

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE POTENCIAL ALELOPÁTICO Y CAPACIDAD
SUPRESORA SOBRE RAIGRÁS (*Lolium multiflorum*) EN 7
CULTIVARES DE TRIGO (*Triticum aestivum*)

por

Pablo ROUILLER BORJAS
Lorena SCAGLIA CARMONA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2011

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Grisel Fernandez

Ing. Agr. Juana Villalba

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Fecha: 22 de diciembre de 2011

Autor: -----

Pablo Rouiller Borjas

Lorena Scaglia Carmona

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente a la Ing. Agr. Grisel Fernandez, por su dedicación y disponibilidad para que este trabajo saliera adelante, así como también por el estímulo continuo para nuestra formación como profesionales y personas.

A nuestros padres y novio que nos dieron la oportunidad de estudiar y nos dieron su apoyo incondicional.

A familiares y amigos que de una u otra forma fueron parte de este camino.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>ALELOPATÍA</u>	3
2.1.1. <u>Definición</u>	3
2.1.2. <u>Conceptos y generalidades de la alelopatía</u>	4
2.1.2.1. <u>Mecanismos de acción</u>	6
2.2. <u>EVIDENCIAS Y USOS DE LA ALELOPATÍA</u>	7
2.3. <u>DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPATICO</u>	9
2.4. <u>ALELOPATÍA DE <i>Triticum aestivum</i></u>	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	17
3.1. <u>ESTUDIO DE POTENCIAL ALELOPÁTICO EN CULTIVARES DE TRIGO. EXPERIMENTOS 1, 2 Y 3</u>	17
3.1.1. <u>Tratamientos</u>	17
3.1.2. <u>Característica de material utilizado</u>	19
3.1.3. <u>Diseño experimental</u>	19
3.1.4. <u>Descripción y metodología de instalación</u>	19
3.1.5. <u>Determinaciones</u>	21
3.1.6. <u>Análisis estadístico y procesamiento de los datos</u>	22
3.2. <u>ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA INTERFERENCIA DE LOS DISTINTOS CULTIVARES SOBRE RAIGRÁS. EXPERIMENTOS 4 Y 5</u>	23
3.2.1. <u>Tratamientos</u>	23
3.2.2. <u>Diseño experimental</u>	24
3.2.3. <u>Descripción y metodología de instalación</u>	24
3.2.4. <u>Determinaciones</u>	25
3.2.5. <u>Análisis estadístico y procesamiento de los datos</u>	26
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	27
4.1 <u>ESTUDIOS DE POTENCIAL ALELOPÁTICO EN LOS</u>	

CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS	
(Experimentos 1, 2 y 3).....	27
4.1.1. <u>Experimento 1</u>	27
4.1.2. <u>Experimento 2</u>	29
4.1.3. <u>Experimento 3</u>	31
4.2. ESTUDIOS DE LA CAPACIDAD SUPRESORA DE MALEZAS	
EN LOS CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS	
(Experimentos 4 y 5).....	33
4.2.1. <u>Experimento 4</u>	33
4.2.2. <u>Experimento 5</u>	36
5. <u>CONCLUSIONES</u>	41
6. <u>RESUMEN</u>	42
7. <u>SUMMARY</u>	44
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	46

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Descripción de tratamientos experimento 1 y 2.....	18
2. Descripción de experimento 3.....	18
3. Características agronómicas.....	19
4. Descripción de los tratamientos.....	23
5. Descripción de los tratamientos.....	24
6. Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos para los experimentos 1, 2 y 3.....	32
7. Desarrollo de raigrás (escala Zadok) para los distintos tratamientos ensayados.....	34
8. Altura de plantas de raigrás medidas en cm para los diferentes tratamientos.....	35
9. Peso en materia seca por planta de raigrás (g/pl-1) creciendo con los distintos cultivares.....	35
10. Biomasa seca de trigo medida en gramo (g/pl-1) para los diferentes tratamientos.....	36
11. HSI calculados para los cultivares estudiados.....	39
12. Pérdida de rendimiento de trigo por gramo de biomasa verde de raigrás.....	40
Figura No.	
1. Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.....	27
2. Largo de raíz de raigrás del promedio de los cultivares medida en mm en contraste con el testigo.....	28
3. Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.....	29
4. Promedio de largo de parte aérea de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.....	30
5. Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.....	31
6. Producción de materia verde de raigrás en gramos creciendo junto a los distintos cultivares.....	37
7. Interferencia de raigrás en el rendimiento de trigo.....	38
8. Rendimiento en grano (g) de los diferentes tratamientos creciendo con y sin raigras.....	39

Foto No.

1. Siembra de experimento 2 y 3.....	20
2. Siembra de experimento 2 y 3.....	20
3. Medición de raíz de raigrás de experimento 1,2 y 3.....	21

1. INTRODUCCION

La generalización de la práctica del cero laboreo así como la intensificación agrícola ocurrida en el país en los últimos años han determinado importantes cambios en la composición de las comunidades de malezas. Al presente, y así lo demuestran los relevamientos realizados en vastas áreas de la región agrícola del país (Ríos et al., 2005) raigrás anual *Lolium multiflorum*, es la maleza con mayor presencia y frecuencia de los enmalezamientos en chacras destinadas a la producción cerealera invernal.

L.multiflorum es una gramínea invernal capaz de ejercer fuertes interferencias tanto en el rendimiento como en la calidad de trigo.

El control de esta maleza viene siendo cada vez más problemático debido a el desarrollo de biotipos tolerantes a glifosato lo que se cree es parte de la explicación de los incrementos poblacionales de la especie. Por otra parte, los controles en cultivo de trigo o cebada presentan variados inconvenientes.

En primer lugar, el control químico representa un costo importante particularmente cuando se considera que es frecuente la ocurrencia de controles sólo parciales y la ocurrencia de efectos fitotóxicos en cultivos, los que disminuyen la rentabilidad de este manejo. Adicionalmente, los herbicidas disponibles para el control de esta especie, todos pertenecientes a los modos de acción de inhibidores de la Acetil Coenzima Carboxilasa (ACCasa) o de la Acetolactato Sintetasa (ALS) (Grupos 1 y 2) son herbicidas con alto riesgo de creación de resistencias y deben ser utilizados con precaución.

Por las razones expuestas existe urgencia de encontrar formas alternativas para el control de esta maleza que permitan sustituir o reducir la utilización de herbicidas disminuyendo los riesgos económicos y ambientales asociados a esta práctica.

Debido a esto la alelopatía ha estado recibiendo mucha atención a nivel mundial en los últimos tiempos en función de su potencial contribución en el manejo integrado de maleza (Wu et al., 2000). Al respecto, la bibliografía abunda en referencias relativas a la existencia de potencial alelopático en trigo, con interesante actividad sobre malezas. También existen numerosas evidencias relativas a variabilidad en la capacidad de interferencia de cultivares de trigo sobre malezas asociadas a distintas características morfológicas o de crecimiento de los mismos (Bertholdsson, 2010).

La capacidad de interferencia sobre malezas así como el potencial alelopático de este cultivo genera grandes expectativas sobre la posibilidad de combatir los problemas de enmalezamiento de forma alternativa.

El objetivo del presente estudio fue evaluar potencial alelopático y capacidad supresora sobre raigrás (*Lolium multiflorum*) en los 7 cultivares de trigo de mayor uso en el país.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALELOPATÍA

2.1.1. Definición

El término alelopatía (del griego *allelon*= uno al otro, del griego *pathos* = sufrir; efecto injurioso de uno sobre otro) fue utilizado por primera vez por Molisch (1937) para referirse a los efectos perjudiciales o benéficos que son ya sea directa o indirectamente el resultado de la acción de compuestos químicos que liberados por una planta, ejercen su acción en otra. Según esta definición, en todo fenómeno alelopático existe una planta (donadora) que libera al medio ambiente, por una determinada vía, (por ej. lixiviación, descomposición de residuos, etc.) compuestos químicos los cuales al ser incorporados por otra planta (receptora) provocan un efecto perjudicial o benéfico sobre germinación, crecimiento o desarrollo de esta última. Los compuestos citados que desencadenan el proceso se denominan compuestos o agentes o sustancias alelopáticas o aleloquímicos (Oliveros-Bastidas, 2009).

Posteriormente Rice (1974), definió la alelopatía como el efecto o efectos de una planta sobre otras plantas a través de la liberación de compuestos químicos en el medio ambiente. Esta definición es ampliamente aceptada e incluye efectos tanto positivos como negativos. Muchos ecologistas sin embargo, están a favor de definiciones que incluyen sólo los efectos negativos de la alelopatía. Así Lambers et al. (1998) definen alelopatía como la supresión del crecimiento de una especie vegetal por otra debido a la liberación de compuestos tóxicos (Olofsdotter et al., 2002).

Esta última conceptualización señala una de las claras diferencias entre el fenómeno de la alelopatía y la otra importante interferencia entre especies vegetales que es la competencia. En la alelopatía siempre existe la mediación química, la cual implica la liberación de un compuesto químico al entorno por parte de una planta que ocasiona un efecto sobre otra. En cambio, el efecto detrimental en crecimiento y desarrollo causado por la competencia es debido a la reducción en la disponibilidad de recursos compartibles. Estos conceptos son diferentes entre sí pero desde un punto de vista ecofisiológico se pueden considerar estrechamente ligados y complementarios en su efecto. Para evitar confusiones se utiliza el término interferencia para designar al efecto total de una planta sobre otra, es decir, la suma de efectos debidos a los fenómenos de competencia y alelopatía (Weston, 2005).

De este modo, el término alelopatía se refiere según Inderjit y Callaway al conjunto de interacciones entre especies de plantas, que en un balance general, se traduce en un efecto perjudicial a una de ellas aumentando la prevalencia de la especie productora (Inderjit et al., 2008).

2.1.2. Conceptos y generalidades de la alelopatía

Los aleloquímicos, mediadores químicos en los que se basa la alelopatía, son metabolitos secundarios no nutricionales liberados al ambiente por organismos vivos, por ejemplo plantas, que poseen efectos estimulantes o inhibitorios sobre el crecimiento, salud, o comportamiento de organismos vecinos como plantas, insectos o microorganismos (Haig, 2008).

Según Yazaky, Martinoia, citados por Olivero-Bastidas (2009) en general, los metabolitos secundarios tienen como rasgo característico común, el ser compuestos con un peso molecular relativamente bajo lo que ayuda a su circulación dentro de la planta y así, su posible excreción. Sin embargo, es la función fisiológica de la planta quien determina si este es excretado al ambiente, iniciando de esta manera las interacciones con los diferentes entes que lo conforman (Olivero-Bastidas, 2009).

Los aleloquímicos son compuestos de estructura química muy variada poseyendo también diversos modos de acción (Einhelling y Leather, 1988). Varios de estos modos de acción no han sido hasta el presente, completamente comprendidos aunque los que se conocen, tienen modos de acción similares a los de los herbicidas sintetizados artificialmente (Wu et al., 1999).

Normalmente la literatura especializada los ordena en los siguientes grupos: compuestos alifáticos, lactonas no saturadas, lípidos y ácidos grasos, terpenoides, glicósidos cianogénicos, compuestos aromáticos (fenoles simples, ácido benzoico y derivados, ácido cinámico y sus derivados, quinonas y derivados, cumarinas, flavonoides, taninos) y alcaloides (Sampietro, 2003).

Según Ferreira y Aquila (2000) los aleloquímicos pueden actuar en forma directa o indirecta. El modo de acción directa se produce cuando el aleloquímico se une a las membranas del receptor de la planta o entra en las células e influye directamente en su metabolismo. Los efectos indirectos son variados pudiendo citarse como ejemplos los casos en que el efecto deriva de compuestos resultantes de cambios en las sustancias originales en el ambiente edáfico o por efecto de la actividad de distintos microorganismos.

En las plantas que presentan potencial alelopático, una variedad de aleloquímicos son sintetizados y almacenados en diferentes células de la planta

ya sea en forma libre o conjugada con otras moléculas y son liberados en el entorno en respuesta a diferentes estreses bióticos y/o abióticos.

Ecológicamente, se han propuestos cuatro mecanismos para la excreción de los aleloquímicos al ambiente e involucran fenómenos de volatilización, lixiviación, descomposición de partes de la planta en el suelo y exudación por raíces (Rice 1974, Putnam 1985).

La volatilización es la liberación de agentes alelopáticos en forma de vapor. Los compuestos pueden ser absorbidos directamente en esta forma de vapor por las plantas circundantes, o ser condensados y al llegar al suelo absorbido por las raíces.

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización al ambiente está frecuentemente confinada a plantas que producen terpenoides. Los géneros que comúnmente liberan compuestos volátiles incluyen *Artemisia*, *Salvia*, *Parthenium*, *Eucalyptus* y *Brassica* (Sampietro, 2003).

