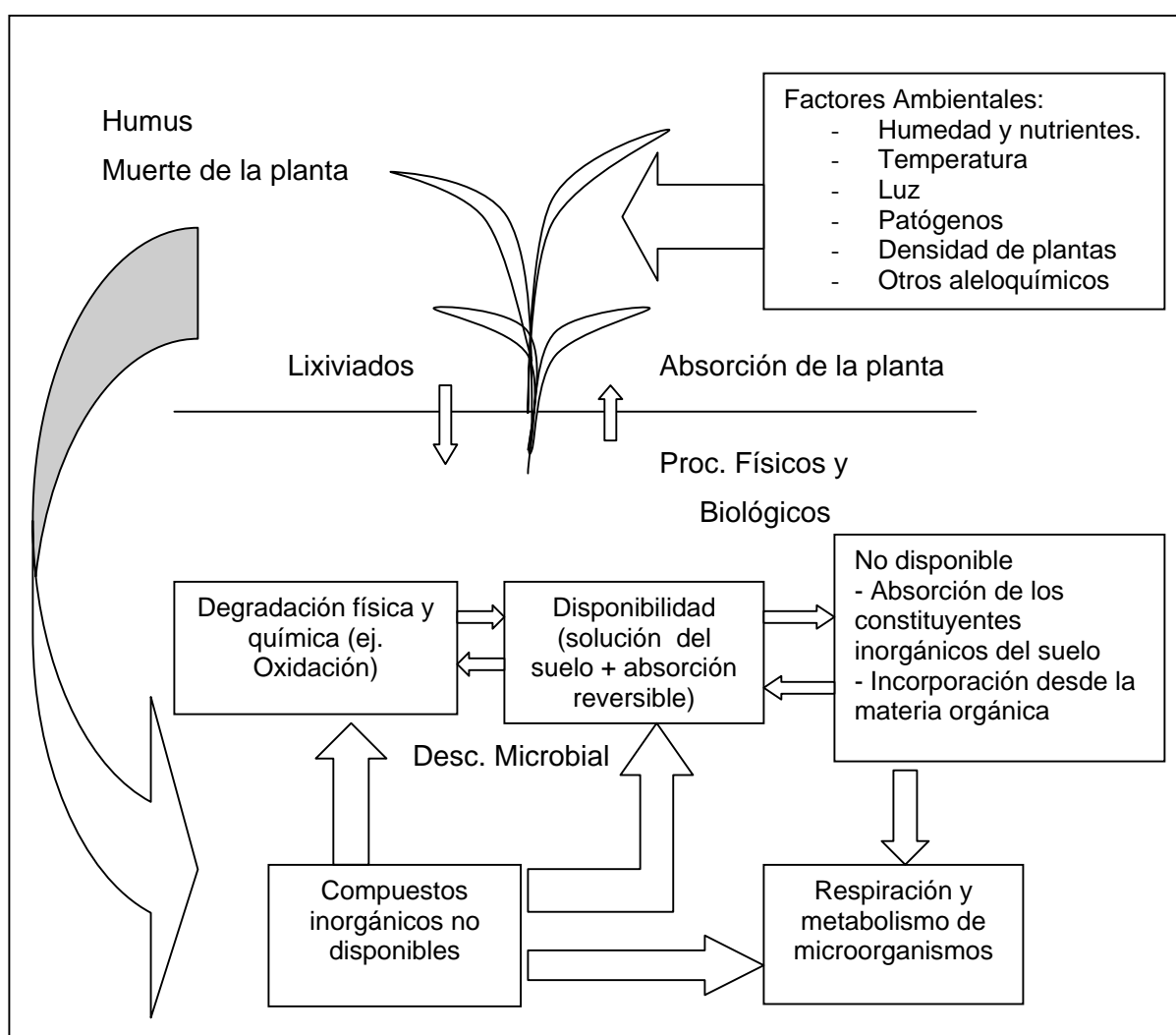


FIGURA 1: Medio ambiente biótico y abiótico, factores que influyen en la respuesta de la planta a los aleloquímicos (WEIDENHAMER, 1996).

2.4.1 Factores abióticos. Dentro de estos factores, los de mayor importancia son la disponibilidad de nutrientes, la temperatura, la humedad y la irradiancia. Estos factores interactúan estimulando o inhibiendo la liberación de aleloquímicos al medio ambiente.

Según varios autores citados por EINHELLIG (1996), plantas adultas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) con una baja disponibilidad de N, K, Mg o S frecuentemente poseen mayores niveles de scopoletin y ácido clorhídrico en sus tejidos que plantas con niveles suficientes de nutrientes.

Niemeyer citado por EINHELLIG (1996), menciona que los niveles de ácido hidroxámico en tejidos de plantas de centeno (*Secale cereale* L.) se incrementan por la deficiencia de Fe, baja irradiancia, baja temperatura, y otros factores extrínsecos.

Por otra parte, distintos ácidos fenólicos interfieren en la absorción de minerales y causan una reducción subsiguiente en la concentración de nutrientes en el tejido. En condiciones de déficit de N y K se ha visto una gran inhibición de ácido hidroxámico. Por el contrario, al existir un déficit de P aumenta la toxicidad de ácido vanílico y ácido *p*-cumárico en la cebada. De esto se concluye que la toxicidad de los ácidos fenólicos depende de la concentración de nutrientes (EINHELLIG, 1996).

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.

2.4.2 Factores bióticos. La respuesta de las plantas a los aleloquímicos, también 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 (EINHELLIG, 1996).

Los insectos pueden producir cambios metabólicos en la planta, incluyendo reubicación del carbono para síntesis de compuestos de defensa. Algunos de estos compuestos, como la gramina y hordenina en cebada, están implicados en la alelopatía. Por lo que es lógico que el estrés producido por el ataque de insectos y el contacto con aleloquímicos en el ambiente, ya sea simultáneamente o tardíamente, puede resultar en un efecto de deterioro acumulado, para el crecimiento y productividad de la planta (EINHELLIG, 1996),

2.5 Alelopatía en trigo

Investigaciones realizadas en trigo han analizado el efecto alelopático del mismo sobre otros cultivos, malezas, insectos y enfermedades; el aislamiento e identificación de las sustancias aleloquímicas; la autotoxicidad del trigo; y el manejo de los residuos del trigo (WU *et al.*, 2001a).

La habilidad del trigo para producir compuestos alelopáticos puede ser utilizada de diversas maneras en el control de malezas, como cobertura alelopática o cultivo de protección, rotación alelopática o cultivo acompañante, extractos tóxicos desde plantas

alelopáticas, mulch o incorporación de residuos al cultivo, herbicida natural y en el desarrollo de cultivares con potencial para la supresión de malezas (WU *et al.*, 1999).

En un estudio realizado por WU *et al.*, (2001b), se demostró 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 ballica anual 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.

Posteriormente, WU *et al.*, (2007), demostraron que los dentro la variedad trigo existen características alelopáticas y autotóxicas; identificando genotipos con características claras de auto toxicidad y otros con sensibilidad a éstos. El efecto inhibitorio fue producido sobre la germinación, largo de radícula o largo del coleóptilo, condición que sugieren controlar a través de estrategias de cultivo.

Wu *et al.* Citado por BENSCH (2003), evaluaron el efecto alelopático de una colección mundial de 453 genotipos de trigo sobre *Lolium rigidum* L. Entre otros aspectos encontraron que algunos genotipos de trigo de 17 días, difirieron significativamente en su inhibición alelopática sobre el crecimiento radical de *L. rigidum*. Algunos genotipos inhibieron el largo radical de *L. rigidum* en más de 80%, en comparación con el testigo.

Estudios realizados por BENSCH (2003) en la Universidad Austral de Chile, evaluaron el potencial alelopático diferencial de cincuenta cultivares de trigo sobre cuatro malezas (*R. acetosella*, *S. arvensis*, *Vulpia bromoides* (L.) S.F. Gray y *A. fatua*). Para determinar la sensibilidad de éstas, se realizaron estudios preliminares utilizando como especie receptora a ballica (*L. rigidum*) siendo una especie reportada en la literatura como altamente sensible a trigo. Considerando estos resultados, seleccionó nueve variedades de trigo, con diferente grado de potencia inhibitoria y los utilizó como especie dadora sobre nueve malezas comunes en los cultivos de trigo de nuestro país.

De este modo, BENSCH (2003), determinó que de las nueve especies de malezas, cuatro presentaban un alto grado de sensibilidad a los exudados radicales de trigo, las que fueron expuestas a los exudados radicales de cincuenta variedades de trigo, obteniendo un rango de inhibición para cada especie de maleza. Destacó que *S. arvensis* y *R. acetosella* fueron muy sensibles a los exudados radicales de algunos cultivares de trigo. *S. arvensis* fue mayormente inhibida por los cultivares Renaico (88%), Baroudeur (85%), Perquenco (82%), Dalcahue (81%), Metrenco (80%), Chifen (80%), Quijote (79%), Aztec (78%), Paleta (73%) y Domo (71%); y para *R. acetosella* identificó sensibilidad a los siguientes cultivares: Budifen (70%), Metrenco (69%), Naofen (66%), Perquenco (67%) y Dalcahue (65%). En el caso de *V. bromoides* y *A. fatua* la sensibilidad a los exudados fue de menor cuantía, sin embargo, destacó algunos valores extremos de inhibición, entre 68 y 62% para *V. bromoides* y entre 74 y 61% para *A. fatua*.

2.6 Aleloquímicos 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 siríngico, 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.

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.*, 2000).

Por la importancia del trigo, se ha investigado con cierta intensidad el potencial alelopático diferencial entre genotipos con resultados promisorios, por ejemplo fueron evaluados 286 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) para estudiar el potencial alelopático sobre el desarrollo de *Bromus japonicus* L. y *Chenopodium album* L. Cinco genotipos de trigo produjeron exudados radicales significativamente inhibitorios para el crecimiento radical de las dos especies de plantas receptoras (Spruell, citado por WU *et al.*, 1999).

