

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO ALELOPÁTICO DEL RASTROJO DE COLZA SOBRE LA
IMPLANTACIÓN Y EL CRECIMIENTO INICIAL DE SORGO

por

Macarena BENTANCOR CALLABA

Josefina REYES DURÁN

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2015

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Grisel Fernández

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Ing. Agr. Jorge Franco

Fecha: 18 de diciembre de 2015

Autor: -----

Macarena Noel Bentancor Callaba

Josefina Reyes Durán

AGRADECIMIENTOS

A Grisel por su fuerza de voluntad, dedicación y confianza en nuestro trabajo.

A Jorge Franco por brindarnos tiempo, apoyo y por su compromiso con nuestra tesis.

E indudablemente a nuestras familias y amigos que nos apoyan y acompañan desde un principio.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>ALELOPATÍA</u>	2
2.1.1. <u>Definición</u>	2
2.1.2. <u>Aleloquímicos en plantas</u>	4
2.1.2.1. Glucosinolatos	6
2.1.2.2. Compuestos fenólicos	8
2.2. <u>POTENCIAL ALELOPÁTICO DEL CULTIVO DE COLZA</u>	10
2.2.1. <u>Aleloquímicos de la colza utilizados para el control de malezas</u>	11
2.2.2. <u>Efectos de la alelopatía de colza sobre diferentes cultivos comerciales</u>	14
2.2.2.1. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de soja.....	15
2.2.2.2. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de maíz.....	17
2.2.2.3. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de girasol.....	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1. <u>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS</u>	23

3.1.1. <u>Tratamientos y diseño experimental</u>	23
3.1.2. <u>Metodología de instalación</u>	25
3.2. DETERMINACIONES.....	28
3.2.1. <u>Experimento a campo</u>	28
3.2.2. <u>Experimento en cámara de crecimiento</u>	28
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	29
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	30
4.1. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES DE CAMPO.....	30
4.1.1. <u>Análisis conjunto</u>	30
4.1.1.1. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo.....	32
4.1.1.2. Efecto de la interacción distancia entre hileras x método de cosecha	39
4.1.1.3. Efecto de la variedad.....	41
4.2. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CRECIMIENTO	44
5. <u>CONCLUSIONES</u>	47
5.1. EXPERIMENTO DE CAMPO	47
5.2. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CRECIMIENTO	47
6. <u>RESUMEN</u>	48
7. <u>SUMMARY</u>	49
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	50

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Tabla resumen de los Análisis de varianza de las variables analizadas en el presente estudio	30
2. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo y del dimet (distancia entre hileras x método de cosecha) en las diferentes variables en estudio para cada variedad.	43
3. Resumen de resultados del Análisis de la varianza.....	44

Figura No.

1. No. plantas/m lineal según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.....	33
2. Acumulación de °C en la estación de crecimiento intervalo cosecha colza-siembra sorgo. * Tb = 15 °C.....	34
3. Acumulación de precipitaciones en la estación de crecimiento según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.	35
4. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo en el estado de desarrollo de las plantas.....	36
5. Peso por planta (g) según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.....	37
6. Longitud de las plantas (cm) según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.	38
7. Efecto de la interacción entre la distancia entre hileras y el método de cosecha sobre el número de plantas por metro lineal.	40
8. Efecto de la interacción entre la distancia entre hileras y el método de cosecha sobre el peso por planta (g).	41
9. Peso por planta según variedad.	42

10. Número de plantas en macetas con y sin rastrojo de colza.	45
11. Longitud de la parte aérea promedio (cm) según tratamiento.....	45
12. Longitud de la raíz promedio (cm) según tratamiento.	46

Foto No.

1. Siembra de sorgo a campo.	26
2. Tratamientos dentro de la cámara de crecimiento bajo condiciones de temperatura y luz controladas. Se observan 4 de las 7 repeticiones que se realizaron.	27
3. En la maceta de la izquierda se observa el tratamiento testigo del cultivo de sorgo (sin rastrojo), y en la maceta de la derecha se observa el tratamiento de sorgo con rastrojo. Cámara de crecimiento bajo condiciones de temperatura y luz controladas.....	27

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente con la creciente adopción de los sistemas de labranza conservacionistas y con la inclusión de diversos cultivos en los sistemas de rotaciones, se han logrado abundantes beneficios desde el punto de vista práctico, ambos factores le otorgan a los sistemas agrícolas determinadas ventajas, ya que contribuyen a la sustentabilidad de los mismos.