La lixiviación es la remoción de sustancias presentes en la parte aérea de las plantas (Sampietro, 2003) o también a través de residuos de la misma por efecto de la lluvia, nieve, niebla o rocío. El grado de lixiviación depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y naturaleza de la precipitación. Las sustancias químicas pueden ser lixiviadas y posteriormente depositarse en otras plantas o en el suelo (Bezuidenhout, 2005). De esta manera se liberan una gran variedad de agentes alelopáticos de diferente naturaleza tales como compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides.

Los residuos en descomposición de muchas plantas liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. La dimensión del efecto alelopático depende de la naturaleza del residuo, del tipo de suelo, y de las condiciones de descomposición. Los compuestos liberados por la planta al suelo sufren frecuentemente transformaciones realizadas por los microorganismos del mismo, que pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores (Sampietro, 2003).

Los exudados representan la clave fundamental en los efectos alelopáticos observados en las plantas superiores. La mayoría de los agentes alelopáticos conocidos son exudados radiculares. Los exudados han sido descritos como compuestos de bajo peso molecular que difunden pasivamente a partir de las células intactas a la solución de suelo. Sin embargo, "exudado de raíz" es frecuentemente usado para describir más generalmente a los compuestos de bajo peso molecular liberados, más que el proceso mediante el cual estos son depositados en la rizósfera (Olivero- Bastidas, 2009).

Factores tales como la especie de planta, la presencia de microorganismos, nutrición, agua, disponibilidad de oxígeno, medio de desarrollo y otras condiciones de crecimiento influyen cualitativa y cuantitativamente en la exudación radicular.

2.1.2.1. Mecanismos de acción

Debido a la diversidad de naturalezas químicas de los diferentes agentes alelopáticos, se han comprobado que existen diferentes sitios de acción. Los aleloquímicos pueden afectar en diferentes partes de la planta receptora tales como la permeabilidad y estructura de las membranas, actividad de las hormonas, fotosíntesis, respiración, crecimiento y desarrollo de las plantas. Cada agente alelopático puede causar uno o más efectos sobre las estructuras de la planta anteriormente mencionadas.

Según Sampietro (2003) los ácidos hidroxámicos 6,7-dimetoxi-2-benzoxazolinona (DIMBOA) y 6-metoxi-2-benzoxazolinona (MBOA) modifican la afinidad de unión de las auxinas a sitios receptores de unión de las mismas membranas. Esta actividad guarda correlación con la inhibición de crecimiento inducido por auxinas en secciones de coleóptilo de avena. Por ello se ha propuesto que la toxicidad de los ácidos hidroxámicos sería debida a la interferencia que provocan en la actividad normal de las auxinas. Fitohormonas tales como el ácido indolacético y las giberelinas afectan directamente el crecimiento de las plantas regulando el agrandamiento de las células, o alterando otras hormonas que provocan dichos efectos.

En cuanto a los fenólicos, según Rice (1974) éstos pueden alterar la velocidad a la cual los iones son absorbidos por las plantas. Se han demostrado reducciones tanto en macro como en micronutrientes en presencia de ácidos fenólicos.

Los derivados de los ácidos benzoico, ácido hidroxibutírico y cinámico tienen profundos efectos sobre las membranas. Son capaces de provocar cambios en la polaridad lo cual provocaría alteraciones en la estructura y permeabilidad de las mismas (Blanco, 2006).

En cuanto a los aleloquímicos con efectos sobre la fotosíntesis se ha comprobado que el efecto inhibitorio no necesariamente acontece en los eventos primarios del proceso, sino también como resultado de modificaciones en los niveles de clorofila o por cierre de los estomas y la subsecuente reducción en la provisión de CO₂ vital para la producción de fotosintatos (Ferreira y Alves Aquila, 2000).

En el caso de otro aleloquímico frecuente como es el ácido ferúlico se ha demostrado que actúa incrementando los niveles de las enzimas oxidativas como las peroxidasas, las catalasas y el ácido indolacético oxidasa (Blanco, 2006).

Según Einhellig y Souza, citados por Ferreira y Alves Aquila (2000) el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) presenta un potente aleloquímico, la quinona sorgoleone presente en los exudados radiculares. Dicho aleloquímico según Sampietro (2003) afecta la fotosíntesis. A concentraciones similares a las empleadas con el herbicida atrazina, es capaz de desacoplar el transporte de electrones en el fotosistema II. La juglona, otra quinona, afecta la evolución del oxígeno en el cloroplasto, sin desacoplar aparentemente la fotofosforilación.

Compuestos de otro tipo como el alcaloide gramina también provocan desacople en el transporte de electrones. González, citado por Ferreira y Alves Aquila (2000) encontraron que este compuesto inhibe la germinación y el crecimiento de diversas plantas, actuando como un inhibidor del sistema de fotosíntesis PSI.

Los aleloquímicos pueden estimular o inhibir la respiración, los cuales pueden ser perjudiciales para el proceso de producción de energía (Rice, 1974).

Entre los compuestos fenólicos que afectan la respiración pueden citarse en orden de mayor a menor actividad, las quinonas> flavonoides> cumarinas> ácidos fenólicos. Las quinonas sorgoleone y juglona son efectivos inhibidores a muy baja concentración. Nuevamente el sorgoleone afecta el transporte de electrones, mientras que la juglona afecta la incorporación mitocondrial de oxígeno (An, citado por Blanco, 2006).

2.2. EVIDENCIAS Y USOS DE LA ALELOPATÍA

La idea de que las plantas afectan a las plantas vecinas por la liberación de productos químicos en el medio ambiente ha sido conocida desde 370 A.C. (Willis, citado por Mallik, 2008). Griegos y romanos utilizaban este conocimiento en la práctica de la agricultura ya en el año 64 D.C. Los efectos antagónicos de algunas especies de árboles como el nogal (*Juglan* spp.) en las plantas bajo su sombra y los cultivos cercanos también fueron conocidos por el hombre desde hace siglos (Rizvi y Rizvi, Willis, citados por Mallik, 2008).

Massey, citado por Sampietro (2003) comprobó que plantas situadas en un radio de hasta 16 metros del nogal morían mientras que las situadas más allá del mismo crecían sanas. Posteriormente se probó que estos efectos

fitotóxicos eran el resultado de una hidroxinaftoquinona soluble, más tarde denominada juglona.

También ha sido demostrado, con simples experimentos de laboratorio, que tóxicos volátiles como el etileno de plantas de manzano pueden afectar el crecimiento de otras plantas (Molisch, citado por Mallik, 2008).

Ya en 1832, De Candolle, citado por Sampietro (2003) observó a campo que la presencia de cardos es nociva para la avena. Igualmente sostenía que la *Euphorbia* sp. es nociva para el lino y que las plantas de centeno lo eran para las de trigo.

Numerosos estudios demuestran un gran número de cultivos con potencial alelopático dentro de los que se destacan *Triticum aestivum* (Gaspar et al., citados por Wu et al., 2007), *Oriza sativa* (Olofsdotter et al., 2002), *Sorghum bicolor* (L.), *Avena strigosa*, *Secale cereale*, *Glycine max* y *Lolium* sp. (Rodrigues, Martin, citados por Ferreira y Alves Aquila, 2000). También se ha demostrado en un gran número de especies de malezas, tales como *Ipomoea lacunosa*, *Ipomoea purpurea*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Sida spinosa*, *Trifolium incarnatum* e *Ipomoea hederacea* (Wu et al., 2008).

A partir de la demostración del fenómeno alelopático se han obtenidos compuestos naturales los cuales han sido identificados, extraídos y sintetizados para brindar diferentes usos, según su efecto sobre las malezas, insectos y/o enfermedades.

Según Olivera-Bastidas (2008) existen casos donde moléculas de origen natural están siendo explotadas como herbicidas comerciales, tales como Cinmetilina, Bialafos, Glufosinatos y Dicamba.

La mesotriona es otra molécula de origen vegetal, ingrediente activo del herbicida Callisto, la cual fue encontrada al observar que muy pocas plantas crecían debajo de *Callistemon citrinus*, al realizar un análisis del suelo debajo de dicha planta reveló un compuesto alelopático perteneciente a ésta el cual fue identificado como leptospermone (Russell et al., 2002).

Un derivado químico de la leptospermone, componente de los aceites esenciales de *Leptospermum scoparium*, es la sulcotriona, un herbicida post emergente utilizado ampliamente en los cultivos del maíz y caña de azúcar para el control de una gran variedad de malezas (Olivera-Bastidas, 2008).

Como reporta Molina, citado por Celis et al. (2008) son numerosos los compuestos químicos se producen naturalmente y pueden funcionar en algún

grado como insecticidas. El rango de su efecto protector va desde repelencia, disuasión de la alimentación y oviposición, hasta toxicidad aguda e interferencia con el crecimiento y desarrollo de los insectos. Especies de plantas como ajo (*Allium sativum*), ají (*Capsicum frutescens*), higuera (*Ricinus comunis*), nim (*Azadirachta indica*) y paraíso (*Melia azedarach*) son materia prima de varios insecticidas comerciales (Rodríguez y Nieto, citados por Celis et al., 2008).

También se han realizado diversos ensayos para el control de enfermedades en los cuales se han utilizado extractos de diferentes especies tales como tomillo (*Thymus vulgaris*) ajo (*Allium sativum*), cebolla (*Allium cepa*), chirca (*Eupatorium buniifolium*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), pimienta (*Piper longum*), sida (*Sida rhombifolia*) etc. los cuales han tenido un efecto significativo en el control de varias especies de hongos y bacterias (Celis et al., 2008).

2.3. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPATICO

Se han desarrollado diferentes métodos para la evaluación de los efectos alelopáticos. En general consisten en bioensayos en los que se evalúa germinación de semillas, crecimiento inicial en plántulas, crecimiento radicular y rendimiento

En general, los bioensayos de germinación se realizan en placas de Petri, donde las semillas de las especies receptoras se colocan sobre sustrato (con frecuencia papel de filtro), humedecido con extractos acuosos de la planta donante que es la potencialmente alelopática y como testigo un tratamiento control con agua destilada (Guenzi et al., Wu et al., citados por Wu et al., 2008). Estos experimentos son conducidos en condiciones controladas de luz y temperatura en cámaras de germinación y mantenidos por un periodo de 2 a 7 días. Al cabo de ese tiempo se mide germinación y en ocasiones también crecimiento en las plántulas, fundamentalmente crecimiento radicular que ha demostrado ser la estimación más sensible a los efectos alelopáticos (Wu et al., 2008).

En cuanto a los ensayos realizados en la etapa inicial de las plántulas las metodologías más usadas son el método "Equal compartment agar method" (ECAM) propuesto por Wu et al. (2000) y la modificación de este método propuesta por Bertholdsson (2005).

Esta última metodología consiste en colocar en un recipiente plástico 30 ml de una solución de agar-agua 0,3%. Se colocan circularmente semillas de la especie donante pregerminadas y en el círculo interior semillas pregerminadas de la especie receptora. El recipiente tapado se lleva a cámara

de crecimiento adecuándose el régimen térmico y lumínico en función de las especies en estudio y se mantiene de 7 a 10 días. El potencial alelopático (PAA) se calcula como $PAA = (1 - A1/A2) * 100$, siendo A1=área radicular de la especie receptora creciendo junto a la dadora y A2= área radicular de la especie receptora creciendo sola. En base al PAA se calcula el SPAA potencial alelopático específico como $SPAA = PAA / \text{peso seco de la planta dadora por planta}$ (Capurro y Sotelo, 2010).

También el uso de suelo como sustrato ha sido descrito en la bibliografía y se describen bioensayos con utilización de suelos de texturas variadas, finas medias y gruesas. Según Del Moral y Muller, citados por Inderjit (1995) la textura del suelo puede afectar la expresión de la alelopatía. Estos autores sugieren que los suelos arenosos no absorben fenoles en el mismo grado con que los hacen los suelos de textura más fina. Adicionalmente, reportan que las toxinas son degradadas más rápidamente en los suelos bajo condiciones aerobias y que los suelos arenosos, de textura más gruesa, tienen mayor aireación.

Otros autores reportaron que la modificación de la actividad de la saponina en el suelo depende de la adsorción de los glucósidos del ácido medicagénico complejos del suelo. En arena suelta no ocurre adsorción mientras que la misma es significativa en suelos pesados. Según Oleszek y Jurzysta, citados por Inderjit (1995) esta es la razón del elevado grado de inhibición observado en raíces de alfalfa creciendo en arena, en comparación con suelos pesados.

También es frecuente el agregado de carbón activado al sustrato, considerándose que constituye una buena herramienta para la investigación en alelopatía permitiendo separar los efectos de competencia de los alelopáticos (Inderjit y Callaway, citados por Lorenzo y González, 2010).