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.

2.6.1 Ácidos fenólicos. Los ácidos fenólicos han sido identificados como agentes alelopáticos en el trigo. De este grupo forman parte los siguientes ácidos: hidroxibenzoico, vanílico, *p*-cumárico, siríngico 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 provocan un desbalance hormonal y alteran la permeabilidad de la membrana celular.

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

Según WU *et al.* Citado por BENSCH (2003), 38 cultivares de *T. aestivum* y uno de *Triticum durum* Desf fueron evaluados para comprobar su potencial alelopático diferencial sobre *Lolium rigidum* Gaud. A través de bioensayos de extractos radicales. Algunos cultivares inhibieron significativamente tanto la germinación como el desarrollo radical de *L. rigidum* y determinaron que el potencial alelopático de los cultivares de trigo se correlacionó positivamente con el contenido total de ácidos fenólicos.

WU *et al.*, (2000a) analizaron siete ácidos fenólicos implicados en la alelopatía del trigo, para ello utilizaron una colección de 58 tipos 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, y entre 86 a 547 mg/kg de materia seca para el caso de los brotes y las raíces respectivamente, de los 58 trigos. 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.*, 2000a).

El comportamiento alelopático de un extracto particular de trigo, esta altamente correlacionado con el total de ácidos fenólicos. Así lo señalaron WU *et al.* (1998), en la investigación sobre el efecto de los residuos de trigo sobre *L. rigidum*, donde la elongación de la radícula y germinación de la semilla de ballica anual fue mayormente inhibida por los extractos que contenían una alta cantidad de ácidos fenólicos. Los resultados indicaron que los ácidos fenólicos son los compuestos activos responsables de los efectos alelopáticos de los residuos de trigo sobre la ballica anual.

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

DIMBOA (2,4-dihidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona), es el principal ácido hidroxámico en trigo, y los productos derivados de su descomposición, MBOA (6-metoxibenzoxazolin-2-ona). Inhiben en un 50% el crecimiento de la avenilla (*A. fatua*) para concentraciones de 0,7 y 0,5 Mm respectivamente (PEREZ, 1990).

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.*, (2001c).

Las variedades de trigo difieren en la producción de DIMBOA. La concentración de DIMBOA varía en un rasgo de 1,4 a 11 mmol/kg de peso fresco en 52 variedades de trigo chileno (COPAJA *et al.*, 1991), y desde 0,99 a 8,07 mmol/kg de peso fresco en una colección silvestre de 47 variedades de trigo (NICOL *et al.*, 1992).

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.

2.6.3 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, Tang y Wass citados por WU *et al.*, 2001a).

Los ácidos grasos de cadena corta de mayor importancia han sido identificados por Tang, Wass y Lynch *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.

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

2.7 Diferencias entre genotipos de trigo

Investigaciones en pepino (*Cucumis sativus* L.), arroz (*Oriza sativa* L.) y trigo (*T. aestivum*) han mostrado que existe una variación considerable en la actividad alelopática entre cultivares, y que solo algunas cultivares inhiben fuertemente el crecimiento de ciertas especies de malezas (WU *et al.*, 1999).

En estudios realizados por BENSCH (2003) fueron clasificados cultivares de trigo de acuerdo al efecto alelopático ejercido sobre las malezas evaluadas existiendo diferencia significativa entre éstos. Demostrando de manera clara que los distintos genotipos de trigo evaluados presentaban una actividad alelopática distinta. Sin embargo, dependiendo de la especie de maleza objeto un mismo cultivar ejerció alelopatía muy variable, con un efecto inhibitor o potenciador sobre el crecimiento radical.

RIVZI *et al.*, (2000), investigaron la variación genética en la actividad alelopática de genotipos de trigo. Los resultados preliminares de su investigación mostraron una gran variabilidad genética entre cultivares de trigo respecto de la producción de aleloquímicos, pudiendo ser éste un factor de importancia para la futura producción de cultivares. Estos resultados también revelan que algunos genotipos de trigo pueden ayudar en el control o reducción de la población de malezas en el cultivo, produciendo cierto tipo de aleloquímicos que suprimen, inhiben o eliminan la maleza competidora.

La inhibición causada por diferentes genotipos de trigo puede ser atribuida a la presencia de un gen mayor, el que controla la producción de aleloquímicos, como los ácidos acético, propiónico, butírico, vanílico, siríngico, *p*-cumárico, *p*-hidroxibenzoico, DIMBOA (2,4-dihidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona) (RIVZI *et al.*, 2000).

El estudio del control genético de las características alelopáticas del trigo es de gran importancia para la manipulación de variedades de cultivos con un alto potencial alelopático. Dilday *et al.* Citado por WU *et al.*, (2001a) postularon que el uso de herbicidas puede ser reducido, de manera drástica, si los genes que controlan el

potencial alelopático de las especies de trigo sobre las principales malezas, pudiese ser transferido dentro de variedades comerciales.

Nuevos cultivares de *T. aestivum* con un aumento en el vigor temprano y en la actividad alelopática presentaron potencial para reducir la interferencia de malezas. Características que según BERTHOLDSSON (2004), pudieran ser utilizadas dependiendo de la disponibilidad de variabilidad genética, heredabilidad y si las características son convenientes desde el punto de vista de la producción.

Según YONGQING, (2005), futuras investigaciones necesitan primeramente determinar el control genético de las características alelopáticas del trigo para luego identificar los cultivares alelopáticos. Potencial alelopático que puede ser transferido genéticamente a la siguiente generación.

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Antecedentes generales

El estudio se realizó por un periodo total de 120 días, bajo condiciones de invernadero, en la Facultad de Ciencias Agrarias ubicado en el Campus Isla Teja de la Universidad Austral de Chile.

Como especies dadoras fueron utilizadas cuatro cultivares de trigo, Perquenco INIA, Metrenco INIA, Furio y Genial, las especies receptoras fueron tres especies de malezas: *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua* L.

Los genotipos de trigo y las especies de malezas fueron seleccionados en base a investigaciones en laboratorio realizadas con anterioridad por BENSCH (2003). En ese estudio se determinó que los cuatro cultivares de trigo poseían un alto potencial alelopático y a la vez, las malezas que fueron utilizadas en éste ensayo, presentaron un alto grado de sensibilidad a los cuatro genotipos de trigos mencionados anteriormente.

Las semillas de trigo que se utilizaron en el estudio provinieron del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), mientras que las semillas de las especies de malezas fueron suministradas por el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

Todas las semillas fueron sometidas previamente a una prueba de germinación en laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Agrarias. Los porcentajes de germinación se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1 Porcentaje de germinación de distintos genotipos de trigo y distintas variedades de malezas.

Especie	% Germinación
<i>T. aestivum</i> cv. Perquenco INIA	98
<i>T. aestivum</i> cv. Metrenco INIA	100
<i>T. aestivum</i> cv. Furio	100
<i>T. aestivum</i> cv. Genial	100
<i>R. acetosella</i>	40
<i>S. arvensis</i>	12
<i>A. fatua</i>	66

Para determinar el efecto de los lixiviados de trigos sobre el desarrollo de tres especies de malezas, se realizaron dos experimentos.

El primer experimento, denominado “**Efecto de lixiviados de trigos sobre el crecimiento de *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua***”, tuvo como finalidad demostrar la existencia del efecto inhibitorio o potenciador de los lixiviados de los distintos cultivares de trigo en el crecimiento de las tres especies de malezas.

El segundo experimento, denominado “**Efecto de lixiviados de trigos sobre la emergencia de *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua***”, consistió en un ensayo de emergencia a las mismas especies de malezas utilizadas anteriormente, con el fin de determinar el efecto de los exudados radicales de las variedades de trigo en estado de desarrollo de encañado.

3.2 Lixiviados de trigos sobre el crecimiento de *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua*

Este estudio se basó en riegos constantes con los lixiviados de las cuatro variedades de trigo mencionadas más un testigo (especies dadoras), sobre tres tipos de malezas susceptibles a estas variedades (especies receptoras). La duración de este experimento estuvo determinada por el estado de desarrollo fenológico de las especies de trigo comenzando en el estado Z0.0 hasta Z2.5 (ZADOKS *et al.*, 1974), momento en el cual se dio por terminado el ensayo. Periodo que correspondió a 90 días después de la siembra.

3.2.1 Caracterización de la unidad experimental. El objetivo de éste capítulo fue obtener una clara visión de los principales aspectos que rodearon el estudio, incluyendo características físicas y ambientales del entorno en el cual se desarrolló el experimento.

3.2.1.1 Macetas. Como unidad básica para los estudios se utilizaron macetas plásticas para las distintas variedades de trigo y las diferentes especies de malezas.

Cada maceta de trigo correspondió a botellas plásticas de 2,5 L de volumen pintadas de negro, a las cuales se les cortó la parte inferior dejando los tres cuartos superiores de ellas. Estas macetas fueron montadas sobre una repisa de madera con pequeños agujeros donde calzó el gollete de la botella, permitiendo recibir el lixiviado en la parte baja con un vaso plástico, para luego ser incorporado como riego a las macetas pertenecientes a las malezas.

La maceta utilizada en las malezas poseía un volumen de 0,5 L y correspondía a la parte baja de una botella plástica pintada de negro.

Como sustrato se utilizó material inerte (arena) con el objetivo de proporcionar todos los nutrientes necesarios para los trigos y especies de malezas a través del riego. Para liberar todo posible nutriente incorporado en el arena se procedió a lavar con abundante agua de la llave y reiteradas veces el sustrato, asegurando así la eliminación de cualquier nutriente que hubiese existido.