Por otro lado, a pesar del logro de dichas ventajas que mejoran la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas, la retención de los residuos de cosecha en los sistemas de labranza conservacionistas trae aparejado en ciertos casos determinados efectos negativos asociados con las rotaciones de cultivos. Dichos efectos hacen referencia a la disminución en el crecimiento y rendimiento de los cultivos posteriores, cuando quedan sobre el suelo grandes cantidades de residuos de la cosecha en contacto con las plantas de los cultivos subsecuentes (Rice, 1984).

La disminución en el crecimiento y en el rendimiento mencionadas en el párrafo anterior, se asocian entre otros factores, a la producción por parte de ciertas especies vegetales de determinados compuestos alelopáticos que son liberados al medio ambiente y pueden interferir de forma negativa sobre los cultivos subsecuentes que se siembran en la misma área.

En los últimos años el cultivo de *Brassica napus* se ha convertido en un cultivo de creciente importancia. Determinadas situaciones a nivel de campo, han dejado en evidencia que cultivos como soja y sorgo sembrados sobre rastrojo de colza se han visto perjudicados desde el punto de vista del crecimiento y del rendimiento, y se cree que esto es debido al potencial alelopático que presenta la colza.

En este marco, se realizó un experimento con el objetivo de evaluar el potencial alelopático de dos variedades de colza (*Brassica napus*), sobre la implantación y el crecimiento inicial de sorgo, cultivar MS 108.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALELOPATÍA

2.1.1. Definición

El término alelopatía, se refiere a una unión de palabras griegas “allelon” y “pathos” que significa mutuo y daño, respectivamente (Almeida, 1991).

Este fenómeno por el que se entiende que las plantas pueden influir sobre otras plantas u organismos vecinos por medio de la liberación de productos químicos al medio ambiente, ha sido conocido desde 370 AC. Los griegos y los romanos utilizaron este conocimiento en la agricultura desde 64 AC. Sin embargo, no fue hasta 1937, cuando Hons Molisch le dio un nombre formal: alelopatía.

Hoy en día se conocen numerosas definiciones de diferentes autores, en relación al fenómeno de alelopatía. Algunas de ellas se describen a continuación.

“Cualquier efecto de una planta o microorganismo, que daña o beneficia, directa o indirectamente a otra/o a través de la producción de compuestos químicos liberados al medio ambiente”. Esta definición de Rice (1984), describe en un sentido amplio el término alelopatía.

Otros autores definen el fenómeno de alelopatía como: *“cualquier proceso que involucra la producción de metabolitos secundarios por parte de plantas, algas, bacterias u hongos, que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de sistemas biológicos agrícolas”* IAS (Instituto de Agricultura Sostenible, 1996). Esta definición es muy amplia y ha tenido limitaciones en su uso desde que fue publicada, ya que muchos metabolitos secundarios en la rizósfera, incluidos azúcares, polisacáridos simples, aminoácidos y otros ácidos orgánicos, no son todos alelopáticos; *“mecanismo de interferencia por el cual las plantas liberan químicos que afectan otras plantas”* (Wardle et al., 1998); *“efecto negativo de los químicos liberados por una especie de planta, en el crecimiento y reproducción de otra”* (Inderjit y Callaway, 2003); *“liberación de*

compuestos químicos por un invasor que tienen efectos perjudiciales en los miembros de la comunidad de plantas receptoras” (Hierro y Callaway, 2003).

Un aspecto parece ser común en todas las definiciones, excepto la de Rice (1984), y es el hecho de que todas hacen referencia a la alelopatía como un proceso cuyos efectos sobre otros organismos son negativos. Ejemplos de efectos alelopáticos estimuladores son raros, y generalmente asociados con bajas concentraciones de los compuestos (Rice, 1984).