Este compuesto posee gran capacidad de adsorción de muchos compuestos orgánicos debido a que tiene gran superficie específica en función de sus numerosos poros y gran polaridad (Cheremisinoff y Morresi, citados por Lau et al., 2008).

Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el carbón activado podría interferir en la disponibilidad de nutrientes y consecuentemente en el crecimiento de la planta, lo que introduce una nueva inseguridad metodológica (Lorenzo y González, 2010).

Mahall y Callaway (1992) plantean otras desventajas. Primero, no es completamente cierto que el carbón activado no afecte a los nutrientes

inorgánicos por lo que se recomienda que en los experimentos en que se utilice dicho compuesto se agreguen pequeñas cantidades de algún fertilizante o solución nutritiva

Por otra parte algunos tipos de carbón activado presentan altas concentraciones de fósforo, lo que debería evitarse. Es posible también que este compuesto afecte características del sustrato, tales como la retención de agua o el pH debido a su tamaño de partícula muy fino (Inderjit y Callaway, 2003).

Pese a ser un adsorbente de amplio espectro, no existen garantías de que todos los químicos con efecto alelopático sean efectivamente adsorbidos, dando lugar a dudas sobre aquellos experimentos en que no se detecta ningún efecto. Aunque ha demostrado ser eficaz en varios ensayos de laboratorio, los experimentos con este compuesto deben ser interpretados teniendo en cuenta consideraciones anteriormente nombradas

2.4. ALELOPATÍA EN *Triticum aestivum*

En trigo (*Triticum aestivum*) uno de los cultivos más importantes a nivel mundial se han reportado numerosas evidencias de potencial alelopático demostrándose inhibición en el crecimiento y rendimiento de arroz (*Oryza sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), centeno (*Secale cereale* L.), algodón (*Gossypium hirsutum* L. Merr.), soja (*Glycine max*) y caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) (Hozumi et al., Hicks et al., Protic, Al Narwal et al., citados por Wu et al., 2007).

También se ha comprobado en esta especie potencial alelopático sobre varias malezas tales como *Lolium rigidum* (Bensch et al., 2007), *Lolium multiflorum*, *Bromus japonicus*, *Chenopodium album* y *Avena fatua* (Wu et al., 2008). Las sustancias alelopáticas de la paja de trigo también ha demostrado inhibición sobre una serie de cultivos forrajeros como el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), y el mijo perla (*Pennisetum glaucum* L.) (Wu et al., 2007).

Mathisassen, citado por Wu et al. (2008) reporta que ha observado mayor actividad alelopática en los sistemas que se realizan bajo siembra directa que en sistemas realizados con siembras convencionales. Dicho autor expresa que existe variación en residuos alelopáticos dependiendo de los cultivares de trigo utilizados así como de las condiciones de crecimiento del cultivo.

Tanto los aleloquímicos presentes en residuos del cultivo como en plántulas de trigo pueden ser utilizados para suprimir malezas. Según Wu et al.

(2008) los resultados de experimentos realizados en este tema sugieren que los residuos de algunos cultivares de trigo presentan fuerte potencial alelopático y pueden constituir una interesante alternativa para el manejo de malezas resistentes a herbicidas.

Existen fuentes genéticas disponibles para la mejora de la alelopatía tanto en cebada y trigo.

Estudios genéticos tanto en arroz (Jensen et al., 2001) como en trigo sugieren que la característica se hereda cuantitativamente, pero algunos genes mayores pueden estar involucrados lo que brinda una mayor expectativa (Wu et al., citados por Bertholdsson, 2005).

En cuanto a la variabilidad en el potencial alelopático de diferentes cultivares de cebada, Capurro y Sotelo (2010), realizaron una serie de bioensayos evaluando 12 cultivares, 11 líneas modernas y un material viejo ancestro de algunos de los otros evaluados. Los resultados demostraron una gran variabilidad y se obtuvieron máximas reducciones radiculares de raigrás anual (*L.multiflorum*) superiores al 30% en 3 materiales indicando la presencia de potencial alelopático.

Wu et al. (2000) estudiando potencial alelopático en 453 accesiones de trigo, también encontró importante variabilidad en esta característica, 63 accesiones resultaron fuertemente alelopáticas, inhibiendo el crecimiento de las raíces del raigrás en más de un 81%, mientras que las 20 accesiones con menor potencial alelopático inhibieron el crecimiento radicular en menos de un 45%.

Bertholdsson (2010) en un estudio de cruzamientos utilizando un *Triticum aestivum* de alta actividad alelopática y un cultivar con baja actividad alelopática, en el que la actividad alelopática se estimaba como la inhibición del crecimiento de las raíces de *Lolium perenne* sembrado en agar junto con el trigo, obtuvo tres líneas de crianza en las generaciones F6 y F7 con una mejora del potencial alelopático del 20% promedio. El principal resultado del estudio fue una reducción del 19% promedio de la biomasa aérea de la maleza a campo para las líneas de alta actividad alelopática.

En otro estudio en cebada, el mismo autor Bertholdsson (2005) demostró que el mejoramiento por actividad alelopática permitía disminuciones del orden de 56-66% en la biomasa de malezas. Sugiere que si se combina con el mejoramiento por alto vigor inicial, la capacidad competitiva frente a malezas puede mejorarse aún más.

En cuanto a los momentos de mayor actividad alelopática en trigo Wu et al. (2000) sostiene que ocurre en dos momentos del ciclo del cultivo. La primera tiene lugar tempranamente en el ciclo y ocurre en forma directa por exudados radiculares. Comprobó que la liberación de ácidos fenólicos e hidroxámico fue aumentando hasta los 17 días teniendo un pico máximo a los 10 días de crecimiento del cultivo. El otro momento ocurre después de la cosecha y resulta de la lixiviación de aleloquímicos durante la descomposición de los residuos del cultivo (Wu, 2000).

Las numerosas evidencias relativas a la presencia de potencial alelopático de trigo así como la importante variabilidad encontrada a nivel de cultivares en esta característica ha impulsado la realización de variadas investigaciones tendientes a concretar la utilización de la misma en programas de mejoramiento (Bertholdsson, 2005). Estas investigaciones se han focalizado en la identificación de los aleloquímicos, su fitotoxicidad, las características de su degradación en el suelo y la ecotoxicología de los mismos tanto individual como colectivamente (Jia et al., Fomsgaard et al., Macías et al., Coja et al., citados por Wu et al., 2008).

Se han identificado tres categorías de aleloquímicos en trigo: Ácidos fenólicos, ácidos hidroxámicos, y ácidos grasos (Neves, Gaspar, Wu et al., Nakano et al., citados por Wu et al., 2008). Salomonsson et al., citados por Wu (2008) reportan que en el trigo los ácidos fenólicos más frecuentes son p-hidroxibenzoico, vainílico, p-cumárico y ferúlico, siendo el trans-ferúlico y los ácidos trans-p-cumárico los ácidos predominantes.

Los ácidos hidroxámicos son una nueva clase de alcaloides entre los que se encuentra un compuesto llamado DIMBOA, para el cual se ha reportado inhibición de crecimiento radicular y germinación en *Avena fatua* en una serie de experimentos (Wu et al., 2008).

Dentro de los ácidos de cadena corta los principales agentes alelopáticos identificados han sido sales de los ácidos acético, propiónico y butírico aunque también se han identificado ácidos carboxílicos de cadena larga, como los ácidos oleico, linoleico y esteárico.

Los cultivares de trigo tiene diferencia significativa en la producción de ácidos fenólicos, lo que ha llevado a cuestionar si la concentración necesaria para fitotoxicidad excede las concentraciones que se encuentran comúnmente en condiciones naturales (Wu, 2000).

Bioensayos realizados por Wu et al. (2008) con uno de los ácidos fenólicos, y ácido p-cumárico, mostró que este compuesto afectó

significativamente el crecimiento de los biotipo de raigrás anual resistentes a herbicidas inhibiendo en un 22-100% y 8-84% el crecimiento de raíces y brotes respectivamente, dependiendo de la concentración. El 100 % de inhibición radicular se obtuvo con concentraciones superiores a 5,0 mM. Por el contrario se observó que el ácido p-cumárico con concentraciones de 0,1mM o menores estimuló la germinación de raigrás resistente a herbicidas.

Por otra parte la cantidad de aleloquímicos también es dependiente de la densidad de población, es así que Weidenhamer et al., citados por Ferreira y Alves Aquila (2000) constató que aumentando la densidad de población el efecto alelopático disminuyó, aunque aumentó el efecto por competencia. Esto se debió a que cada planta redujo sus efectos fitotóxicos.

Dichos efectos fitotóxicos tal como lo reporta Ferreira y Alves Aquila son provocados en diferentes sitios de la planta, es así que afecta la germinación, y crecimiento inicial tanto de raíz como de parte aérea.

Zhang et al. (2005) refiriéndose al trabajo de Wu y colaboradores cita inhibiciones de 4,2% a 73,2% en la germinación de semillas y de 19,2% a 98,7% en la elongación radicular de raigrás estudiando los efectos de treinta y ocho cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y uno de trigo duro (*Triticum durum* Desf.).

Bertholdsson (2005) encontró que ciertos genotipos de trigo pueden producir exudados tóxicos de raíz, inhibiendo el crecimiento de las raíces del raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) en hasta un 50-60%. Reportando una tendencia creciente en la actividad alelopática potencial en el trigo, aunque hay una tendencia a la baja en la cebada.

En otro trabajo Wu (2000) estudió una colección mundial de 453 muestras de trigo en el cual también encontró importante variabilidad entre cultivares en el potencial alelopático sobre raigrás anual (*L. rigidum* Gaud.). La inhibición en el crecimiento de las raíces de raigrás varió entre 9,7% y 90,9%, identificándose dos grandes grupos de cultivares determinando una inhibición promedio en el crecimiento de las raíces de raigrás del orden de 76% y 46% respectivamente.

Los estudios evaluando el impacto en el rendimiento de cultivos asociado al mejoramiento por actividad alelopática son muy escasos. En teoría, la exudación de aleloquímicos puede influir en el rendimiento de varias maneras; la pérdida de metabolitos puede implicar una pérdida de energía, puede también correrse el riesgo de un sobre-dimensionamiento del sistema radical, pueden existir efectos negativos sobre la microflora del suelo y puede

ocurrir auto-toxicidad (Olofsdotter, Ben Hammouda, citados por Bertholdsson, 2003)

Bertholdsson (2010) encontró relación negativa entre la PAA (actividad potencial alelopática) y rendimiento de grano en trigo, opuesto a lo que encontrara en trabajos previos en cebada. En las líneas con alta actividad alelopática se estimó un 9% de reducción en el rendimiento de grano.

Además de presentar alelopatía el cultivo trigo contra el raigrás, también dicho fenómeno se ha reportado en los residuos de trigo afectando el crecimiento de raigrás anual existiendo también aquí una variabilidad en los cultivares estudiados (Wu et al., citados por Wu et al., 2000).

En un bioensayo donde se evaluaron los residuos alelopáticos de un extracto acuoso de treinta y ocho accesiones de trigo en contra de raigrás anual resistentes a herbicidas dichos extractos, inhibieron la germinación del 3% al 100%, dependiendo del cultivar de trigo y los efectos fitotóxicos sobre el crecimiento de la raíz fueron de 12% de estimulación al 100% de inhibición. En un estudio similar de trigo, con un biotipo de raigrás anual (*Lolium rigidum*), sensibles a herbicidas se encontró que los extractos acuosos de los diferentes cultivares variaron significativamente en sus efectos alelopáticos sobre la germinación la cual fue inhibida por 40 a 100 % y el crecimiento de las raíces de 19 a 100%, dependiendo del cultivar (Wu et al., citados por Wu et al., 2008).

Otro fenómeno a considerar es la autotoxicidad, que es un efecto de alelopatía intraespecífica que se produce cuando una especie de planta libera sustancias químicas que inhiben o retrasan la germinación y el crecimiento de la misma especie vegetal (Putnam, 1985).

Las primeras evidencias de autotoxicidad en trigo fueron halladas por Schreiner y Reed en 1907 quienes informaron que las raíces de cultivos de trigo, avena, y algunas otras plantas exudan químicos inhibitorios también para sus propias plantas (Wu et al., 2007).

Según Wu et al. (2007) la autotoxicidad está asociada a la distancia radial existente de los receptores al donante. En su estudio obtuvo inhibiciones de 47% en crecimiento radicular a distancias de 2 centímetros receptor-donador y un mínimo de 9% a distancias de 8 centímetros.

La autotoxicidad ha sido demostrada en distintos ensayos expresándose a nivel de la germinación, el crecimiento radicular e inclusive en reducciones en el rendimiento final de especies cultivadas. Es de destacar que existen importantes diferencias entre variedades en trigo (Wu, 2007)

habiéndose demostrado reducciones radicales de entre 18 y 38% y efectos en el crecimiento de la parte aérea de 2 a 21%.