El proceso de recolección e incorporación de los lixiviados se representa gráficamente en la Figura 2.

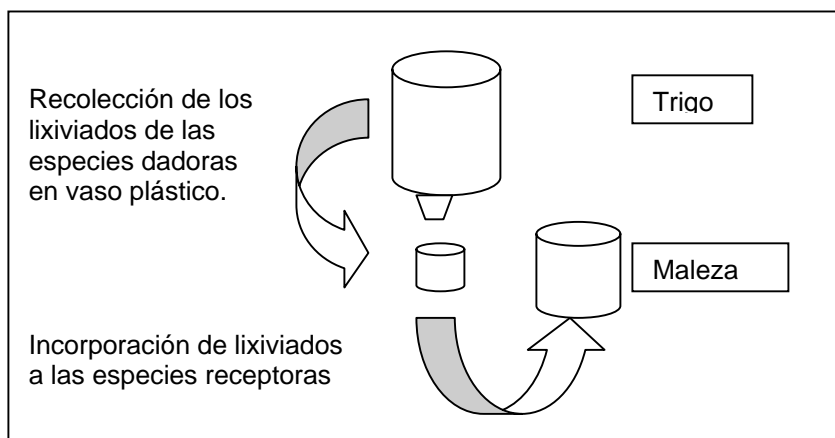


FIGURA 2: Recolección e incorporación de lixiviados

3.2.1.2 Siembra y raleo. Los datos obtenidos en la prueba de germinación fueron utilizados al momento de la siembra, debido a que la cantidad de semillas sembradas se basó en el porcentaje de germinación que presentó cada especie.

La cantidad de semillas de trigo que se utilizaron por maceta fue de 20 unidades para las distintas variedades.

En el caso de las malezas, ésta cantidad no fue constante en todas las especies ya que poseían distinto porcentaje de germinación. Se buscó una cantidad uniforme de 10 plantas por maceta, por lo que fueron sembradas 25 semillas de *R. acetosella*, 83 semillas de *S. arvensis* y 16 semillas de *A. fatua*.

Todas las macetas, tanto el trigo como las malezas, fueron sembradas simultáneamente y regadas con agua de la llave y solución nutritiva desde el inicio del estudio.

Dos semanas después de sembrados los trigos, se realizó raleo para dejar finalmente la cantidad uniforme de 17 plantas por maceta de trigo. En el caso de las malezas, la cantidad final de plantas por maceta después del raleo fue de 7 unidades.

El raleo se efectuó dos semanas después de la siembra. En las semanas posteriores se mantuvo la contabilidad de plantas por maceta con la finalidad de mantener estos valores constantes durante el ensayo, efectuando raleos eventuales para el caso de las malezas, debido a que la germinación de estas especies no fue homogénea sino más bien dispersa a través del tiempo.

3.2.1.3 Temperatura. Diariamente fueron registradas las temperaturas máxima y mínima existente dentro del invernadero, manteniendo la máxima de rigurosidad posible. Estas mediciones determinaron las fluctuaciones de temperatura existentes en el período de tiempo establecido para la realización del ensayo. En el ANEXO 1 se presentan las temperaturas medias registradas durante el periodo.

3.2.1.4 Estado de desarrollo. El estado de desarrollo fenológico de cada especie fue observado y registrado desde la siembra hasta el final del ensayo en el caso del trigo, y hasta el día 35 después de la siembra para el caso de las malezas debido a la dificultad que presenta caracterizar los estados vegetativos de las especies de

malezas. La escala ZADOKS *et al.* (1974), fue utilizada para determinar el desarrollo fenológico por maceta del trigo.

Las observaciones en las distintas variedades de trigo, fueron realizadas una vez por semana, comenzando 7 días después de la siembra.

Todos los cultivares de trigo presentaron la misma fenología, es decir, los estados de desarrollo coincidieron en el tiempo entre los distintos cultivares.

La descripción del estado de desarrollo fenológico para los cuatro genotipos de trigo se indica claramente en el Cuadro 2.

CUADRO 2: Estados de desarrollo de genotipos de trigo durante el estudio.

Días después de la siembra	Estado de Desarrollo	Escala de Zadocks <i>et al</i>
7	Emergencia	Z0.5
14	Emergencia	Z0.9
21	1º hoja desarrollada	Z1.1
28	1º hoja desarrollada	Z1.1
35	Dos hojas desarrolladas	Z1.2
42	Dos hojas desarrolladas	Z1.2
49	Tres hojas desarrolladas	Z1.3
56	Tres hojas desarrolladas	Z1.3
63	Cuatro hojas desarrolladas	Z1.4
70	Un tallo principal y un macollo	Z2.1
77	Un tallo principal y tres macollos	Z2.3
84	Un tallo principal y cinco macollos	Z2.5
91	Un tallo principal y cinco macollos	Z2.5
98	1º nudo detectable	Z3.1
105	2º nudo detectable	Z3.2
112	3º nudo detectable	Z3.3

3.2.1.5 Lixiviados de trigo. Dos semanas después de la emergencia de las plántulas de trigo fueron recolectados los lixiviados para ser caracterizados en el Laboratorio de Fitoquímica, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. El muestreo fue repetido cada 7 días hasta finalizar los estudios.

La caracterización de los lixiviados radicales se realizó mediante la medición de la conductibilidad eléctrica (expresada en ms/cm) y el pH.

Para la obtención de los lixiviados que fueron analizados, las macetas fueron regadas con agua de llave dos veces por semana con una cantidad aproximada de 400cc por maceta. Valor definido previamente tras probar diferentes volúmenes de agua hasta obtener un volumen lixiviado de 200cc aproximado por maceta, el que fue recolectado en vasos plásticos.

Una porción de cada lixiviado (aprox. 40cc) fue guardado en frascos previamente diferenciados para ser caracterizados en laboratorio, esta medición fue realizada una vez por semana.

El volumen restante de lixiviado de cada genotipo de trigo fue regado sobre las macetas de malezas correspondientes, para evaluar el crecimiento de las malezas.

3.2.1.6 Aplicación de nutrientes. Consistió en solución nutritiva completa de Hoagland, la que fue distribuida dos veces por semana en forma uniforme.

El volumen de solución agregado por semana fue de 100cc por maceta, dividido en dos riegos (50 cc por maceta en cada riego).

En el caso de las malezas fue suministrada la cantidad de 50cc de solución nutritiva completa de Hoagland por semana, distribuida uniformemente en dos riegos por semana (25cc por maceta en cada riego). El suministro de nutrientes comenzó dos semanas después de la siembra, tanto para trigos como para las especies de malezas.

3.2.2 Diseño experimental. El ensayo fue realizado en bloques completos al azar, con 15 tratamientos y cuatro repeticiones, correspondientes a un arreglo factorial de cinco dadores de lixiviados; cuatro genotipos de trigo más un testigo, por tres especies receptoras (malezas), con cuatro repeticiones.

El testigo utilizado en las cuatro repeticiones, correspondió a una maceta sin trigo, solamente sustrato inerte (arena).

Al montar los experimentos, cada repetición correspondió a una repisa con sus respectivas macetas para trigo y malezas claramente identificadas. En el ANEXO 2, se ilustra la distribución de las macetas por repetición.

La cuantificación de la biomasa de las malezas (especies receptoras) fue realizada 90 días después de la siembra. Obteniendo biomasa aérea, biomasa radical y biomasa total

Cada maceta de la especie receptora fue sometida al mismo procedimiento, comenzando por el corte de la parte aérea de las plantas de malezas existentes en cada maceta, posteriormente fueron estiradas para determinar la altura máxima por maceta.

Las raíces fueron cuidadosamente lavadas con agua de la llave para deshacerse de todas las partículas de arena. Una vez libres de todo el sustrato, fueron secadas con

papel absorbente para eliminar el exceso de agua, estirando y midiendo el largo máximo de las raíces por maceta.

Además se registró el peso fresco de las plantas correspondientes a cada maceta, en forma separada hojas y raíces; ambas partes de la planta se guardaron en bolsas de papel claramente identificadas para ser sometidas a secado en un horno a 60°C por 72 h. Luego se registró el peso seco de la parte aérea y radical de cada especie de maleza por maceta.

3.3 Lixiviados de trigos sobre la emergencia de *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua*

Una semana después de realizada la cosecha, se comenzó el segundo experimento, el que consistió en un ensayo de emergencia practicado a las tres especies de malezas mencionadas anteriormente.

La duración de este estudio fue de 30 días. Al finalizar esta etapa, el trigo, especie dadora, se encontraba en Z3.3 (ver Cuadro 2).

3.3.1 Caracterización de la unidad experimental. Este ensayo utilizó básicamente el mismo procedimiento que el estudio descrito anteriormente. Las pequeñas variaciones en el procedimiento son descritas a continuación.

La unidad básica utilizada para el desarrollo de este ensayo fueron las macetas con el trigo en estado de desarrollo fenológico de encañado, mismas macetas que fueron utilizadas en el estudio anterior. Las especies de malezas, utilizaron macetas de capacidad de 200cc, que igualmente fueron llenadas con arena lavada como sustrato inerte.

La siembra de las malezas fue realizada simultáneamente en todas las macetas. El número de semillas por maceta fue determinado por el porcentaje de germinación de cada especie de maleza, que fue determinado previamente en cámara de germinación, con el objetivo de obtener una cantidad final aproximada de 10 plántulas por maceta.

La cantidad de semillas que fueron sembradas en cada especie de maleza estudiada fue de 25 unidades en *R. acetosella*, 83 unidades en *S. arvensis* y 16 semillas en *A. fatua*. Mismos valores que fueron utilizados en el estudio anterior.