A medida que el mecanismo alelopático sea cada vez más conocido, será más fácil definirlo. Tres aspectos son importantes para su definición: el mecanismo de acción, la significancia de su evolución, es decir la importancia de presentar potencial alelopático, y el resultado, es decir, los efectos que causa (Mallik, citado por Haig, 2008).

En la bibliografía corrientemente se denomina como “dadora” a la planta que libera los aleloquímicos y “receptora” la planta u otros organismos que están sujetos a los efectos de estos aleloquímicos.

Metodológicamente han existido ciertas dificultades al momento de la demostración práctica del proceso de alelopatía. Como afirma Putnam, citado por Capurro y Sotelo (2010), dichas dificultades podrían estar asociadas al hecho de que existen al menos dos mecanismos responsables de la interferencia entre plantas: la alelopatía y la competencia. Ésta última, se refiere a la reducción de algún factor ambiental limitante por una planta que comparte el mismo hábitat con otra y lo requiere, como puede ser el agua, la luz, los minerales y otros.

Aunque en los últimos años se han hecho progresos en el uso de técnicas más realistas y sofisticadas, los estudios de alelopatía en condiciones reales siguen siendo escasos. Una de las herramientas utilizadas en la investigación sobre éste fenómeno, que permite separar el fenómeno de competencia del de alelopatía, es el uso del carbón activado. Este elemento posee la capacidad de adsorber los compuestos orgánicos liberados por las especies invasoras (Inderjit y Callaway, 2003). Sin embargo, en investigaciones recientes, se ha encontrado que el carbón activado interfiere en la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de la planta, por lo que seguiría presente la inseguridad metodológica.

Lorenzo y González (2010), diseñaron un nuevo método manteniendo la interacción de la especie donadora y receptora en un plano inclinado que permite detectar el efecto alelopático sin necesidad de añadir elementos externos y que se basa en la capacidad de los aleloquímicos de desplazarse en la solución del suelo.

Para poder demostrar el papel del proceso de alelopatía a nivel de campo, el primer desafío, es separar los efectos alelopáticos de otros procesos como puede ser la competencia en condiciones de campo.

El rol de la alelopatía, es mayormente interpretado desde una perspectiva ecológica, como un medio de defensa de las plantas, contra otras plantas, plagas, enfermedades u otros factores.

2.1.2. Aleloquímicos en plantas

Es común encontrar en las plantas superiores, compuestos con propiedades alelopáticas, de variada composición química, la cual puede variar según la especie que se trate, al igual que la concentración en la que se encuentran (Putnam, 1985).

Los aleloquímicos son metabolitos secundarios no nutricionales, producidos por organismos vivos que poseen efectos estimulantes o inhibitorios sobre el crecimiento, salud o comportamiento de organismos vecinos (plantas, insectos, microbios).

Las sustancias liberadas en procesos de alelopatía, conocidas como aleloquímicos, pueden ser directa y continuamente liberadas por plantas a su ambiente inmediato. Según Sampietro (2003), se puede afirmar que el modo por el cual dichos compuestos son liberados al ambiente, depende de su naturaleza química, y afirma que existen cuatro vías principales de liberación al entorno de los aleloquímicos: volatilización, lixiviación, exudados radiculares y descomposición de residuos vegetales.

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización está frecuentemente relacionada a plantas que producen terpenoides. La toxicidad de los compuestos volátiles es prolongada, debido a su adsorción a las partículas del suelo, lo cual les permite permanecer varios meses en él. La

lixiviación es la remoción de sustancias presentes en la planta por efecto de la lluvia, nieve, niebla o rocío. El grado de lixiviabilidad depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y naturaleza de la precipitación. De esta manera se liberan una gran variedad de agentes alelopáticos de diferente naturaleza tales como compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides. La mayoría de los agentes alelopáticos conocidos son exudados radiculares. Factores como la edad del vegetal, nutrición, luz y humedad influyen cuali y cuantitativamente la liberación de sustancias por las raíces. Por último, mediante la descomposición de los residuos de las plantas se liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. Los factores que influyen este proceso son la naturaleza del residuo, el tipo de suelo y las condiciones de descomposición.