También y como demostraran McCalla y Haskins, citados por Wu (2007) se han observado reducciones en el rendimiento de trigo creciendo sobre residuos de trigo lo que podría deberse a productos químicos fitotóxicos liberado durante la descomposición de dichos residuos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue realizado en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía y consistió en una serie de 5 experimentos.

Los 3 primeros, conducidos en cámara de crecimiento en el laboratorio de Malherbología tuvieron por objetivo evaluar potencial alelopático sobre raigrás en 7 cultivares de trigo. Los 2 restantes fueron conducidos en condiciones semicontroladas, bajo telado, y tuvieron por objetivo determinar los efectos de la interferencia de estos mismos cultivares sobre el crecimiento de raigrás, en macetas con tierra y relaciones de densidad similares a las de campo. Con estos 2 experimentos complementarios a los 3 primeros se pretendió estudiar la asociación entre potencial alelopático en los cultivares y sus interferencias sobre raigrás.

3.1. ESTUDIO DE POTENCIAL ALELOPÁTICO EN CULTIVARES DE TRIGO (Experimentos 1, 2 y 3)

Los cultivares estudiados resultaron los mismos en los 3 experimentos y fueron: Churrinche, Don Alberto, Nogal, Atlax, Centauro, Baguette 11 en función de su elevada participación en el área de siembra en el país y LE 2354, por considerarse un cultivar muy promisorio.

3.1.1. Tratamientos

En los experimentos 1 y 2 el total de tratamientos fue de 8, correspondiendo a los 7 cultivares de trigo mencionados creciendo junto a raigrás y el 8º al tratamiento testigo con sólo raigrás. Las diferencias entre estos experimentos consistieron en el sustrato en el que fueron colocadas a crecer las plantas y las densidades de trigo y raigrás utilizadas tal como se detalla a continuación.

Las densidades de raigrás y trigo utilizadas en los experimentos 1 y 2 se corresponden con las propuestas en la bibliografía para la metodología de ensayos en sustratos de agar y arena respectivamente.

Cuadro No. 1: Descripción de tratamientos experimento 1 y 2

Experimento 1						Experimento 2			
	Tratamiento	Sustrato	Raigrás pl/caja	Trigo pl/caja	Repeticiones	Sustrato	Raigrás pl/maceta	Trigo pl/maceta	Repeticiones
1	Nogal	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
2	Baguette 11	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
3	Atlax	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
4	Don Alberto	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
5	LE 2354	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
6	Churrinche	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
7	Centauro	Agar	10	6	5	Arena	2	4	10
8	Testigo	Agar	10	0	5	Arena	6	0	10

Los tratamientos del experimento 3 resultaron 14, correspondiendo a los 7 cultivares de trigos seleccionados creciendo junto a raigrás, con y sin carbón activado y con repeticiones, tal como se detalla a continuación. Las densidades utilizadas en este experimento se ajustaron en consideración de la relación de densidades de trigo y raigrás frecuentes a campo.

Cuadro No. 2: Descripción de experimento 3

Experimento 3				
Tratamiento	Cultivar	Carbono activado	Trigo pl/maceta	Raigras pl/maceta
1	Nogal	sin	6	4
2	Baguette 11	sin	6	4
3	Atlax	sin	6	4
4	Don Alberto	sin	6	4
5	LE 2354	sin	6	4
6	Churrinche	sin	6	4
7	Centauro	sin	6	4
8	Nogal	con	6	4
9	Baguette 11	con	6	4
10	Atlax	con	6	4
11	Don Alberto	con	6	4
12	LE 2354	con	6	4
13	Churrinche	con	6	4
14	Centauro	con	6	4

3.1.2. Características del material utilizado

En el siguiente cuadro se presentan las características agronómicas de los cultivares utilizados en los experimentos.

Cuadro No. 3: Características agronómicas

Cultivar	Crecimiento inicial	Potencial de macollaje	Sincronización	Respuesta al FP	Largo ciclo
Nogal	Bajo	Alto	Alta	Media	Largo
Centauro	Medio-Alto	Bajo	Baja	Baja	Corto
Don Alberto	Medio-Bajo	Alto	Alta	Media-Alta	Medio
Baguette 11	Bajo	Alto	Media	Media	Largo
LE 2354	Intermedio	Alto	Media	Media	Medio
Churrinche	Alto	Bajo	Baja	Media	Intermedio
Atlax	Alto	Medio-Bajo	Media	Baja	corto

Fuente: Hoffman et al. (2006), Hoffman et al. (2008), Hoffman et al. (2009) Hoffman et al. (2010).

3.1.3. Diseño experimental

Los experimentos 1 y 2 tuvieron un diseño de parcelas en bloques completos al azar, siendo los recipientes plásticos y macetas la parcela y el número de repeticiones fue de 5 para el primero y 10 para segundo.

El experimento 3 el diseño experimental usado fue bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos, donde los factores estudiados fueron cultivar de trigo (7 cultivares de trigo) y presencia de carbono activado (si, no). También en este experimento la maceta fue la parcela y el número de repeticiones utilizadas fue de 4.

3.1.4. Descripción y metodología de instalación

El experimento 1, instalado el día 01/4/2010 fue realizado en recipientes plásticos, con agua-agar al 0.3 % como sustrato esterilizado en autoclave y fue dispensado en los tarros plásticos en cámara de flujo en cantidad de 30 ml siguiendo la metodología utilizada por Capurro y Sotelo (2010) la cual consistió en modificaciones de metodología original propuesta por Bertholdsson (2003).

Las semillas de trigo y raigrás, pre-germinadas, fueron colocadas en un medio de crecimiento en recipientes plásticos de 400 ml de capacidad, 8 cm de diámetro y aproximadamente 10 cm de alto previamente esterilizados en cámara con rayos UV, actuando durante 30 minutos.

En cada recipiente fueron colocadas 6 semillas de trigo pregerminadas y 10 de raigrás y sólo 10 de raigrás en el caso del testigo. La duración del experimento fue de 7 días siendo mantenidos los recipientes durante este

tiempo en cámara de crecimiento con régimen de luz/oscuridad de 12 y 25 °C de temperatura. La siembra se llevó a cabo en cámara de flujo para evitar contaminación disponiendo las semillas cuidadosamente en el medio receptor contenido en los recipientes plásticos.

El experimento 2 se instaló el día 23/4/2010 en macetas plásticas de 1 litro de capacidad, conteniendo arena pura como sustrato y fue mantenido a 25 °C, régimen 12/12 horas luz-oscuridad y condición hídrica no limitante durante 10 días.

En cada maceta fueron sembradas 4 semillas pregerminadas de trigo de cada cultivar con 2 semillas pregerminadas de raigrás. Las semillas de trigo fueron dispuestas en círculo exterior y en el centro se colocaron las semillas de raigrás (ver Foto No. 1). En el testigo, se colocaron 4 semillas pregerminadas de raigrás en el círculo exterior y 2 semillas pregerminadas de raigrás en el centro. Tanto las semillas de trigo como de raigrás utilizadas tuvieron 48 horas de pregerminación en cajas de petri a 25°C y régimen de 12/12 horas luz-oscuridad.

La profundidad de siembra fue de 2 cm en todos los casos y los riegos fueron de 20 a 30 ml de agua desionizada en la bandeja inferior de las macetas siempre que faltara.



Foto 1 y 2: Siembra de experimento 2 y 3.

El experimento 3 se instaló el día 4 de noviembre del 2010 en macetas plásticas de 1 litro de capacidad conteniendo un sustrato de 500 gramos compuesto por una mezcla con 70/30 de tierra y arena respectivamente y con 0% y 2% de carbón activado. Fue mantenido a 25 °C con un régimen de 12/12 horas luz-oscuridad y condición hídrica no limitante durante 10 días.

Se sembraron en cada maceta 6 semillas de trigo de cada cultivar con 4 semillas de raigrás. Las 6 semillas de trigo fueron colocadas en círculo exterior y las 4 de raigrás fueron colocadas en círculo en el centro (ver Foto No. 2).

La profundidad de siembra fue de 2 cm en todos los casos y fue regado en la bandeja inferior de las macetas con 20 ml de agua desionizada siempre que faltara.

3.1.5. Determinaciones

En los 3 experimentos las determinaciones consistieron en la estimación del largo de raíz y en los experimentos 1 y 2 se estimó además, largo de parte aérea de las plantas de raigrás.

En los casos de los experimentos 2 y 3 fue necesario sumergir los recipientes en abundante agua y de esta forma favorecer la lixiviación del sustrato liberando las raíces y evitando la ruptura de las mismas.

Las mediciones se realizaron con auxilio de una cuadrícula milimetrada como se observa en la foto (ver Foto No. 3).



Foto No. 3: Medición de raíz de raigrás de experimento 1,2 y 3

3.1.6. Análisis estadístico y procesamiento de los datos

Todas las variables medidas son continuas y se analizaron en función del diseño de cada experimento. Se usó el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS versión 9.2` (SAS Institute, 2008). Los experimentos 1 y 2 tuvieron un diseño de parcelas en bloques completos al azar (DBCA).

Modelo estadístico (DBCA)

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i=1,2,\dots,8 \quad j=1,2,\dots,10$$

Siendo

Y_{ij} = variable de respuesta

μ = media poblacional

α_i = efecto del tratamiento i (cultivares)

β_j = efecto del j -ésimo bloque

ε_{ij} = error experimental según tratamiento y repetición

En el experimento 3 el diseño experimental usado fue bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos.

Modelo estadístico (DBCA)

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + R_j + B_k + (CR)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i=1,2,\dots,14 \quad j=1,2,3,4$$

Siendo

Y_{ijk} = Variable de respuesta.

μ = Media poblacional.

C_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor A (cultivar).

R_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor B (presencia o no de carbón activado).

B_k = Efecto del k -ésimo bloque.

$(CR)_{ij}$ = Efecto de la i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B.

ε_{ijk} = Error experimental.

3.2. ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA INTERFERENCIA DE LOS DISTINTOS CULTIVARES SOBRE RAIGRÁS (Experimentos 4 y 5)

Como se comentara en la introducción de este ítem estos experimentos buscaron determinar los efectos de los mismos cultivares estudiados en los experimentos anteriores sobre el crecimiento de raigrás en macetas con tierra y relaciones de densidad similares a las que ocurren a campo, en condiciones de producción.

3.2.1. Tratamientos

Los tratamientos en los experimentos 4 y 5 se detallan en los Cuadros a continuación (Cuadro No. 4 y No. 5).

El experimento 4 se condujo hasta que las plantas de trigo alcanzaron el estado de Z 30 y el experimento 5 se mantuvo hasta determinación de rendimiento en trigo.

Cuadro No. 4: Descripción de los tratamientos

Experimento 4			
Tratamiento	Cultivar	Trigo pl/maceta	Raigras pl/maceta
1	Nogal	6	4
2	Baguette 11	6	4
3	Atlax	6	4
4	Don Alberto	6	4
5	LE 2354	6	4
6	Churrinche	6	4
7	Centauro	6	4

Los tratamientos ensayados en el experimento 5 estos resultaron en 14 correspondiendo 7 a los cultivares de trigo seleccionados creciendo junto a raigrás con 5 repeticiones y 7 a los cultivares de trigo creciendo sólo como testigos con tres repeticiones.

Cuadro No. 5: Descripción de los tratamientos

Experimento 5				
Tratamiento	Cultivar	Presencia de raigras	Trigo pl/maceta	Raigras pl/maceta
1	Nogal	sin	3	0
2	Baguette 11	sin	3	0
3	Atlax	sin	3	0
4	Don Alberto	sin	3	0
5	LE 2354	sin	3	0
6	Churrinche	sin	3	0
7	Centauro	sin	3	0
8	Nogal	con	3	2
9	Baguette 11	con	3	2
10	Atlax	con	3	2
11	Don Alberto	con	3	2
12	LE 2354	con	3	2
13	Churrinche	con	3	2
14	Centauro	con	3	2

3.2.2. Diseño experimental

El experimento 4 tuvo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), siendo los recipientes plásticos las parcelas y el número de repeticiones de 4.

El experimento 5 tuvo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos, donde los factores estudiados fueron cultivar de trigo (7 cultivares de trigo) y presencia de raigrás (si y no), siendo la unidad experimental cada maceta, teniendo 5 repeticiones.

3.2.3. Descripción y metodología de instalación

El experimento 4 se instaló el día 19/6/2010 en macetas plásticas de 3 kg de capacidad conteniendo como sustrato una mezcla con 70/30 tierra y arena previamente fertilizada con 7-40-0. Fue conducido en condiciones semicontroladas, bajo telado, en igualdad de condiciones de radiación y regado siempre que fuera necesario.