El riego con lixiviados de trigo fue realizado con la misma periodicidad que el estudio anterior; dos veces por semana a partir de la siembra, cuando los trigos presentaban un estado de desarrollo Z3.1. Las condiciones de temperatura y desarrollo fenológico del trigo, fueron registradas periódicamente durante este ensayo al igual que en el ensayo de crecimiento de malezas. El ANEXO 1 y en el Cuadro 2 registran estas observaciones

No se realizó el riego con solución nutritiva, debido a que solo fue evaluada la cantidad de semillas emergidas por maceta.

3.3.2 Diseño experimental. El diseño experimental de este estudio fue similar al ensayo anterior. Formado por bloques completos al azar, 15 tratamientos con cuatro repeticiones; tratamientos compuestos por cuatro variedades de trigo, un testigo y tres especies de malezas.

La cuantificación de las semillas emergidas por maceta se realizó cada 7 días por un período de 30 días.

3.4 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los lixiviados de los diferentes genotipos de trigo sobre las especies de malezas se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) para cada variable estudiada, no sin antes realizar pruebas de contraste de homogeneidad de los datos obtenidos.

Los datos porcentuales de materia seca y emergencia fueron transformados a $\text{arcoseno}\sqrt{x}$ previo al análisis de varianza.

Para el cálculo de la velocidad de emergencia se utilizó fórmula expresada a continuación. (RAMOS *et al.*, 2003)

$$VE = \frac{\text{Número de plátulas normales}}{\text{Días a primer conteo}} + \dots + \frac{\text{Número de plátulas normales}}{\text{Días al conteo final}}$$

(1)

Finalmente, para determinar si existieron diferencias entre los datos obtenidos, se realizó una comparación de las medias de todos los tratamientos. Fue utilizada la prueba de Tukey 0,05 ($\alpha = 0,05$).

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Caracterización de lixiviados recolectados de diferentes genotipos de trigo

En el presente capítulo se caracterizan los lixiviados de los diferentes genotipos de trigo a través de su conductibilidad eléctrica como de su grado de acidez o alcalinidad (pH).

Los datos obtenidos de la conductibilidad eléctrica de los lixiviados fluctuaron entre 0,316 ms/cm para el genotipo Genial y 0,107 ms/cm para el genotipo Perquenco (Figura 3). A medida que avanza el tiempo desde la fecha de siembra, decayó la conductibilidad eléctrica de los distintos genotipos incluyendo el testigo que contiene como sustrato arena. El detalle de estos valores se encuentra disponible el ANEXO 3.

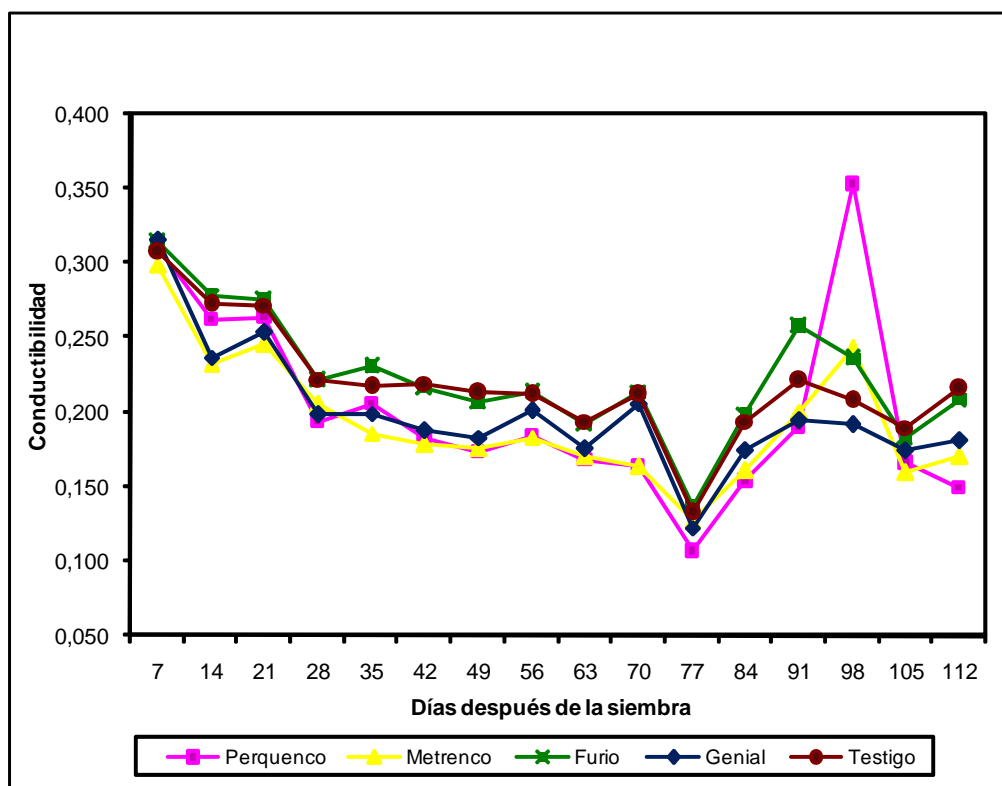


FIGURA 3 Caracterización de conductibilidad eléctrica de diferentes genotipos de trigo a través del tiempo.

Al observar la curva de conductibilidad eléctrica de los lixiviados de trigo, no se distinguió diferencias marcadas a través del tiempo entre los distintos genotipos y el testigo, por lo que no fue posible determinar una condición distinta entre ellos. Sin embargo entre los 35 y 63 días el testigo aparentemente mostró valores superiores a los Perquenco y Metrenco.

El cultivar Perquenco mostró un pico en la conductibilidad eléctrica, hecho que pudiera deberse a un error experimental.

En el caso del pH, los valores para los diferentes tipos de lixiviados se presentan en la Figura 4. El valor mínimo se observa en el testigo, correspondiente a un pH de 5,86. El valor máximo corresponde al genotipo Perquenco con un pH de 6,72. Los exudados radicales del testigo presentaron valores inferiores con respecto a los cultivares, condición que se mantuvo en el tiempo.

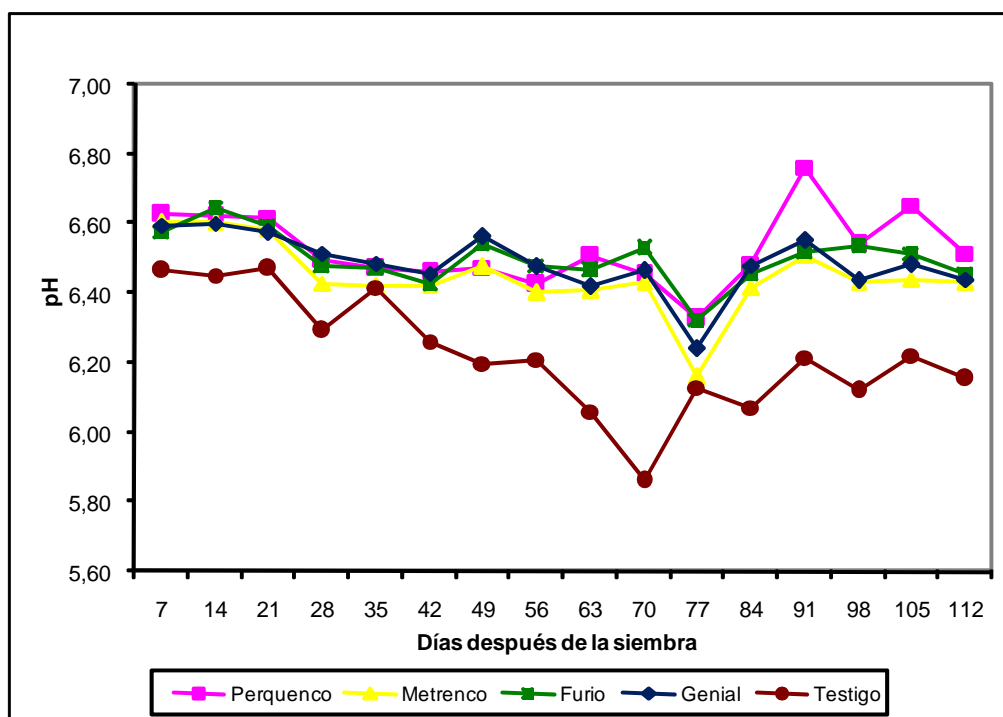


FIGURA 4 Caracterización del pH de diferentes genotipos de trigo a través del tiempo.

También fueron tomados los valores de conductibilidad eléctrica y pH del agua desionizada los que corresponden 0,008 ms/cm y 5,4 respectivamente; y del agua ocupada para el riego obteniendo los valores de conductibilidad eléctrica y pH de 0,298 ms/cm y 6,51, respectivamente.

Hay que recordar que estos datos solo caracterizan los lixiviados por lo que no fueron sometidos a ningún tipo de análisis estadístico que permitiera determinar si existieron diferencias significativas entre el testigo y los distintos genotipos de trigo.

Al comparar gráficamente la conductibilidad eléctrica y el pH en los datos referidos al periodo de 77 días después de la siembra, para ambos casos se observó una caída en los valores. Si contrastamos esta información con las temperaturas registradas entre los 75 a 79 días después de la siembra; las que siguen la misma tendencia en toda la duración de los experimentos, no se puede inferir ninguna relación que explique la caída en los valores para conductibilidad eléctrica y pH de todos los tratamientos para ese periodo.

4.2 Efectos de lixiviados de trigo sobre tres tipos de malezas receptoras

Las variables analizadas para determinar el efecto inhibitor o potenciador de trigo sobre las especies de malezas utilizadas en éste estudio, se pueden agrupar en:

- Longitud de la planta.
- Biomasa.

4.2.1 Longitud de planta. Para determinar el efecto de los exudados radicales de los genotipos de trigo sobre las malezas receptoras, esta variable constó de dos análisis. El primero evaluó el efecto sobre la altura de planta y el segundo sobre el largo radical.