Los compuestos liberados por la planta al suelo sufren frecuentemente transformaciones realizadas por la microflora del mismo, que pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores (Sampietro, 2003).

Los efectos inhibidores más comunes de los aleloquímicos se observan en las funciones de las plantas como la respiración, fotosíntesis, balance hídrico, funciones estomáticas, conducción de agua por el tallo, flujo de elementos a través del xilema, permeabilidad de la membrana, división y desarrollo celular, síntesis de proteína y alteración de la actividad enzimática.

Dentro de las plantas, los aleloquímicos pueden distribuirse ampliamente entre los órganos como semillas, flores, polen, hojas, tallos y raíces, o a veces se encuentran solamente en uno o dos órganos (Haig, 2008).

Cuando el compuesto potencialmente alelopático es liberado de la planta, puede sufrir una alteración metabólica o ambiental de su estructura, antes de asumir cierta actividad biológica. De forma alternativa, algunos compuestos bioactivos liberados desde las plantas, pueden verse inactivados por las subsecuentes transformaciones a las que se someten en el aire, agua o suelo.

La amplia gama de estructuras químicas que poseen los aleloquímicos permiten distinguir varios grupos. Por otra parte, también existen diferentes modos de acción entre los mismos.

Los grupos de aleloquímicos más importantes son los glucosinolatos (GSL's), los compuestos fenólicos, los terpenoides, que son aleloquímicos volátiles, los alcaloides, los ácidos hidroxámicos, los flavonoides, las quinonas y los poliacetilenos.

A continuación se realiza una breve descripción de los dos grupos de aleloquímicos presentes en el género *Brassica*: glucosinolatos y compuestos fenólicos.

2.1.2.1. Glucosinolatos

Los glucosinolatos son una clase química cuyos componentes contienen azufre, y son originados naturalmente como metabolitos secundarios. Se encuentran principalmente en el orden de plantas *Capparale* y poseen una forma orgánica y aniónica generalmente balanceada por cationes como sodio y potasio.

Cada compuesto contiene un enlace C=N, con un sulfato unido al átomo de N, y una tioglucosa y una cadena lateral variable unida al átomo de C del enlace. Dicha cadena sirve para diferenciar cada miembro de la clase. Se conocen al menos 120 glucosinolatos los cuales se dividen en 10 grupos basados en la similitud en la estructura de la cadena lateral. Los GLS's más extensamente estudiados son un grupo de 19 compuestos de los vegetales pertenecientes al género *Brassica*.

El primer aislamiento de glucosinolatos se remonta a 1830, cuando los compuestos sinalbin y sinigrin fueron obtenidos de mostaza blanca (*Sinapsis alba*) y mostaza negra (*Brassica nigra*) respectivamente. Hoy en día se sabe que este grupo de metabolitos secundarios se encuentran distribuidos en 16 familias de plantas de dicotiledóneas angiospermas. La familia *Brassicaceae* contiene los diez grupos de estructuras y 96 compuestos.

El género *Brassica*, que contiene numerosos cultivos vegetales comestibles como repollo, brócoli, colinabo, nabo, coliflor, brotes de Brusela y cultivo para aceite de colza (*Brassica napus*), ha sido el foco de atención de muchos químicos en relación a los GLS's (Rosa et al., 1997).

El modelo genómico de la planta *Arabidopsis thaliana*, se ha demostrado que contiene un total de 23 glucosinolatos diferentes, el cual es un valor muy alto en comparación con muchas otras plantas. De esta manera, como hay un fuerte interés en controlar los niveles de GLS's en los cultivos para mejorar la resistencia a determinadas pestes y para mejorar el valor nutricional, los genes identificados en el programa genómico de *A. thaliana* podrían ayudar exitosamente en las estrategias de control de glucosinolatos en cultivos relacionados del género *Brassica* (Chen y Andreasson, 2001).