La siembra se realizó a una profundidad de 2 cm y a una densidad de 12 semillas de trigo por cultivar y 12 semillas de raigrás a los efectos de asegurar la población objetivo de 6 plantas de trigo y 4 de raigrás, la que se obtuvo a posterioridad por raleo. El riego se realizó diariamente en todos los casos en la bandeja inferior sobre la que se colocaron las macetas, con un volumen de agua de 100-150 ml dependiendo de las necesidades hídricas. Fue

necesaria la aplicación de un fungicida, Opera, a dosis recomendada el día 15/8/2010.

El experimento 5 también fue instalado el día 19-20/6/2010 en macetas plásticas de 4,5 kg conteniendo como sustrato una mezcla con 70/30 tierra y arena previamente fertilizada con 7-40-0 y también conducido en telado. La siembra se realizó a igual profundidad y con una densidad de siembra objetivo de 3 plantas de trigo y 2 de raigrás, para lo cual se sembraron el doble de ambas especies y luego se raleo para obtener dicha densidad. El riego se realizó en la bandeja inferior con un volumen de agua de 400-500ml dependiendo de los requerimientos del cultivo. Fue necesario la refertilización en Z30 con 45 kg/ha de urea, además fue necesario la aplicación de Opera a dosis recomendada y el uso de un insecticida, Lorsban, también a dosis recomendada, el día 19/10/10.

3.2.4. Determinaciones

En el experimento 4 y 5 las determinaciones consistieron en la estimación de biomasa (materia verde y seca) tanto de trigo como de raigrás y del desarrollo de raigrás, realizándose determinaciones en forma periódica cada 3-4 días utilizando la escala Zadoks. Para la estimación de la materia seca las muestras fueron llevadas a estufa con 60 °C durante 48 horas.

En el experimento 5 se determinó además el rendimiento de trigo (g/maceta y por planta de trigo) creciendo en presencia y ausencia de raigrás.

A partir de las determinaciones realizadas en trigo (materia verde y rendimiento) se calculó un índice de tolerancia a la competencia o la habilidad para soportar la interferencia (HSI=AWC Ability to Withstand Competition) (Watson et al., 2006) de la siguiente forma:

$$\text{HSI (AWC)} = 100 * (\text{Y con rg} / \text{Y sin rg})$$

Donde:

Y con rg= materia verde trigo o rendimiento trigo creciendo junto a raigrás

Y sin rg= materia verde trigo o rendimiento trigo creciendo sola, sin raigrás

Es de destacar que en el experimento 4 se pretendió determinar peso y longitud en raíces de raigrás, lo cual pese a intentarse de variadas formas resultó imposible. Las raíces de raigrás se encontraban entrelazadas con las de trigo y no se logró separarlas.

3.2.5. Análisis estadístico y procesamiento de los datos

Para el procesamiento de los datos se usó el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS versión 9.2` (SAS Institute, 2008). El experimento 4 tuvo un diseño de parcelas de bloques al azar (DBCA).

Modelo estadístico (DBCA) del experimento 4

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i=1,2,\dots,7 \quad j=1,2,\dots,4$$

Siendo

Y_{ij} = variable de respuesta.

μ = media poblacional

α_i = efecto del tratamiento i (cultivar)

β_j = efecto del j -ésimo bloque

ε_{ij} = error experimental según tratamiento y repetición

En el experimento 5 el diseño experimental usado fue bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos.

Modelo estadístico del experimento 5

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + R_j + B_k + (CR)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i=1,2,3,\dots,14 \quad j=1,2,\dots,5$$

Siendo

Y_{ijk} = Variable de respuesta.

μ = Media poblacional.

C_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor A (cultivar).

R_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor B (presencia o no de raigrás).

B_k = Efecto del k -ésimo bloque.

$(CR)_{ij}$ = Efecto de la i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B.

ε_{ijk} = Error experimental.

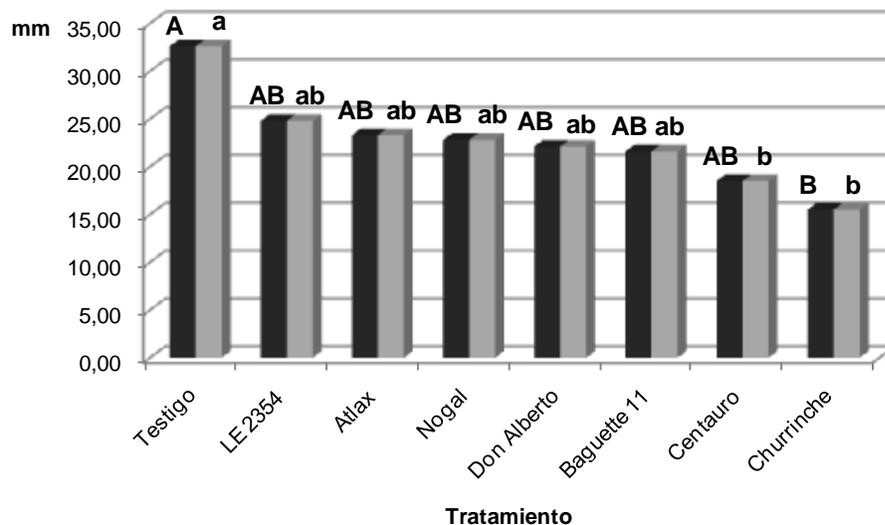
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y discuten separadamente los resultados para los experimentos 1, 2 y 3 y los correspondientes a los experimentos 4 y 5 en función de sus diferentes objetivos.

4.1. ESTUDIOS DE POTENCIAL ALELOPÁTICO EN LOS CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS (Experimentos 1, 2 y 3)

4.1.1. Experimento 1

El ANAVA del bioensayo en agar detectó efecto significativo de tratamiento ($p=0.05$) y permitió diferenciar efectos para el cultivar Churrinche en relación al testigo en la comparación con Tuckey al 5% y para este cultivar y Centauro cuando el test se realizó al 10% (Figura No. 1)



(*) medias con igual letra mayúscula no difieren estadísticamente ($P<0.05$)

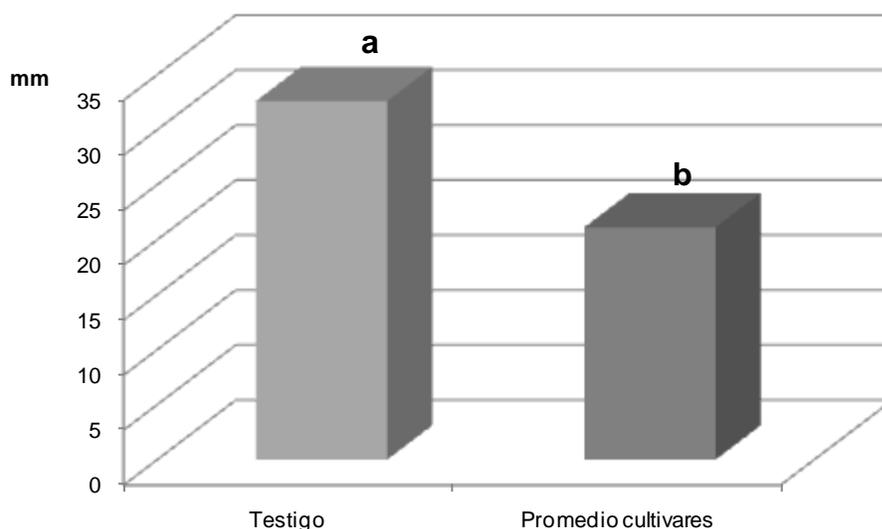
(**) medias con igual letra minúscula no difieren estadísticamente ($P<0.10$)

Figura No. 1: Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.

Como se observa en la figura exceptuando Churrinche y Centauro, los

tratamientos no difirieron del testigo y por lo tanto a partir de los resultados de este primer bioensayo se concluiría que se determinó potencial alelopático sobre raigrás sólo en los cultivares Churrinche y Centauro.

Pese a que como se comentara sólo se observarían efectos en 2 cultivares, resulta de interés mencionar que el largo de raíz promedio en todos los cultivares mostró una reducción del 35 % en relación al testigo, resultando el contraste correspondiente muy significativo (Figura 2)



(*) medias con diferente letra mayúscula difieren estadísticamente ($P=0.002$)

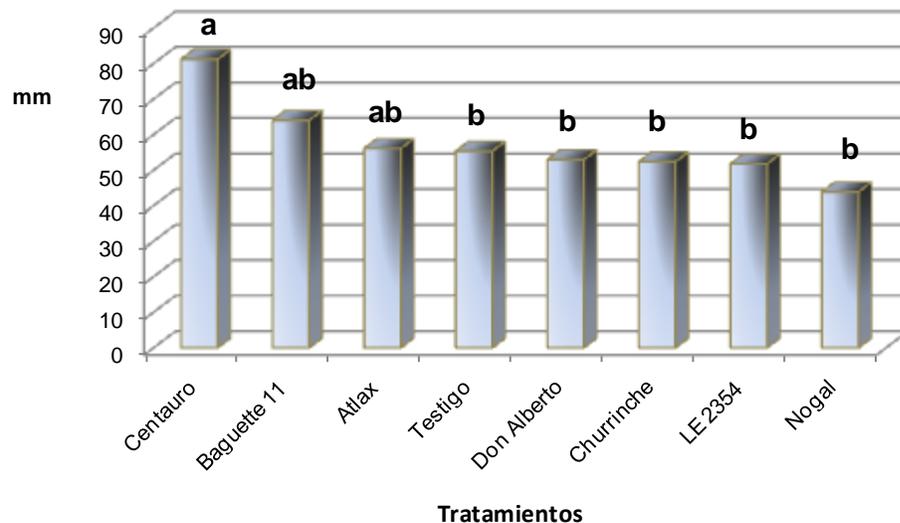
Figura No. 2: Largo de raíz de raigrás del promedio de los cultivares medida en mm en contraste con el testigo.

Cabe destacar que esta disminución o efecto promedio de los cultivares fue mayor a la estimada en los estudios de Capurro y Sotelo (2010) en cebada.

También la máxima reducción observada en este bioensayo, que correspondió al cultivar Churrinche alcanzó un valor elevado (53%), comparado a los valores obtenidos por las autoras mencionadas.

4.1.2. Experimento 2

En este bioensayo, en el que se usara arena como sustrato, el ANAVA también detectó efecto de tratamiento y muy significativo ($p=0.001$), El test de Tuckey sólo indicó diferencias entre el cultivar Centauro y el testigo (Figura 3).



(*) medias con igual letra mayúscula no difieren estadísticamente ($P<0.05$)

Figura No. 3: Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.

El primer aspecto destacable de este bioensayo, tal como se desprende de la observación de la figura, es que no se observó inhibición del largo de raíz en ninguno de los cultivares respecto al testigo. Por el contrario y a diferencia de los resultados del bioensayo anterior, se detectó mayor largo de raíz en el cultivar Centauro. En este cultivar se estimó un largo de raíz 47 % superior al testigo, lo que podría interpretarse como un efecto de estímulo, resultando muy diferente a lo esperado.

El estudio de contraste entre el testigo y los cultivares en este caso (testigo=55,35 vs. prom. cultivares=57,47) y como era esperable, resultó no significativo ($p=0.78$)

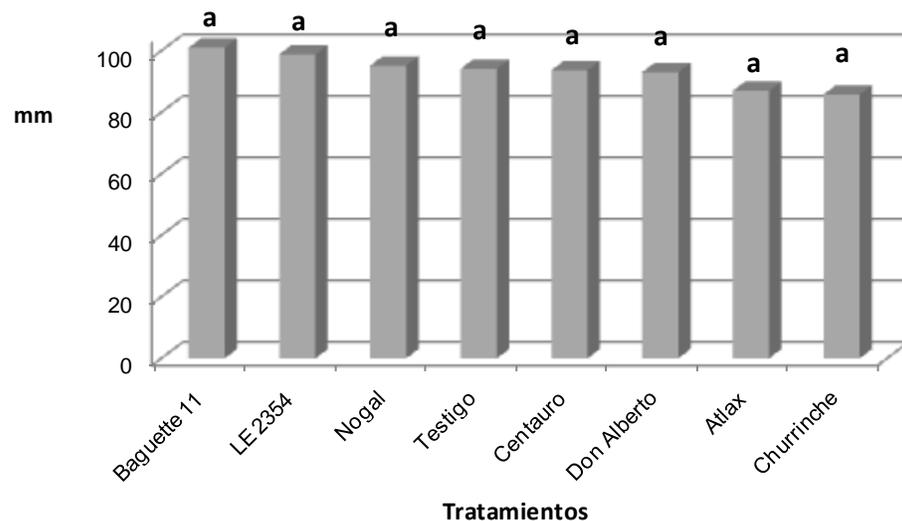
Pese a que no se demostraran diferencias significativas entre Nogal (el cultivar que mostrara el menor largo de raíz) y el testigo la reducción en este cultivar alcanzó un 21 %. Reducciones promedio de esta magnitud han demostrado ser significativo en otros tipos de bioensayos lo cual podría estar

indicando algún inconveniente metodológico en este experimento que hubiera dificultado la expresión del efecto, como podría ser el alto coeficiente de variación para la variable estudiada que resultó de 31.5 %.