4.2.1.1 Altura de planta. Se evaluó el efecto inhibitor o potenciador de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la altura de planta de tres malezas sensibles a las sustancias alelopáticas liberadas por las raíces del trigo, que corresponden a *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua*. Estas especies de malezas demostraron un alto grado de sensibilidad según estudios realizados por BENSCH (2003).

Para el caso de *R. acetosella* los valores registrados (Cuadro 3) muestran que no existieron diferencias estadísticas entre el efecto de los distintos genotipos de trigo y el testigo. El valor máximo de longitud de planta, pero no significativo, lo presentaron macetas regadas con lixiviado del genotipo Metrenco y correspondió a 15,25 cm, el testigo presentó un valor de 13,45 cm. Al realizar un análisis visual de las macetas, el crecimiento de las malezas se observó homogéneo con respecto al testigo.

CUADRO 3 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la altura de planta (cm) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	11,50 a *	47,30 b	55,20 a
Metrenco	15,25 a	46,38 b	55,30 a
Furio	12,50 a	50,33 ab	48,03 b
Genial	12,90 a	54,45 a	54,90 a
Testigo	13,45 a	52,93 a	47,65 b
Error Estándar	0,31	0,78	0,90

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

S. arvensis presentó una situación distinta, los valores fueron estadísticamente distintos según el Cuadro 3. En las macetas regadas con lixiviados de los genotipos Perquenco y Metrenco, se produjo un efecto inhibitor, es decir, el crecimiento aéreo de

S. arvensis fue inferior al crecimiento presentado por las malezas regadas por el genotipo Genial y el testigo sin trigo.

Al comparar porcentualmente las macetas que presentan sensibilidad a los genotipos de trigo con el testigo, la altura de planta de las malezas regadas con el cultivar Perquenco tuvo una disminución del 10,6 %, mientras que Metrenco decayó en un 12,4% la altura de planta.

La respuesta observada en *A. fatua* muestra diferencias significativas, contrariamente a lo visto en el caso de *S. arvensis* existió un efecto potenciador de las plantas regadas con los genotipos Perquenco, Metrenco y Genial, al ser comparadas porcentualmente con el testigo presentan un incremento en la altura de planta de 15,8 %, 16 % y 15,2%, respectivamente. El genotipo Furio no presentó diferencias significativas con el testigo, pero sí con las variedades Perquenco, Metrenco y Genial.

Al evaluar la sensibilidad de las tres malezas a los cinco tratamientos, los genotipos Perquenco y Metrenco afectaron la altura de planta de *S. arvensis* y *A. fatua*; aunque de manera contraria. Para el primer caso produjeron una inhibición del crecimiento con respecto al testigo, mientras que en el segundo provocaron un potenciamiento de la altura de planta.

Existen antecedentes de estudios realizados por WU *et al.* (1999, 2001a, 2001b), en los cuales también se describió un efecto inhibitorio o potenciador de diversas variedades de trigo sobre distintas especies de malezas lo que es común en esta clase de investigaciones, situación que puede deberse al efecto de las sustancias alelopáticas sobre la actividad celular, la síntesis de proteínas y balance de fitohormonas.

Los genotipos de trigo fueron escogidos por su respuesta alelopática sobre éstas tres especies de malezas, los resultados obtenidos para *R. acetosella* son contrastantes con respecto a los obtenidos por BENSCH (2003), ésta maleza fue considerada la más sensible a los exudados radicales de las variedades de trigo, presentando un rango de inhibición de (+8 y 70%). Estos estudios fueron realizados en la etapa inicial del crecimiento de la maleza por lo que es posible que *R. acetosella* presente cambios en su sensibilidad a los exudados aplicados, que podrían ser causados por el desarrollo normal de la maleza, siendo capaz de compensar los efectos detrimentales de estos (WEIDENHAMER, 1996).

Los resultados obtenidos para el caso de *S. arvensis*, coinciden plenamente con los publicados por BENSCH (2003), debido a que la maleza respondió con un grado de sensibilidad a los exudados provenientes de los genotipos Perquenco y Metrenco.

Aunque BENSCH (2003), describe un efecto inhibitorio sobre *A. fatua*, con una menor sensibilidad que las otras especies de malezas, en ésta investigación se produce lo contrario, un potenciamiento en la altura de planta aérea para ésta especie de maleza.

4.2.1.2 Longitud radical. La metodología comúnmente descrita para medir el efecto alelopático en la planta receptora, consiste en medir la longitud alcanzada por las raíces de éstas. WU *et al.*, (1999), WU *et al.*, (2000), WU *et al.*, (2001a), WU *et al.*, (2001b), BENSCH (2003), realizaron estudios con los cambios en el crecimiento radical de plántulas a escasos días de la emergencia, factor de gran importancia para el futuro crecimiento de la maleza.

En el Cuadro 4 se presentan los promedios de crecimiento de raíz que fueron obtenidos para cada especie de maleza. *R. acetosella* mostró un crecimiento que fluctuó entre 18,40 cm y 15,38 cm, estadísticamente no existieron diferencias significativas en el efecto causado por los distintos tratamientos, es decir, ningún genotipo de trigo causó efecto inhibitor sobre ésta maleza. Estos valores mostraron una gran variabilidad sin presentar una diferencia significativa, situación que podría haber sido evitada al aumentar el tamaño de la muestra disminuyendo el error estándar (BERTHOLDSSON, 2004).

CUADRO 4 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la longitud radical (cm) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	15,38 a*	18,75 ab	34,53 a
Metrenco	18,40 a	22,25 b	37,23 a
Furio	17,68 a	11,88 a	38,80 a
Genial	16,28 a	14,88 ab	34,65 a
Testigo	17,25 a	19,28 ab	36,18 a
Error Estándar	0,27	0,91	0,40

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Analizando visualmente el crecimiento radical de *S. arvensis*, se constataron diferencias claras en la longitud para cada uno de los tratamientos aplicados. Así, las raíces de las macetas regadas con la variedad Furio se vieron disminuidas con respecto a las demás. Los valores numéricos para cada tratamiento (Cuadro 4), confirmaron la diferencia existente en el análisis visual. Aunque el cultivar Furio no presentó diferencia con el testigo, si se diferenció con cultivar Metrenco. Estos valores mostraron una gran variabilidad, no diferenciándose ningún tratamiento del testigo.

La especie receptora *A. fatua*, presentó un crecimiento radical uniforme para todos los tratamientos, por lo tanto no existió ningún efecto inhibitor de los genotipos de trigo comparado con el testigo (Cuadro 4).

Al comparar la respuesta de las tres especie de malezas a los exudados radicales de los distintos cultivares de trigo, solo la especie *S. arvensis* mostró algún grado de respuesta. BENSCH (2003), determinó que los cultivares Metrenco y Perquenco poseían un alto potencial alelopático específicamente en el crecimiento radical de *R. acetosella* y *S. arvensis*, inhibiendo sobre un 80% de las plantas regadas con los exudados. Los genotipos Furio y Genial los ubicó dentro de un grupo moderado de inhibición.

El crecimiento radical de las malezas regadas con los exudados del testigo (Cuadro 4), no se diferenció de las malezas expuestas a los exudados de los demás cultivares de trigo.

4.2.3 Biomasa. La biomasa por maceta fue calculada a través del peso seco de cada especie de maleza receptora, siendo analizados por separado el valor para hojas, raíces y total. De acuerdo a estas variables se determinó la biomasa total, biomasa aérea y biomasa radical.

4.2.3.1 Biomasa aérea. Los valores obtenidos para la biomasa aérea por maceta, en caso de *R. acetosella* (Cuadro 5), variaron entre 0,85 a 0,46 g. Sin embargo, estadísticamente estos valores no mostraron diferencias significativas

Los efectos de los exudados radicales de los distintos cultivares de trigo sobre la biomasa aérea de *R. acetosella* no se diferenciaron del testigo, poniendo en evidencia el nulo efecto inhibitor de éstos cultivares sobre ésta maleza, especie que ha demostrado algún grado de sensibilidad a los exudados radicales de los cultivares estudiados en las investigaciones de BENSCH (2003).

El caso de *S. arvensis* fue diferente, la biomasa aérea fluctuó entre los rangos de 1,65 g y 0,85 g dependiendo del tratamiento aplicado (Cuadro 5). Claramente al analizar los valores se encontraron diferencias significativas, observándose el efecto inhibitor de algunos cultivares.

CUADRO 5 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa aérea (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	0,64 a*	1,14 ab	1,81 b
Metrenco	0,51 a	0,99 ab	1,81 b
Furio	0,46 a	0,89 b	1,88 ab
Genial	0,67 a	0,85 b	1,92 ab
Testigo	0,85 a	1,65 a	2,60 a
Error Estándar	0,03	0,07	0,08

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Las macetas (*S. arvensis*) regadas con los lixiviados de los cultivares Perquenco y Metrenco no se diferenciaron con el testigo, mientras que las macetas regadas con los cultivares Furio y Genial presentaron valores significativamente inferiores que el testigo. Comparando porcentualmente los valores, se obtuvo que las macetas regadas con los lixiviados producidos por el cultivar Furio decayeron en un 46% su biomasa con

respecto al testigo, de igual manera el cultivar Genial produjo una caída en la biomasa de 48% por maceta.

Un análisis visual de los diferentes tratamientos mostró que la diferencia en el crecimiento de la parte aérea de las especies receptoras con respecto al testigo fue notoriamente dispar.

Las macetas de *A. fatua*, mostraron rangos de valores de 2,60 g a 1,81 g, existiendo claras diferencias entre los distintos tratamientos (Cuadro 5). Los genotipos Perquenco y Metrenco inhibieron el crecimiento de la biomasa aérea comparado con el testigo, porcentualmente correspondió a un 30,4 % menos que el testigo. Visualmente las diferencias en la biomasa aérea de *A. fatua* no fueron fácilmente identificables. Los cultivares Furio y Genial, no afectaron la acumulación de biomasa aérea de la maleza.