Se ha demostrado que los glucosinolatos son tomados por un sistema específico transportador, y son transportados por floema, de modo que su distribución interna dentro de la planta es generalmente amplia, conteniendo los tallos, hojas, raíces y semillas una proporción del total. La edad de la planta afecta la disponibilidad de estos compuestos, especialmente cuando se ha superado la etapa vegetativa tardía. Los factores ambientales juegan un papel fundamental en determinar los niveles de glucosinolatos en las plantas en estado de crecimiento, y pueden también influir en la distribución dentro de la planta. Factores como ataque de plagas, fertilidad de suelo y heridas también ejercen efectos significativos (Haig, 2008).

En cuanto a la biosíntesis de estos compuestos, el paso inicial en la misma, procede de la hidroxilación del nitrógeno en un aminoácido precursor, con la subsecuente formación de una aldoxima por descarboxilación. Los pasos siguientes dan lugar a la modificación de la cadena lateral, y la conjugación de la glucosa a través del átomo de azufre introducido por la cisteína. Los GLS's son compuestos estables, solubles en agua, que se encuentran almacenados en la vacuola de las células.

Son hidrolizados por la enzima mirosinasa, y como producto de dicha hidrólisis se obtienen compuestos biológicamente activos entre los que se destacan isotiocianatos, sulfuranos, nitrilos y tiocianatos. Estos procesos dependen de las condiciones en que se dé la reacción y la presencia de proteínas asociadas (Inis et al., citados por Pérez, 2014). El proceso de hidrólisis ocurre en los glucosinolatos cuando el tejido del vegetal se rompe como consecuencia de un daño mecánico, entonces las enzimas tioglucosidasa o mirosinasa se pone en contacto con el sustrato y libera moléculas de glucosa, de bisulfato y de la correspondiente aglucona (Haig, 2008).

Se ha prestado especial atención a los isotiocianatos (ITCs), ya que éstos, tienden a ser los más bioactivos, y se forman en grandes cantidades durante la degradación de los GLS's. Dado que algunas cadenas laterales cortas de los GLS's, dan lugar a isotiocianatos de bajo peso molecular luego de la degradación, éstos son relativamente volátiles y pueden impregnar los poros del suelo con facilidad. A este proceso se lo ha definido como "biofumigación". La actividad en la fase gaseosa de determinados ITCs, ha demostrado inhibir la germinación de semillas de pepino, diente de león, soja, zanahoria y trigo.

Este grupo de aleloquímicos, al igual que los compuestos fenólicos que se detallan a continuación, son de gran importancia en la presente revisión, dado que son compuestos que se encuentran en el género de plantas *Brassica*, lo cual explica el potencial alelopático presente en la especie *Brassica napus*, que es el centro de interés en esta revisión.

2.1.2.2. Compuestos fenólicos

El término compuestos fenólicos incluye un rango de tipos de compuestos que presentan estructuras tales como fenoles aromáticos simples, ácidos benzoicos, cinámicos, cumarinas, taninos, y algunos flavonoides. Un importante subconjunto de los compuestos fenólicos, conocidos como ácidos fenólicos, caracteriza un grupo pequeño de compuestos solubles en agua, aromáticos y carboxílicos, los cuales están ampliamente distribuidos. Este grupo de compuestos ha recibido atención dado que se ha demostrado que están implicados en algunos procesos alelopáticos. Los ácidos cinámicos se considera que se encuentran en todas las plantas mayores, y los ácidos benzoicos han sido identificados en todas las angiospermas que hasta ahora han sido examinadas (Einhellig, 2004).

Según Einhellig (2004), en la gran mayoría de los casos, los compuestos fenólicos aparecen como mezclas y no como sustancias individuales, y la contribución al fenómeno de alelopatía que realizan, probablemente sea debido a las mezclas y no a sustancias individuales.

Los diferentes compuestos tienen toxicidad variable, modos de acción similares y atacan las funciones celulares en más de un sitio, es por ello que no muestran una respuesta herbicida típica (Haig, 2008).