En términos de comentar algunas otras posibles explicaciones a los presentes resultados pueden mencionarse otros aspectos metodológicos que podrían haber llegado a influir. La arena utilizada en este bioensayo no fue esterilizada tal como lo hiciera Fariña (2003) en experimentos similares. Por lo tanto podría existir alguna interacción entre los aleloquímicos y la microbiota en el sustrato afectando los resultados de una manera no prevista y diferente de lo que pasara en agar. Es conocido que muchos efectos alelopáticos son resultado de la interacción entre los aleloquímicos liberados por las plantas y los microorganismos en el sustrato.

Por último también puede considerarse que en este bioensayo no adicionamos nutrientes como realizan algunos autores en experimentos similares lo que podría haber introducido otra interacción no prevista.

Como se planteara en materiales y métodos también se estimó el largo de la parte aérea. El ANAVA para esta variable no detectó efecto significativo y tal como puede observarse en la figura a continuación, la variación a nivel de los promedios fue mínima.



(*) medias con igual letra mayúscula no difieren estadísticamente ($P < 0.05$)

Figura No. 4: Promedio de largo de parte aérea de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.

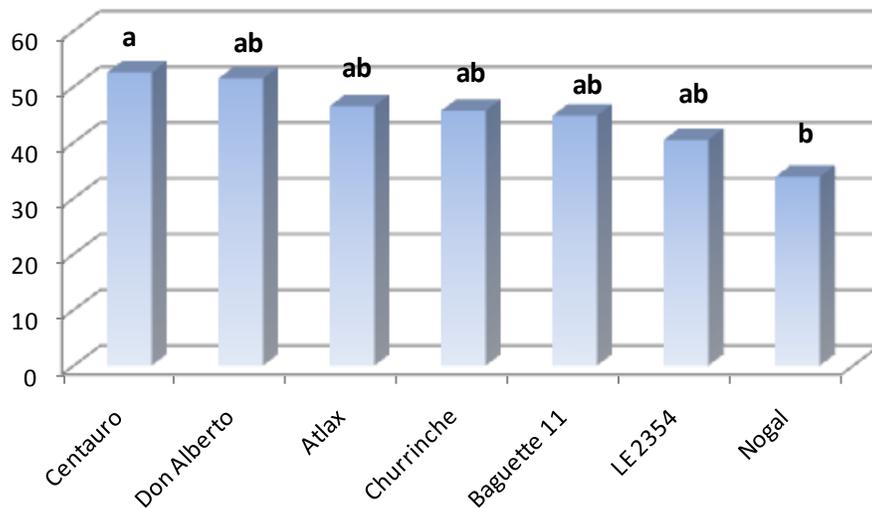
Estos resultados concuerdan con varios otros estudios de esta clase. En general en estos bioensayos no se observan efectos a nivel de la parte aérea en la especie receptora (Capurro y Sotelo, 2010).

4.1.3. Experimento 3

En el experimento 3 en el cual se utilizara como sustrato tierra con o sin carbón activado no se utilizó testigo, sólo se estudió comparativamente entre cultivares.

El procesamiento estadístico detectó efecto significativo para los cultivares ($p=0.03$) y ningún efecto para la presencia de carbón ni para la interacción de cultivares x carbón.

El análisis del comportamiento comparativo de los cultivares (Figura 5) indicó algunas coincidencias con el experimento anterior.



(*) medias con igual letra mayúscula no difieren estadísticamente ($P<0.05$)

Figura No. 5: Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos.

El comportamiento del cultivar Centauro así como el del cultivar Nogal, presentando el mayor y menor largo de raíz respectivamente, muestran coincidencia con el experimento 2. Igualmente podría destacarse la tendencia observada en LE 2354 de presentar largo de raíz menores que los restantes

cultivares aún no llegando a los mínimos que muestra Nogal.

El resultado estadístico señalando ausencia de efecto por el agregado de carbón activado no era lo esperable, en consideración de los resultados en los experimentos 1 y 2. En general, cuando se agrega carbón activado, los largos de raíces resultan mayores puesto que elimina la expresión de efectos alelopáticos siendo los aleloquímicos retenidos por el carbón activado.

El carbón activado posee fuerte capacidad de adsorber compuestos orgánicos como los aleloquímicos. Sin embargo, no está muy claro cómo podría afectar la disponibilidad de nutrientes inorgánicos (Lorenzo y González, 2010).

Considerando lo recientemente expuesto podría pensarse que los resultados en los tratamientos con adición de carbón activo estuvieran enmascarando una deficiencia de nutrientes siendo que no se agregaron nutrientes al sustrato en este experimento.

Otra de las posibles explicaciones es que aún siendo el carbón activado un adsorbente de amplio espectro, pueden existir químicos con efecto alelopático que no sean efectivamente adsorbidos (Inderjit y Callaway, 2003).

Por último y en la intención de extraer algunas conclusiones de estos 3 experimentos que tuvieron el mismo objetivo, se confeccionó el siguiente cuadro en el que se resumen los resultados.

Cuadro No. 6: Promedio de largo de raíz de raigrás medida en mm para los diferentes tratamientos para los experimentos 1, 2 y 3.

Experimento 1				Experimento 2			Experimento 3 (Sin Carbón)			
Tratamiento	Media	p=0,05	p=0,10	Tratamiento	Media	p=0,05	Tratamiento	Media	p=0,05	p=0,10
Testigo	32,6	A	a	Centauro	81,2	A	Centauro	54,9	A	a
LE 2354	24,8	AB	ab	Baguette 11	64,05	AB	Churrinche	53,1	A	a
Atlax	23,3	AB	ab	Atlax	56,1	AB	Atlax	47,1	A	a
Nogal	22,8	AB	ab	Testigo	55,35	B	Baguette 11	46,1	A	a
Don Alberto	22,1	AB	ab	Don Alberto	52,95	B	Don Alberto	44,5	A	a
Baguette 11	21,6	AB	ab	Churrinche	52,35	B	Nogal	36,8	A	a
Centauro	18,5	AB	b	LE 2354	51,75	B	LE 2354	36,3	A	a
Churrinche	15,5	B	b	Nogal	43,9	B				

(*) medias con igual letra mayúsculas no difieren estadísticamente ($P < 0.05$)

(**) medias con igual letra minúscula no difieren estadísticamente ($P < 0.10$)

Realizando un análisis comparativo el primer aspecto destacable y el más importante es que existió inconsistencia en los resultados obtenidos, no

presentando los cultivares similares comportamientos relativos.

Con la metodología y las determinaciones utilizadas en el presente estudio no es posible explorar las causales de estas diferencias. Considerando que con frecuencia, los efectos alelopáticos resultan de la actividad de sustancias que derivan de la transformación que sufren los aleloquímicos liberados por la plantas en el ambiente edáfico, puede entenderse que estos 3 experimentos realizados en sustratos distintos no muestren consistencias.

En este sentido y considerando que los resultados del experimento 3 sin agregado de carbón activado podrían ser los más representativos de lo que se espera ocurra en condiciones reales de producción, en el Cuadro No. 6 se incluyeron sólo los resultados de los tratamientos en los que no se agregó carbón activado.

Comparando los resultados del experimento 1, que podrían interpretarse como los correspondientes a la evaluación del potencial alelopático de los cultivares y los del experimento 3, que representarían la actividad alelopática asociada a estos cultivares esperable a campo, puede considerarse que existen algunas coincidencias. En realidad no se encontraron diferencias entre cultivares en ninguno de los 2 experimentos aún cuando en el primero se comprobara actividad en los cultivares y diferencias entre Churrinche y Centauro respecto al testigo.

Resulta interesante destacar, aún cuando no se encontraron explicaciones que los mismos 2 cultivares que presentaron la mayor actividad potencial en el experimento 1 son los que muestran la tendencia a las menores actividades en ambiente edáfico en el experimento 3.

4.2 ESTUDIOS DE LA CAPACIDAD SUPRESORA DE MALEZAS EN LOS CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS (Experimentos 4 y 5)

4.2.1. Experimento 4

Este ensayo fue realizado bajo telado y conducido hasta que los cultivares alcanzaron el estado de desarrollo promedio de Z 30.

El procesamiento estadístico de los resultados de las estimaciones de desarrollo fenológico de raigrás permitió detectar efectos significativos de tratamiento ($p=0.02$) indicando efectos de interferencia diferencial entre cultivares sobre la maleza. Al realizarse la separación de medias se encontró

que el mayor desarrollo de raigrás ocurrió en el tratamiento con Nogal, el menor en el tratamiento con Baguette 11 y los demás cultivares mostraron un comportamiento intermedio (Cuadro No. 7).

Cuadro No. 7: Desarrollo de raigrás (escala Zadoks) para los promedios de los distintos tratamientos ensayados.

Tratamiento	Estimación escala Zadoks	P<0.05
Nogal	1,78	a
Centauro	1,72	ab
LE 2354	1,71	ab
Churrinche	1,69	ab
Don Alberto	1,67	ab
Atlax	1,66	ab
Baguette 11	1,59	b

(*) iguales letras dentro de cada columna no difieren significativamente (P< 0,05)

Estos resultados sugieren un mayor efecto supresor del desarrollo de raigrás para el cultivar Baguette 11 respecto a Nogal. Este comportamiento de Nogal resultó llamativo puesto que en los experimentos anteriores aún no mostrando claros efectos de inhibición, estuvo entre los cultivares en los que se estimaron las mayores inhibiciones promedio.

Por el contrario, en el caso del cultivar Centauro parecen existir coincidencias. Tanto en este experimento como en los anteriores los efectos de la interferencia de Centauro sobre raigrás resultaron mínimos.

A diferencia de lo recientemente comentado, en la variable altura de plantas de raigrás el análisis de varianza no detectó efecto significativo de tratamiento, resultando la altura de la maleza igual en todos los cultivares (Cuadro No. 8).

Cuadro No. 8: Altura de plantas de raigrás medidas en cm para los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	Altura de planta (cm)	P<0.05
Nogal	22,75	a
Atlax	21,25	a
Churrinche	21,25	a
Centauro	20,75	a
Don Alberto	20,5	a
Baguette 11	20,25	a
LE 2354	19,75	a

(*) iguales letras dentro de cada columna no difieren significativamente (P< 0,05).

Muy posiblemente la variabilidad en la estimación de esta variable (CV= 44.2 %) haya dificultado la detección de efectos.

En cuanto al peso de raigrás por planta, el ANAVA detectó efecto significativo (P<0,10), diferenciándose estadísticamente los cultivares Baguette 11 y Don Alberto con menores pesos de planta de raigrás respecto al cultivar Nogal que presentó el mayor peso por planta.

Cuadro No. 9: Peso en materia seca por planta de raigrás (g/pl⁻¹) creciendo con los distintos cultivares.

TRATAMIENTO	Peso por planta MS (g/pl ⁻¹)	P<0.10
Nogal	0,54	a
LE 2354	0,44	ab
Atlax	0,41	ab
Churrinche	0,39	ab
Centauro	0,39	ab
Don Alberto	0,33	b
Baguette 11	0,32	b

(*) iguales letras dentro de cada columna no difieren significativamente (P< 0.10).

Haciendo un análisis en conjunto de las variables desarrollo (Cuadro No. 7) y peso de materia seca por planta del raigrás se observa que el cultivar Baguette 11 mostró un efecto similar en ambas variables, resultando el cultivar

que determinó tanto el menor desarrollo como los menores pesos por planta al momento de la evaluación final del ensayo.

Este resultado llama la atención ya que como se puede apreciar en el Cuadro No. 3, Baguette11 se caracteriza por un lento crecimiento inicial al igual que el cultivar Nogal. El efecto de interferencia observado en raigrás, en este cultivar, no pudiendo explicarse por las características de crecimiento inicial podría estar indicando potencial alelopático en el cultivar Baguette 11.

Por el contrario, en el caso del cultivar Don Alberto que presenta mayores crecimientos iniciales (Cuadro No.3) y que fuera el cultivar alcanzando la mayor producción de biomasa (Cuadro No.10) en la determinación a Z 30, los efectos sobre raigrás podrían ser exclusivamente el resultado de su mayor competitividad inicial.

Cuadro No. 10: Biomasa seca de trigo medida en gramo (g/pl^{-1}) para los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	Peso de MS Trigo (g/pl^{-1})	P<0.05
Don Alberto	0,54	a
LE 2354	0,44	a
Atlax	0,41	a
Churrinche	0,39	a
Baguette 11	0,39	ab
Centauro	0,33	ab
Nogal	0,32	b

(*) iguales letras dentro de cada columna no difieren significativamente ($P < 0,05$).