De las tres especies receptoras, *S. arvensis* y *A. fatua* presentaron sensibilidad a los lixiviados de los cultivares de trigo, la primera para los genotipos Furio y Genial y la segunda para los genotipos Perquenco y Metrenco

Según BENSCH (2003), las malezas con mayor sensibilidad a los exudados radicales de los cultivares utilizados, fueron *R. acetosella* y *S. arvensis*, mientras que la especie receptora *A. fatua* mostró una sensibilidad moderada a los exudados radicales de éstos cultivares.

R. acetosella, al igual que en las variables analizadas anteriormente, no mostró ningún grado de sensibilidad, datos que no concuerdan con los resultados obtenidos en los experimentos realizado por BENSCH (2003), autor que hace mención al efecto dispar que producen éstos cultivares sobre las especies de malezas utilizadas en su investigación, produciendo un elevado grado de inhibición o un efecto potenciador sobre una misma especie. Esta situación podría ser explicada por la gran variedad de poblaciones existentes en las malezas, produciéndose probablemente una respuesta desigual a los aleloquímicos exudados por las raíces de los diversos cultivares de trigo, pudiendo identificar estas diferencias a través de un análisis alométrico.

4.2.3.2 Biomasa radical. Lo esperado según la bibliografía existente es un efecto inhibitorio en el desarrollo de las raíces de estas tres especies de malezas, que son las estructuras inmediatamente afectadas por los posibles efectos alelopáticos (BENSCH, 2003).

En el Cuadro 6, se exhiben los valores medidos para la biomasa radical de *R. acetosella*; ésta no presentó respuesta alguna a los lixiviados de los distintos cultivares de trigo, el rango de datos varió entre 0,34 y 0,18 g. A pesar de la variabilidad de de los datos, estadísticamente no se determinó diferencias significativas.

La especie *S. arvensis*, presentó valores con un rango mínimo de 0,21 g para el testigo y un máximo de 0,45 g para el cultivar Perquenco, no demostrando diferencias estadísticas entre los distintos cultivares (Cuadro 6).

El análisis realizado en *A. fatua*, mostró valores diferentes a las otras dos especies de malezas, en éste caso el rango de datos varió desde 2,23 g a 3,19 g (Cuadro 6). Los cultivares Perquenco, Metrenco, Furio y testigo, no fueron distintos estadísticamente; el cultivar Genial aumentó la biomasa radical de la maleza, de lo que se puede deducir la existencia de potenciamiento al ser comparado con los demás cultivares.

Al comparar los valores obtenidos en la longitud de raíz y biomasa radical, la especie *R. acetosella* no fue alterada por los exudados radicales de los distintos tratamientos, para ninguno de las dos variables analizadas.

S. arvensis tuvo una respuesta diferente en ambas variables, en cuanto a la longitud radical el cultivar Furio produjo una clara inhibición, aunque éste efecto inhibitorio no se mantuvo al analizar la biomasa radical, ni se presentó en ninguno de los demás cultivares.

Al ser afectado solo el largo máximo radical de esta especie y no la biomasa radical, se puede inferir que las raíces de *S. arvensis* fueron mas cortas pero de un mayor grosor, o que existió un aumento de la densidad radical, de forma de compensar y obtener un área radical suficiente para equilibrar las necesidades nutricionales de la planta, condición anormal que puede ser perjudicial para la competencia con otras especies.

CUADRO 6 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa radical (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	0,32 a*	0,45 a	2,37 b
Metrenco	0,25 a	0,24 a	2,23 b
Furio	0,18 a	0,26 a	2,44 b
Genial	0,34 a	0,21 a	3,19 a
Testigo	0,33 a	0,21 a	2,44 b
Error Estándar	0,02	0,02	0,08

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Al analizar la biomasa radical de *A. fatua* y compararla con la longitud radical, se observó que la longitud radical de ésta especie no se vió afectada por ninguno de los tratamientos aplicados, aunque era de esperar que este comportamiento se repitiera para el análisis de la biomasa radical, no fue así; produciéndose un incremento en la biomasa radical en las macetas sometidas a los lixiviados de Genial, diferenciándose claramente del testigo y los demás cultivares. Para este caso se puede inferir que la zona radical de esta especie regada con los lixiviados del genotipo Genial, desarrolló una capacidad de aumento en el grosor en las raíces, haciéndolas más pesadas que las demás que poseían su misma longitud, características que pueden determinar cierto grado de deformidad al ser comparadas con los demás tratamientos, o que estas aumentaron su densidad la que las hizo poseer una mayor biomasa

De la información obtenida, es interesante destacar que un cambio, ya sea de incremento ó disminución en la longitud radical, no implicó un cambio en la biomasa

radical, pudiéndose concluir que son factores que no se relacionan directamente, produciéndose un crecimiento anormal de las raíces que fueron afectadas por los lixiviados.

El efecto de los exudados radicales sobre el crecimiento radical de variadas especies según autores como WU *et al.*, (2001b) y BENSCH (2003), fue altamente inhibitorio, lo que no se vió reflejado al analizar las variables de longitud radical y biomasa radical, donde un decrecimiento o un aumento en la longitud radical no estuvo relacionado con un cambio similar en la biomasa radical como en el caso de *S. arvensis*; o en el caso contrario, un aumento o disminución en la biomasa radical no se relacionó con un cambio similar en la longitud radical de *A. fatua*.

4.2.3.3 Biomasa total. El cálculo de la biomasa total consistió en la suma de la biomasa aérea y la biomasa radical; considerando los resultados obtenidos en los análisis anteriores se pretendió determinar algún tipo de relación entre éstas tres variables estudiadas.

La especie receptora *R. acetosella* (Cuadro 7) manifestó valores desde 0,64 g a 1,18 g de biomasa total para los diferentes tratamientos aplicados, los que fueron equivalentes al ser comparados estadísticamente.

La maleza *S. arvensis*, no presentó ningún cambio ya sea disminución en la biomasa total o incremento en la misma, el rango de datos varió desde 1,06 g a 1,89 g, correspondiendo a los tratamientos Genial y testigo respectivamente (Cuadro 7). Estas diferencias no fueron significativas.

En el caso de *A. fatua*, los valores obtenidos variaron desde 4,18 g a 6,39 g para cada tratamientos, el valor más elevado correspondió a las macetas regadas con los lixiviados del testigo, que se diferenció de los cultivares Perquenco, Metrenco y Furio.

CUADRO 7 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la biomasa total (g) de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	0,95 a*	1,58 a	4,18 c
Metrenco	0,76 a	1,23 a	4,74 bc
Furio	0,64 a	1,16 a	4,33 c
Genial	1,00 a	1,06 a	5,66 ab
Testigo	1,18 a	1,89 a	6,39 a
Error Estándar	0,05	0,08	0,21

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Las variables desarrolladas anteriormente, biomasa radical y aérea para el caso de *R. acetosella*, no revelaron diferencias al igual que los valores de biomasa total.

S. arvensis manifestó respuestas diversas a las distintas variables; los cultivares Furio y Genial inhibieron la biomasa aérea de ésta especie, situación que no se vió repetida para biomasa total, esperándose un efecto inhibitor también para ésta.

La especie receptora *A. fatua* presentó variación en los resultados obtenidos para cada variable (biomasa aérea y radical), aunque manifestó respuesta inhibitoria, los cultivares causantes de ésta respuesta no fueron constantes para cada variable. La biomasa total decayó en tres de los tratamientos al ser comparados con el testigo, lo que se relacionó con los resultados obtenidos por BENSCH (2003).

Si se comparan los resultados obtenidos por BENSCH (2003), con los resultados derivados de éste estudio, existió una gran diferencia entre el grado de sensibilidad de las malezas a los diferentes cultivares de trigo. Por ejemplo, BENSCH encontró que los cultivares de trigo como Perquenco y Metrenco poseían un alto efecto inhibitor sobre *R. acetosella* y *S. arvensis*, condición que no se cumplió. *R. acetosella*, no mostró ningún grado de sensibilidad como era lo esperado, mientras que *S. arvensis* manifestó descenso en la biomasa radical a los cultivares Furio y Genial, cultivares que según BENSCH (2003) presentaron un menor efecto inhibitor sobre ésta especie.

BENSCH (2003), definió la especie *A. fatua* con un grado de sensibilidad moderado frente a los cultivares de trigo, aunque en éste ensayo resultó ser la especie con mayor sensibilidad a los exudados radicales de los cultivares mencionados anteriormente.

Las discrepancias entre los resultado obtenidos pudieron deberse a varios factores; el sustrato utilizado en el estudio pudo haber influido en la disponibilidad de sustancias aleloquímicas a nivel radical, debido que al haber utilizado un sustrato inerte, se descartaron las posibles reacciones de estas sustancias con las características propias del suelo, como pudiesen ser la estructura y composición de éste. VILLAGRASA *et al.*, (2006) hace mención de la importancia de las características del suelo y al historial del cultivo en la producción de aleloquímicos en cultivares de trigo.

Los compuestos aleloquímicos podrían haber variado su concentración; en el estudio realizado en laboratorio las raíces de las malezas receptoras estaban en contacto directo con los exudados radicales de los distintos genotipos de trigo, mientras que en éste estudio los exudados radicales eran lixiviados, por lo tanto disueltos en agua lo que podría haber bajado la concentración de sustancias al tomar contacto con las raíces de las malezas.

Las condiciones de invernadero y la disponibilidad de nutrientes no permitieron que las especies dadoras y receptoras fueran sometidas a ningún tipo de estrés, un factor de gran importancia para la liberación de aleloquímicos al ambiente.