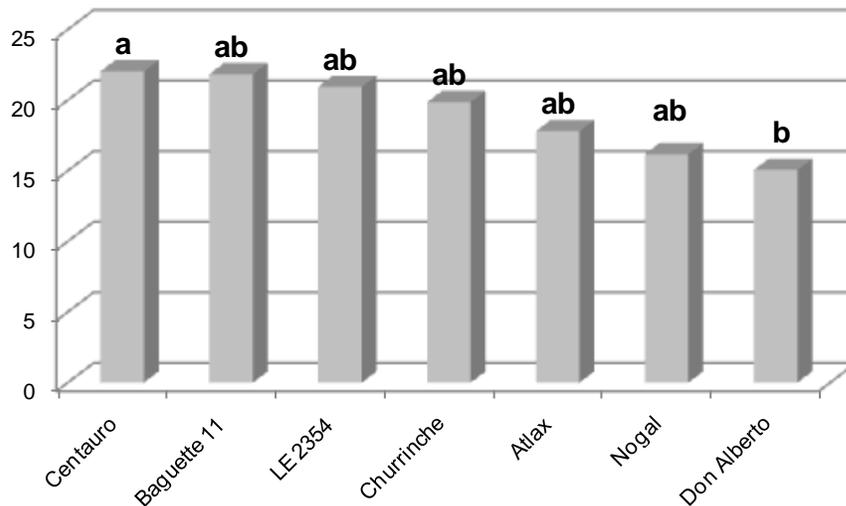
4.2.2. Experimento 5

Este experimento, al igual que el experimento anterior, fue instalado en telado y mantenido hasta madurez fisiológica del cultivo.

El análisis estadístico permitió diferenciar ($p=0.04$) efecto de los cultivares en el caso de la producción de materia verde de raigrás estimada a cosecha aunque no mostró ningún efecto en la materia seca de la maleza ($p>0.10$).

Como puede observarse en la Figura No. 6 la mayor producción de materia verde de la maleza se alcanzó en el cultivar Centauro y la menor en el

cultivar Don Alberto en el que sólo se produjera el 68% de la alcanzada en el cultivar Centauro. En los restantes cultivares la producción de raigrás resultó intermedia.



(*) medias con igual letra no difieren estadísticamente ($p < 0.10$)

Figura No. 6: Producción de materia verde de raigrás en gramos creciendo junto a los distintos cultivares.

El comportamiento del cultivar Don Alberto en este experimento concuerda al mostrado en el experimento anterior en el que fuera el cultivar que determinara el menor desarrollo vegetativo y la menor producción de materia seca de raigrás. Por lo tanto, aparece como un cultivar con prolongado efecto supresor.

Por el contrario, los comportamientos de Centauro y de Nogal en este momento, sobre el final del ciclo del cultivo, mostraron notoria variación en relación a lo observado en el experimento 4.

Centauro se presenta en este estudio como el cultivar con menor efecto sobre raigrás, diferenciándose estadísticamente ($p = 0.04$) del cultivar más supresor Don Alberto.

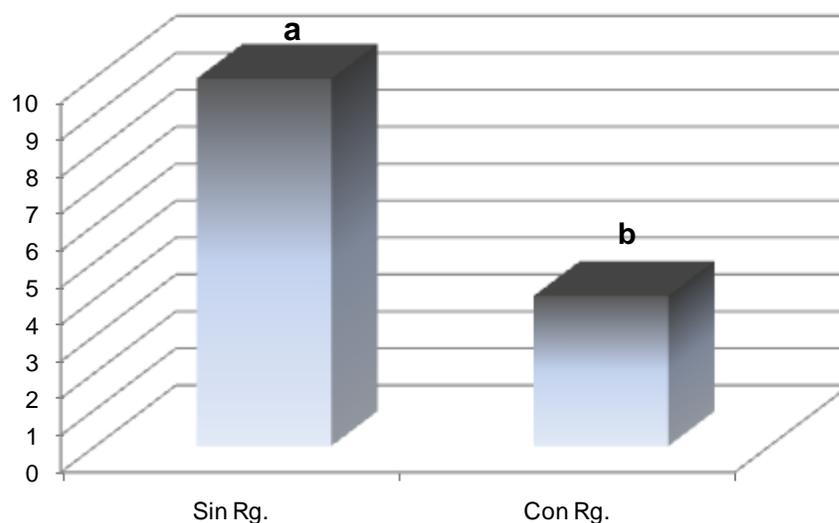
Nogal, que presenta un comportamiento parecido al de Don Alberto, del que no se diferencia ($p > 0.10$), con una producción de materia verde de raigrás apenas 7% superior, fue por el contrario, el cultivar con menor efecto en el experimento 4 y el único en diferenciarse de Don Alberto. La biomasa de raigrás

estimada en Nogal, en ese experimento, resultó un 39% mayor a la determinada en Don Alberto.

Cabe destacar que mientras en el experimento anterior la biomasa de los cultivares Don Alberto y Nogal mostraron diferencias muy significativas ($p=0.002$), en este experimento determinadas sobre el final del ciclo no difirieron ($p>0.10$): Esto puede constituir parte de la explicación de su similitud en los efectos de interferencia sobre raigrás al final del ciclo del cultivo.

Para las variables materia seca y rendimiento de trigo el ANAVA detectó efectos muy significativos para la interferencia de raigrás, efectos significativos de cultivar sólo en rendimiento y no resultó significativa la interacción cultivar por raigrás en ninguna de las dos variables.

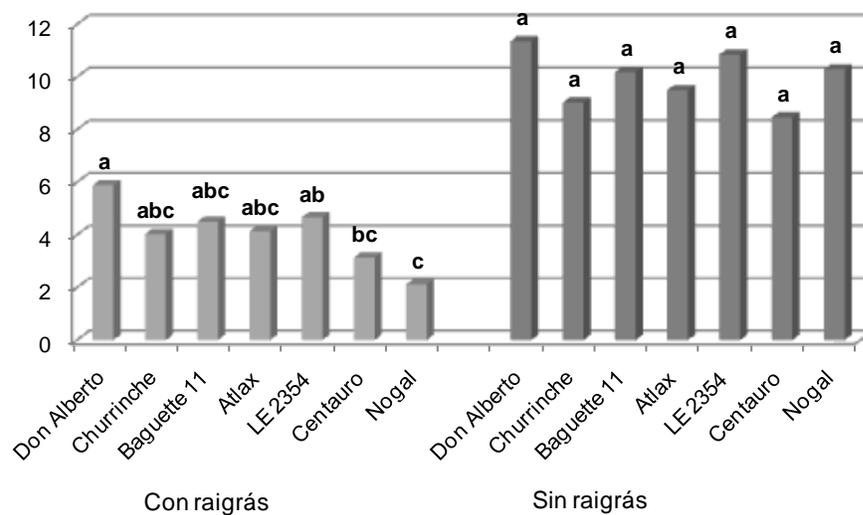
Como se puede observar en la Figura No. 7 el efecto de la interferencia de raigrás en el rendimiento en grano de trigo fue muy notorio y determinó una pérdida promedio de 59% en el rendimiento en grano de trigo.



(*) medias con distinta letra difieren estadísticamente ($p<0.05$)

Figura No. 7: Interferencia de raigrás en el rendimiento (en g.) de trigo.

Pese a que el ANAVA no detectó efectos de interacción cultivar x raigrás, las pérdidas por efecto de la interferencia de la maleza en los cultivares variaron desde un 48% en el caso de Don Alberto hasta un 79% en el caso de Nogal tal como muestra la Figura No. 8.



(*) medias con distinta letra difieren estadísticamente ($P < 0,05$)

Figura No. 8: Rendimiento en grano de los diferentes tratamientos creciendo con y sin raigrás.

El índice de tolerancia (Watson et al., 2006) calculado para los cultivares estudiados refleja esta variabilidad (Cuadro No. 11).

Cuadro No. 11: HSI calculados para los cultivares estudiados.

Cultivares	HSI (Habilidad para Soportar Interferencias) (%)
Don Alberto	51,8
Churrinche	44,6
Baguette 11	44,1
Atlax	43,5
LE 2354	42,9
Centauro	37,1
Nogal	20,6

Como puede observarse Don Alberto es el cultivar mostrando el mayor HSI, la mayor tolerancia a la interferencia de la maleza. Sin embargo y considerando los resultados en raigrás comentados anteriormente, a partir de los cuales se comprobó que este es el cultivar con mayor habilidad para suprimir el crecimiento de la maleza y por lo tanto capaz de disminuir la presión de interferencia de raigrás, podría pensarse que no se trata estrictamente de una tolerancia.

A los efectos de profundizar en este análisis se calculó la pérdida porcentual de los distintos cultivares en relación a la materia verde de raigrás presente en la estimación a madurez fisiológica (Cuadro No.12)

Cuadro No. 12: Pérdida de rendimiento de trigo por gramo de biomasa verde de raigrás

Cultivares	Perdida de Rendimiento (%)	Biomasa verde de raigrás	Perdida de rnto/ biomasa verde de Rg
Don Alberto	48,2	15,1	3,2
Churrinche	55,4	19,9	2,8
Baguette 11	55,9	21,8	2,6
Atlax	56,5	17,8	3,2
LE 2354	57,1	20,9	2,7
Centauro	62,9	22,0	2,9
Nogal	79,4	16,2	4,9

Como se observa, incluyendo la consideración de la presión real de interferencia de la maleza en cada cultivar, no destaca Don Alberto, existiendo otros cultivares como LE 2354 y particularmente Baguette 11 que se muestran como más tolerantes, con menores pérdidas por unidad de presión de interferencia.

Nogal con una relación de 4,9 resalta como con una muy baja tolerancia. Posiblemente esta característica sumada a la baja capacidad de supresión de raigrás inicial que demostrara en el experimento 4 explica las altas pérdidas de rendimiento por efecto de raigrás estimadas en este cultivar, pese a haber mostrado una tendencia a la supresión sobre el final del ciclo.

Estos resultados destacan como era esperable, la importancia de la habilidad de supresión temprana de la interferencia en la expresión del rendimiento en grano de los cultivares.

5. CONCLUSIONES

5.1. ESTUDIOS DE POTENCIAL ALELOPÁTICO EN LOS CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS (Experimentos 1, 2 y 3)

- Sólo en el experimento 1, utilizando agar como sustrato fue posible detectar potencial alelopático determinándose reducciones en el crecimiento de la radícula de raigrás de 43% y 53% en los cultivares Centauro y Churrinche respectivamente.
- El comportamiento comparativo de los cultivares en los 3 bioensayos mostró inconsistencia no siendo posible explorar las causales de estas diferencias con la metodología y las determinaciones utilizadas en estos estudios.

5.2. ESTUDIOS DE LA CAPACIDAD SUPRESORA DE MALEZAS EN LOS CULTIVARES DE TRIGO EVALUADOS (Experimentos 4 y 5)

- Los cultivares difirieron en su capacidad de supresión temprana sobre la maleza.
- Baguette 11 y Don Alberto se mostraron como los cultivares con mayor capacidad de supresión temprana de raigrás y Nogal como el menos supresor.
- Los efectos de supresión se detectaron tanto en el desarrollo como en la biomasa de raigrás en Baguette 11 y sólo a nivel de la biomasa en el caso de Don Alberto.
- Don Alberto mantuvo su capacidad supresora hasta el final del ciclo determinando también menores biomásas de raigrás a la madurez fisiológica de los cultivares de trigo. Por el contrario Nogal no mantuvo el comportamiento comparativo de baja capacidad supresora inicial que mostró en Z 3.0.
- La capacidad de suprimir tempranamente la maleza se relacionó con la magnitud de los efectos de la interferencia en el rendimiento de los cultivares.