Finalmente, se asume que los resultados obtenidos difieren con la bibliografía existente, situación que pudo deberse a la influencia de factores que no fueron controlados, como temperatura, humedad, luminosidad debido a que el ensayo fue realizado en un invernadero y no en laboratorio como la investigación realizada por BENSCH (2003). Sin embargo, los efectos descritos sirven de parámetro para proyectar el efecto de cuatro genotipos de trigo en el medio natural.

4.2.3.4 Porcentaje de materia seca. Éste capítulo se refiere a como fue afectado el porcentaje de materia seca presente en la planta receptora al recibir los lixiviados de los distintos cultivares de trigo. Todos estos datos fueron comparados con el testigo y entre ellos para determinar si existió algún grado de sensibilidad. A continuación el Cuadro 8 contiene los porcentajes de materia seca.

Al describir los datos obtenidos, la especie receptora *R. acetosella* presentó valores de 5,86 % a 7,33 %, no existiendo diferencias significativas entre los cultivares de trigo en el porcentaje de materia seca, es decir, no existió un efecto inhibitor o potenciador en el desarrollo de la planta (Cuadro 8).

S. arvensis no presentó grado de sensibilidad a ningún tratamiento aplicado, con rango de porcentajes desde 4,25 % hasta 8,23 % (Cuadro 8).

Los valores de *A. fatua* no demostraron diferencias significativas. Los rangos de los diferentes tratamientos fluctuaron entre 10,35 % para el cultivar Perquenco, hasta 13,65 % para el cultivar Genial, pero no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 8).

CUADRO 8 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre el porcentaje de materia seca de tres especies de malezas a los 90 días después de realizada la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	6,02 a*	8,23 a	10,35 a
Metrenco	6,06 a	6,75 a	12,95 a
Furio	5,86 a	6,10 a	12,20 a
Genial	7,33 a	4,25 a	13,65 a
Testigo	5,86 a	7,09 a	11,25 a
Error Estándar	0,14	0,33	0,30

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Los porcentajes de materia seca de cada maleza receptora, no mostraron ningún grado de sensibilidad a los exudados radicales de los distintos tratamientos. Sin embargo, los datos obtenidos presentan una gran variabilidad, situación que podría disminuirse al aumentar el tamaño de la muestra.

4.3 Efecto de lixiviados sobre la emergencia de tres especies de malezas receptoras

Este punto resume las variables porcentaje de emergencia y velocidad de emergencia considerados en un ensayo realizado por un periodo de 30 días, cuando las plantas de trigo presentaban una etapa de desarrollo fenológico de encañado, y su efecto sobre la emergencia de tres especies receptoras, *R. acetosella*, *S. arvensis* y *A. fatua*.

Existieron tres fecha de muestreo que distaban 10 días una de otra, los porcentajes de emergencia fueron calculados en relación al testigo, el efecto en el porcentaje de emergencia de cada cultivar de trigo se detalla en el Cuadro 9, mientras que la velocidad de emergencia se detalla en el Cuadro 10.

4.3.1 Porcentaje de emergencia. Treinta días después de la siembra se calculó el porcentaje de emergencia. El tratamiento testigo presentó un porcentaje de emergencia de 100% para todas las especies receptoras. Los porcentajes de emergencia de las malezas para los demás cultivares fueron determinados con respecto al testigo.

Al revisar los datos obtenidos para *R. acetosella*, los efectos sobre la emergencia de plántulas de la maleza no fue significativo, por lo que no existió un deterioro significativo en la emergencia de ésta especie. En el Cuadro 9 se exhiben los rangos que fueron desde 60,33 % para el cultivar Genial hasta 100 % para el testigo.

S. arvensis, presentó porcentajes de emergencia con respecto al testigo de 113,75 % y 88,20 %, para el cultivar Metrenco y Perquenco respectivamente, éstos resultados no indicaron una diferencia significativa.

El caso de *A. fatua*, es diferente a los dos anteriores, esta especie presentó sensibilidad a los cultivares de trigo bastante marcada, todos los porcentajes de emergencia fueron inferiores al testigo.

CUADRO 9 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre el porcentaje de emergencia de tres especies de malezas 30 días después de la siembra.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	91,98 a*	88,20 a	72,85 ab
Metrenco	83,10 a	113,75 a	56,73 b
Furio	68,25 a	96,45 a	44,23 b
Genial	60,33 a	105,00 a	52,00 b
Testigo	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Error Estándar	0,54	0,11	0,46

*Letras distintas en la columna representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

Los porcentajes de emergencia de *A. fatua* para los cultivares Metrenco, Furio y Genial fueron significativamente inferiores al testigo, es decir, el efecto inhibitor fue claramente marcado para las macetas regadas con los exudados radicales de éstos cultivares. El cultivar Perquenco no presentó diferencias con el testigo. Visualmente,

éste hecho fue notorio, las macetas exhibían pocas plántulas y con poco vigor, lo que hacía presumir que su desarrollo posterior se vería afectado negativamente.

La disminución en el porcentaje de emergencia solo se vió en *A. fatua*, sin embargo, hay que destacar que cuando se realizó un análisis visual a las tres especies receptoras, *R. acetosella* mostró poco vigor en las plántulas aunque en menor grado que *A. fatua*.

4.3.2 Velocidad de emergencia. Esta tasa fue calculada con datos obtenidos en tres periodos de observación, según ecuación (1). *R. acetosella* (Cuadro 10) presentó valores de 0,36 plántulas por día para el cultivar Furio, lo que fue estadísticamente distinto al tratamiento testigo. Notoriamente éste cultivar produjo un efecto inhibitor en la velocidad de emergencia de éstas plántulas.

La especie receptora *S. arvensis*, no mostró variación significativa entre la velocidad de emergencia de los distintos tratamientos, el rango de datos fue desde 1,17 a 0,94 plántulas emergidas por día para Metrenco y Perquenco respectivamente (Cuadro 10).

Para finalizar con la descripción de los datos de esta variable, la especie *A. fatua*, presentó valores desiguales, los que se dispersaron desde 1,08 hasta 0,36 plántulas por día (Cuadro 10). La velocidad de emergencia de *A. fatua* no se vió afectada por los exudados radicales del cultivar Perquenco y el tratamiento testigo, pero si se diferenció la velocidad de emergencia del tratamiento testigo con los cultivares Metrenco, Genial y Furio, éste último fue el que produjo un decaimiento mayor al ser comparado con el testigo alcanzando una disminución porcentual de 66,7 %.

CUADRO 10 Efecto de los lixiviados de cuatro genotipos de trigo sobre la velocidad de emergencia de tres especies de malezas 30 días después de la siembra, expresado en plántulas por día.

Trigo	Malezas		
	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Avena fatua</i>
Perquenco	0,65 ab*	0,94 a	0,84 ab
Metrenco	0,57 ab	1,17 a	0,51 bc
Furio	0,36 b	1,00 a	0,36 c
Genial	0,50 ab	0,98 a	0,58 bc
Testigo	0,82 a	1,00 a	1,08 a
Error Estándar	0,04	0,02	0,06

*Letras distintas en las columnas representan diferencias estadísticamente significativas al 5% según Prueba Tukey.

En el análisis de la velocidad de emergencia, las respuestas inhibitorias fueron evidentes para las especies receptoras *R. acetosella* y *A. fatua*, al comparar ambas especies receptoras con los porcentajes de emergencia, la primera no fue afectada en

el porcentaje de emergencia, mientras que la segunda presentó diferencias marcadas para ambas variables. *S. arvensis* no mostró ningún grado de respuesta en ambas variables estudiadas.

Es importante destacar que la sensibilidad presentada por *R. acetosella* a los exudados radicales no fue repetida en ninguno de los análisis realizados anteriormente. De lo que se puede inferir que esta especie en su etapa de emergencia es susceptible a la liberación de aleloquímicos radicales, pudiendo ser controlada a través de genotipos con alto potencial alelopático. Según WU *et al.* (1999) y WU *et al.* (2000), la mayor cantidad de aleloquímicos en trigo son producidos por las raíces en etapas tempranas de crecimiento.

La reducción en la velocidad de emergencia que fue producida por el cultivar Furio sobre dos especies de malezas, sería de gran relevancia desde el punto vista del control de malezas, pues la competencia presente en los cultivares comerciales es bastante perjudicial en la producción final de grano.

5 CONCLUSIONES

- La caracterización de los lixiviados de los trigo y el testigo, entregó rangos bastantes similares durante el periodo de experimentación, lo que indica que los exudados poseían cualidades semejantes.
- La característica de altura de planta de las malezas receptoras, se vió afectadas en *S. arvensis* y *A. fatua*, los cultivares Perquenco y Metrenco produjeron un efecto inhibitor para la primera maleza y un efecto estimulador para la última.
- La longitud radical solo se vió afectada en *S. arvensis*, para el cultivar Furio produciendo una escasa inhibición, en las demás especies no se encontró ningún efecto, ya sea de estimulación o inhibición.
- En el análisis de la biomasa aérea, radical y total, solo *A. fatua* mostró respuesta a éstas tres variables. En esta especie, la biomasa aérea fue inhibida por el genotipo Metrenco y Perquenco; la biomasa radical estimulada por el genotipo Genial y la biomasa total inhibida por los genotipos Perquenco, Metrenco y Furio.
- El ensayo de emergencia realizado en las tres especies de malezas receptoras mostró un efecto inhibitor en la especie *A. fatua* para tres genotipos de trigo, Metrenco, Furio y Genial.
- La velocidad de emergencia decayó en *R. acetosella* con el cultivar Furio. Así mismo, se produjo un descenso en *A. fatua* con los cultivares Metrenco, Furio y Genial.
- Los lixiviados de los cuatro genotipos de trigo solo afectaron fuertemente a la especie receptora *A. fatua*, sin demostrar una sensibilidad preferencial a los exudados radicales de algunos de éstos cultivares.
- Finalmente se acepta la hipótesis de que las sustancias alelopáticas exudadas por las raíces de trigo, al ser liberadas al medio en condiciones de invernadero, inhiben la emergencia y el crecimiento de algunas especies de malezas asociadas al cultivo.