6. RESUMEN

Raigrás (*Lolium multiflorum* L.) es al presente la maleza más problemática de la agricultura invernal en el país. El control químico de la especie presenta una serie de inconvenientes relacionados con efectividad variable, costo elevado, riesgo de fitotoxicidad en cultivo así como potencial de creación de resistencias. Por estas razones se considera importante el estudio de alternativas de control que permitan la sustitución o reducción del uso de herbicidas en esta maleza. El planteo es además alentador en la medida en que existe abundante información en la bibliografía internacional relativa a la presencia de potencial alelopático y habilidad competitiva sobre malezas en cultivares de trigo. El objetivo del presente estudio fue evaluar potencial alelopático y capacidad supresora sobre raigrás en los 7 cultivares de trigo de mayor uso en el país. A tales efectos se realizaron, en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni perteneciente a la Facultad de Agronomía, Uruguay, 3 bioensayos cuyo objetivo fue la evaluación de potencial alelopático en cámara de crecimiento y 2 conducidos en macetas bajo telado cuyo objetivo fue la determinación de la capacidad supresora de raigrás de los mismos cultivares. Los cultivares evaluados fueron Atlax, Baguette 11, Centauro, Churrinche, Don Alberto, LE 2354 y Nogal. Los bioensayos difirieron en el sustrato utilizado (agar, arena y tierra con y sin carbón activado). El diseño experimental fue de parcelas en bloques completos al azar y arreglo factorial en el caso del tercer experimento; con 5, 10 y 4 repeticiones respectivamente. En los 3 experimentos se determinó largo de raíz de raigrás y en los experimentos 1 y 2 se estimó además, largo de parte aérea de raigrás. Los ensayos 4 y 5 se diferenciaron en el número de tratamientos y en la duración de cada ensayo. El experimento 4 tuvo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 4 repeticiones y el experimento 5 tuvo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial de tratamientos, donde los factores estudiados fueron cultivar de trigo (7 cultivares de trigo) y presencia de raigrás (si y no), con 5 repeticiones. En ambos, las determinaciones consistieron en la estimación de biomasa (materia verde y seca) tanto de trigo como de raigrás y del desarrollo de raigrás utilizando la escala Zadoks, En el experimento 5 se determinó además el rendimiento final de trigo. Los resultados obtenidos en los 3 bioensayos de potencial alelopático mostró inconsistencia en el comportamiento comparativo de los cultivares. Sólo en el experimento 1 se pudo detectar reducciones en el crecimiento radicular de raigrás de 53% para el cultivar Churrinche y un 43% para el cultivar Centauro. En los experimentos 4 y 5 realizados se detectaron diferencias entre cultivares en la capacidad de supresión temprana (Z 3.0) de la maleza, siendo Baguette 11 y Don Alberto los que mostraron mayor capacidad y Nogal el de menor capacidad. El cultivar Don Alberto mantuvo su capacidad hasta el final del ciclo mientras que Nogal no mantuvo el comportamiento de baja supresión que logró a Z3.0. Don Alberto fue

además el cultivar que mostró el mayor índice de tolerancia a la interferencia de malezas.

Palabras clave: *Lolium multiflorum*; *Triticum aestivum*; Potencial alelopático; Capacidad supresora de malezas.

7. SUMMARY

Nowadays the most problematic weed in the winter agriculture of the country is 'Ryegrass'. The chemical control of this kind presents a range of inconveniences, such as varied effectiveness, high cost, phytotoxicity in the crop and potential resistance. Due to this, it is considered important the study of alternatives of control that allow the substitution or reduction of the use of herbicides over this weed. This project is encouraging as there is plenty of information worldwide about the allelopathic potential and the competitive ability over weeds in wheat crops. The objective of this research was to evaluate the allelopathic potential and the suppressor capacity of Ryegrass in the seven most used wheat crops in Uruguay. Therefore, pursuing this objective, some bioassays were conducted in the 'Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Faculty of Agronomy-Uruguay. Three were to assess the allelopathic potential in a growing chamber and two in pots under fabric, whose objective was the determination of the suppressor capacity of ryegrass in the same crops. The crops which were evaluated were: Atlax, Baguette 11, Centauro, Churrinche, Don Alberto, LE 2354 and Nogal. Different substrata were used for the bioassays: agar, sand and soil with and without activated charcoal. The experimental design was in plots of complete blocks at random and factorial arrangement in the third experiment with 5, 10 and 4 repetitions respectively. In the three experiments it was determined the ryegrass root length and in the first and second it was also estimated the aerial part of ryegrass. The fourth and fifth experiment were different in the number of treatments and how long each lasted. The fourth experiment was designed in complete blocks at random with 4 repetitions and the fifth, factorial arrangement where the factors studied were: wheat crop (7) and presence of ryegrass (yes or no) with five repetitions. In both the determinations consisted in the estimate of biomass (green and dry matter) in wheat and ryegrass and the development of ryegrass using Zadoks scale. In the fifth experiment it was also determined the final performance of wheat. The results of the bioassays of allelopathic potential showed inconsistency in the root growth of ryegrass: 53%-Churrinche and 43%-Centauro. In the experiments fourth and fifth the differences detected among crops were in the weed early suppression capacity, being Baguette 11 and Don Alberto the ones with the most capacity and Nogal with the least. Nogal kept its capacity until the end of the cycle while Nogal didn't keep the low suppression behaviour which reached Z3.0. Don Alberto showed the highest tolerance for weeds interference.

Key words: *Lolium multiflorum*; *Triticum aestivum*; Potential allelopathic;
Weed suppressive ability.

8. BIBLIOGRAFIA

1. BENSCH, E; SCHALCHLI, H; FUENTES, R; SEEMANN, P.; JOBET, C. 2007. Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) chileno sobre ballica anual (*Lolium rigidum*) var. WIMMERA. IDESIA (Chile). 25 (2): 81-89.
2. BERTHOLDSSON, N.O. 2003. Variation in allelopathic activity over 100 years of barley selection and breeding. *Weed Research Society Weed Research*. 44: 78-86.
3. _____. 2005. Early vigour and allelopathy – two useful traits for enhanced barley and wheat competitiveness against weeds. *Weed Research*. 45: 94–102.
4. _____. 2010. Breeding spring wheat for improved allelopathic potential. *Weed Research*. 50: 49-57.
5. BEZUIDENHOUT, S. 2005. Allelopathy as a possible cause for crop yield reductions. (en línea). Zululandia, *Weed Scientist*. s.p. Consultado 12 jun. 2011. Disponible en <http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/Default.aspx?tabid=184>
6. BLANCO, Y. 2006. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. Reserva Científica del Departamento de Fitotecnia (La Habana). 27 (3): 5-16.
7. CAPURRO, P.; SOTELO, E. 2010. Interferencia alelopática de cultivares de cebada sobre *Lolium multiflorum* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 44 p.
8. CELIS, Á.; MENDOZA, C.; PACHÓN, M.; CARDONA, J.; DELGADO, W.; CUCA, E. 2008. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. *Agronomía colombiana*. 26 (1): 97-106.
9. FARIÑA, J. 2003. Efectos fitotóxicos del rastrojo de trigo sobre la germinación, emergencia y densidad poblacional del algodón. INTA Estación Experimental Agropecuaria Reconquista. Serie técnica no. 23. s.p.

10. FERREIRA, A.; ALVES AQUILA, M. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. no. 12: 175-204.
11. HAIG, T. 2008. Allelochemicals in plants. In: Zeng, R.S.; Mallik, A.U.; Shi, M.L. eds. *Allelopathy in sustainable agriculture and forestry*. New York, Springer. pp.63-104
12. HOFFMAN, E.; MESA, P.; CADENAZZI, M. 2007. Caracterización de cultivares de trigo 2006 Segundo año. INIA Tero, INIA Carancho, INIA Don Alberto, INIA LE 2332, e INIA Carpintero. Primer año. BIOINTA 1001. Paysandú, Facultad de Agronomía. 23 p.
13. _____; FERNÁNDEZ, R.; BAETEN, A.; CADENAZZI, M. 2009. Caracterización de cultivares de trigo 2008. Segundo año Biointa 1002, Biointa 3000, Baguette 11 y Baguette 13. Primer año Nogal, Baguette 9, Baguette 19, Atlax y Centauro. Paysandú, Facultad de Agronomía. 27 p.
14. _____; FAJARDO, M.; BAETEN, A.; CADENAZZI, M. 2010. Caracterización de cultivares de trigo 2009. Segundo año Nogal, Baguette 9, Baguette 19, Atlax y Centauro. Primer año Biointa 3004, INIA 2354, INIA Chimango, Cristalino y Meteoro. Paysandú, Facultad de Agronomía. 29 p.
15. _____; MOREL, W.; FASSANA, N. 2011. Caracterización de cultivares de trigo 2010. Segundo año Biointa 3004, INIA 2354, INIA Chimango, Cristalino y Meteoro. Primer año. Baguette 17, Baguette 18, Biointa 1006, Biointa 2004, Buck Fast, V2061/62, Arex. Paysandú, Facultad de Agronomía. 29 p.
16. INDERJIT; DAKSHINI, K. M. M. 1995. On laboratory bioassays in allelopathy. *Botanical Review*. 61:28–44.
17. _____; CALLAWAY, R. M. 2003. Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*. 256: 1-11.
18. _____; SEASTEDT, R.; CALLAWAY, M.; POLLOCK, L.; KAUR, J. 2008. Allelopathy and plant invasions: traditional, congeneric, and bio-geographical approaches. *Biol Invasions*. 10: 875–890.
19. LAU, J.; PULIAFICO, K.; KOPSHEVER, J.; STELTZER, H.; JARVIS, E.; SCHWARZLÄNDER, M.; STRAUSS, S.; HUFBAUER, R. 2008. Interference of allelopathy is complicated by effects of activate carbon on plant growth. (en

- línea). *New Phytologist*. 178: 412-422. Consultado 5 jun. 2011. Disponible en <http://www.kbs.msu.edu/images/stories/docs/lau/lauetal.newphyt2008.pdf>
20. LORENZO, P.; GONZÁLEZ, L. 2010. Alelopatía, una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. *Ecosistemas*. 19 (1): 79-91.
 21. MAHALL, B. E.; CALLAWAY, R. M. 1992. Root communication mechanisms and intracommunity distributions of two Mojave Desert shrubs. *Ecology*. 73 (6): 2145–2151.
 22. MALLIK, A. 2008. Allelopathy: Advances, challenges and opportunities. In: Zeng, R.S.; Mallik, A.U.; Shi, M.L. eds. *Allelopathy in sustainable agriculture and forestry*. New York, Springer. pp. 1-7.
 23. OLIVEROS-BASTIDAS, A. 2008. El fenómeno alelopático, el concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Química Viva (Buenos Aires)*. 7 (1): 2-34.
 24. _____.; MACÍAS, F.; CARRERA FERNÁNDEZ, C.; MARÍN, D.; MOLINILLO, J. 2009. Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. *Química Nova (São Paulo)*. 32 (1): 198-213.
 25. PUTNAM, A.R. 1985. Allelopathic research in agriculture; past highlights and potential. In: Thompson, A.C. ed. *The chemistry of allelopathy, biochemical interactions among plants*. Washington, D.C., American Chemical Society. pp 1–8.
 26. RICE, E.1974. *Allelopathy*. New York, Academic Press. 353 p.
 27. RIOS, A.; FERNANDEZ, G.; COLLARES, J. 2005. Estudio de las comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. In: Seminario-Taller Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia del Sacramento). Ponencias. Colonia, INIA. 1 disco compacto.
 28. RUSSELL, R.; HAHAN, P.; STACHOWSKI, J. 2002. Mesotrione - a new herbicide and mode of action. (en línea). New York, s.e. s.p. Consultado 3 jun. 2011. Disponible en http://www.cals.cornell.edu/cals/css/extension/cropping-up-archive/wcu_vol12n06-2002a1mesotrione.pdf

29. SAMPIETRO, D. 2003. Alelopatía; concepto, características, metodología de estudio e importancia. (en línea). San Miguel de Tucumán, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán. s.p. Consultado 12 abr. 2011. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/19-alelopatia.htm
30. WASTON, P.; DERKSEN, D.; VAN ACKER, R. 2006. The ability of 29 barley cultivars to compete and withstand competition. *Weed Science*. 54(4):783-792.
31. WESTON, L. 2005. History and current trends in the use of allelopathy for weed management. (en línea). Plant Science Building. 134: s.p. Consultado 12 abr. 2011. Disponible en http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005/molisch/2533_westonl.htm
32. WU, H.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D.; HAIG, T. 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research*. 39 (3): 171-180.
33. _____.; _____.; _____.; _____. 2000. Evaluation of seedling allelopathic in 453 wheat (*Triticum aestivum*) accessions by Equal-Compartment-Agar-Method. *Australian Journal of Agricultural Reserch*. 51: 937-944.
34. _____.; _____.; _____.; AN, M.; LIU, D.L. 2007. Autotoxicity of wheat (*Triticum aestivum* L.) as determined by laboratory bioassays. *Plant Soil*. 296: 85–93.
35. _____.; AN, M.; LIU, D.L.; PRATLEY, J.; LEMERLE, D. 2008. Recent advances in wheat allelopathy. *In*: Zeng, R.S.; Mallik, A.U.; Shi, M.L. eds. *Allelopathy in sustainable agriculture and forestry*. Nueva York, Springer. pp. 235-254.
36. ZHANG, X.; LIANG, W.; KONG, C.; JIANG, Y.; WANG, P. 2005. Screening of allelopathic wheat varieties from Chinese germplasm collection. *In*: World Congress on Allelopathy (4th., 2005, Wagga, Australia). Proceedings. Wagga Wagga, Establishing the Scientific Base. pp. 324-327.