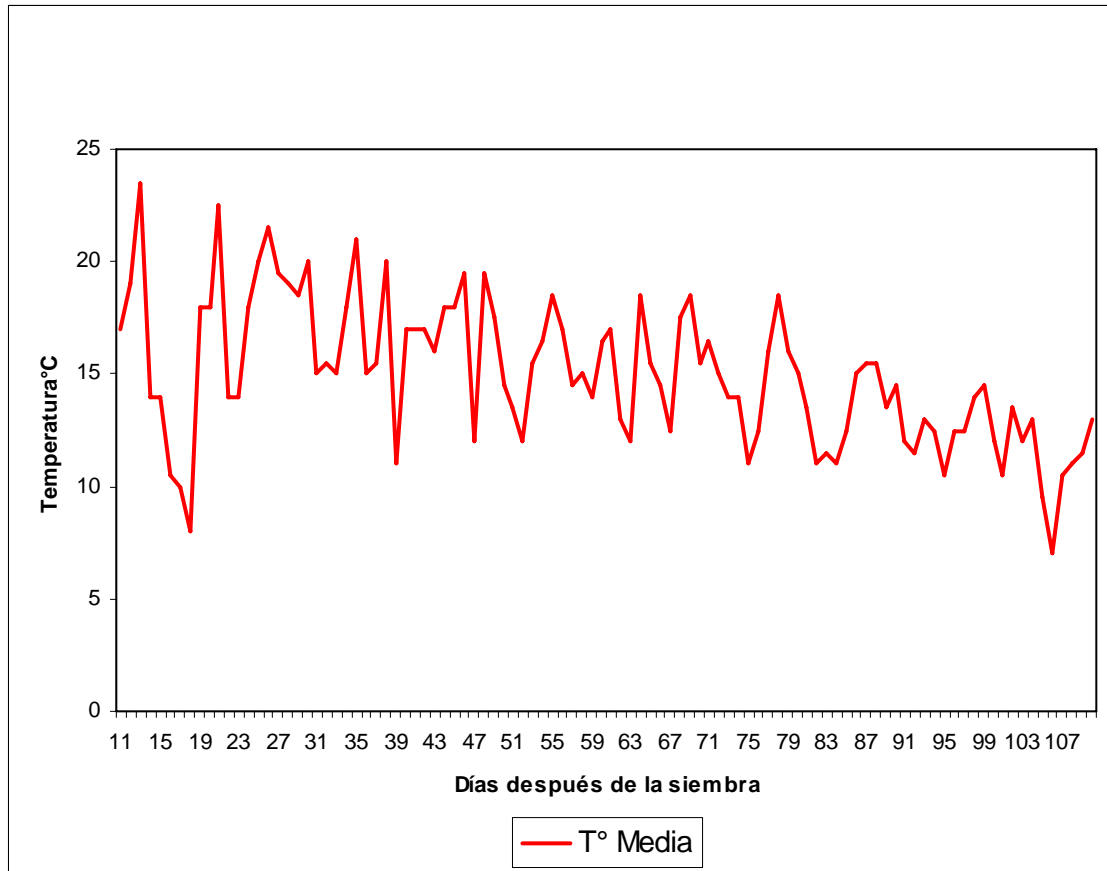
6 BIBLIOGRAFIA

- ALAM, S.A. 1990. Effect of wheat straw extracts on the germination and seedlings growth of wheat (cv. Pavon). *Wheat Information Service* 71: 16-18.
- 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.; CORCUERA, L. 1987. Distribution of gramine and hydroxamic acids in barley and wheat leaves. *Phytochemistry* 26(7): 1917-1918.
- BENSCH, E. 2003. Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) chileno sobre algunas especies de malezas asociadas al cultivo. Tesis M. Sc. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 112p.
- BERTHOLDSSON, N.O. 2004. Early vigour and allelopathy – two useful traits for enhanced barley and wheat competitiveness against weeds. *Weed Research* 45: 94-102.
- COPAJA, S.; NIEMEYER, H.; WRATTEN, S. 1991. Hydroxamic acid levels in Chilean and British wheat seedlings. *Annals of Applied Biology* 118: 223-227.
- EINHELLIG, F. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal* 88: 886-893.
- MILLER, D. 1996. Allelopathy in forage crop systems. *Agronomy Journal* 88: 854-859.
- 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> >. (25 abr. 2005).
- NELSON, C. 1996. Allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal* 88: 991-996.
- NICOL, D.; COPAJA, S.; WRATTEN, S.; y NIEMEYER, H. 1992. A screen of worldwide wheat cultivars for hydroxamic acids levels and aphid antixenosis. *Annals of Applied Biology* 121: 11-18.
- PEREZ, F. 1990. Allelopathic effect of hydroxamic acids from cereals on *Avena sativa* and *A. fatua*. *Phytochemistry* 29(3): 773-776.
- RAMOS, C.; MOLINA, J. y GRACÍA, G. 2003. Tolerancia a desecación y deterioro fisiológico en semillas de Calabaza (*Curcubita moschata duchesne ex lam.*). *Revista Fitotecnia Mexicana (México)* 26 (003): 161-166.
- RICE, E.L. 1974. *Allelopathy*. New York. Academic Press. 353p.

- RIVZI, J.H.; RIVZI, V.; TAHIR, M.; RAHIMIAN, M.H.; SHIMI, P. y ATRI, A. 2000. Genetic variation in allelopathic activity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Wheat Information Service* 91: 25-29.
- SEIGLER, D. 1996. Chemistry and mechanisms of allelopathic interactions. *Agronomy Journal* 88: 876-885.
- 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 Agric. Food Chemistry*. 54: 1009-1015.
- WEIDENHAMER, J. 1996. Distinguishing resource competition and chemical interference: Overcoming the methodological impasse. *Agronomy Journal* 88: 866-875.
- WESTON, L. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agronomy Journal* 88: 860-866.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J. y LEMERLE, D. 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research* 39: 171-180.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J. y LEMERLE, D. 2001a. Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Applied Biology* 139(1): 1-9.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J. y LEMERLE, D. 2001b. Wheat allelopathic potential against a herbicide-resistant biotype of annual ryegrass. <<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/p/12/wu.htm>> (22-09-02)
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D. y AN, M. 2000a. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation of phenolic acids in shoot tissues. *Journal Agriculture Food Chemistry* 48: 5321-5325.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D. y AN, M. 2000b. Distribution and exudation of allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Chemical Ecology*. 26(9): 2141-2154.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D. y AN, M. 2001c. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Production and exudation of 2,4-Dihydroxy-7-Methoxy-1,4-Benzoxazin-3-One. *Journal of Chemical Ecology* 27(8): 1691-1700.
- WU, H.; HAIG, T.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D. y VERBEEK, B. 1998. Differential allelopathic potential among wheat accessions to annual ryegrass. <<http://www.regional.org.au/au/asa/1998/6/139wu.htm>> (22-09-02)
- 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.
- YONGQING, M.A. 2005. Allelopathic studies of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Weed Biology and Management* 5:93-104.
- ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421

7 ANEXOS

ANEXO 1 Gráfico de temperaturas medias registradas durante el desarrollo de los estudios a partir de los 11 días después de la siembra.



ANEXO 2 Imagen de distribución de macetas por repetición.



ANEXO 3 Valores obtenidos en medición de la conductibilidad eléctrica (ms/cm) de los diferentes genotipos de trigo.

Días después de la siembra	Genotipos de trigo				
	Perquenco	Metrenco	Furio	Genial	Testigo
7	0,310	0,299	0,314	0,316	0,307
14	0,263	0,232	0,279	0,237	0,273
21	0,264	0,246	0,276	0,254	0,272
28	0,193	0,206	0,222	0,198	0,222
35	0,206	0,186	0,231	0,199	0,218
42	0,183	0,178	0,217	0,188	0,219
49	0,174	0,176	0,207	0,183	0,213
56	0,184	0,183	0,214	0,201	0,212
63	0,168	0,170	0,193	0,175	0,194
70	0,164	0,164	0,214	0,206	0,212
77	0,107	0,127	0,137	0,123	0,133
84	0,154	0,161	0,199	0,174	0,194
91	0,190	0,201	0,258	0,195	0,222
98	0,353	0,243	0,236	0,192	0,208
105	0,166	0,159	0,182	0,175	0,190
112	0,149	0,170	0,209	0,181	0,216

ANEXO 4 Valores obtenidos en medición de pH de los diferentes genotipos de trigo.

Días después de la siembra	Genotipos de Trigo				
	Perquenco	Metrenco	Furio	Genial	Testigo
7	6,63	6,60	6,58	6,60	6,47
14	6,62	6,61	6,65	6,60	6,45
21	6,62	6,59	6,60	6,58	6,47
28	6,50	6,43	6,48	6,51	6,30
35	6,47	6,42	6,47	6,49	6,42
42	6,46	6,42	6,43	6,46	6,26
49	6,47	6,48	6,54	6,56	6,20
56	6,43	6,40	6,48	6,48	6,21
63	6,51	6,41	6,47	6,42	6,06
70	6,46	6,43	6,53	6,47	5,86
77	6,33	6,16	6,32	6,24	6,13
84	6,49	6,42	6,45	6,48	6,07
91	6,76	6,51	6,52	6,55	6,22
98	6,54	6,43	6,54	6,44	6,12
105	6,65	6,44	6,52	6,49	6,22
112	6,52	6,43	6,46	6,44	6,15