Dado el hecho que los fenólicos componen la mayoría de la matriz estructural de las plantas, y existen en el suelo mediante la descomposición de las mismas, existe un continuo ciclo ecológico de consumo, síntesis, transformación y exudación que involucra a dichas sustancias. Los ácidos fenólicos libres en la solución del suelo provienen de la lixiviación desde las plantas, exudados radiculares y transformaciones microbianas de otros residuos. Se cree que la acción microbiana en el suelo es la que más influye en la concentración de fenólicos en la solución del suelo (Haig, 2008).

Los compuestos fenólicos surgen de la vía metabólica de los ácidos acéticos y shikimicos. Ciertos ácidos fenólicos (por ejemplo ácido salicílico) juegan un rol en la fisiología de las plantas, y actúan como intermediarios en la adquisición de resistencia a ciertas enfermedades (Einhellig, 2004).

Una característica de los fenólicos es que su acción inhibitoria depende de su concentración. Los efectos primarios y secundarios son rápidamente reversibles una vez que se hayan removido o disminuido su concentración en la rizófora. Estos compuestos ejercen múltiples efectos fisiológicos que resultan en una toxicidad generalizada, a menudo por cambios no específicos de la permeabilidad de las membranas de las paredes celulares, y no parecen tener un sitio objetivo específico como sí lo tienen los herbicidas (Einhellig, 2004).

En cuanto a los efectos que estos compuestos producen en plantas vecinas, Blanco (2006), afirma que pueden producir alteraciones hormonales, ya que reducen o incrementan la concentración de ácido acético, además de inhibir la acción de otras fitohormonas como las giberelinas. En definitiva, son capaces de provocar alteraciones en el balance hormonal de la planta receptora, lo cual en ciertos casos conduce a una inhibición del crecimiento.

Otros efectos que pueden provocar estos compuestos, es sobre la actividad enzimática y sobre el proceso de fotosíntesis. En este último interfieren actuando en concentraciones relativamente altas, inhibiendo el transporte de electrones. Además, pueden afectar la respiración, el contenido de minerales y de agua de la planta receptora, y procesos asociados a las membranas, como la incorporación de iones (Blanco, 2006).

Ambos grupos de aleloquímicos descritos anteriormente, que se encuentran en el género *Brassica*, tienen el potencial de generar efectos

inhibitorios en diferentes especies de malezas, y en diferentes cultivos comerciales. Dichos efectos se describirán a continuación.

2.2. POTENCIAL ALELOPÁTICO DEL CULTIVO DE COLZA

En los últimos años las especies del género *Brassica*, se han convertido en cultivos de creciente importancia, debido a sus altos contenidos de aceite y sus compuestos químicos con potencial herbicida. Varios miembros de la familia *Brassicaceae* contienen compuestos biológicamente activos incluidos los glucosinolatos y sus productos de hidrólisis como tiocianatos e isotiocianatos, que reducen la germinación de semillas y el crecimiento de determinadas plantas. Estos compuestos tienen también acción fungicida y nematocida, por lo tanto, pueden utilizarse como productos biodegradables naturales para la protección de cultivos.

Dichos compuestos, a bajas concentraciones retrasan la germinación y afectan el mantenimiento de las semillas viables, y a altas concentraciones pueden penetrar en las semillas a granel reaccionando irreversiblemente con enzimas, provocando inviabilidad en las mismas.

Otros compuestos químicos que se encuentran en los extractos acuosos del género *Brassica* como el ácido cafeico, ferúlico, clorogénico y vanílico, inhiben el crecimiento y la germinación de malezas (Aliko et al., 2014).

Por ejemplo, extractos acuosos de diferentes partes de la planta de mostaza negra (*Brassica nigra* L.) inhiben la germinación de semillas, la longitud de las plántulas y el peso de la cebada silvestre (*Hordeum spontaneum*) así como también de avena silvestre, aumentando este efecto con el incremento de la concentración utilizada de dichos extractos acuosos (Haig, 2008).

En un experimento realizado por Aliko et al. (2014), se encontraron diez glucosinolatos en las diferentes partes de *Brassica napus*. El total y la concentración individual de los GLS en extractos de la flor y de la raíz fueron mayores que en otras partes. Los glucosinolatos se determinaron en las flores, tallos, raíces y hojas de *Brassica napus* y fueron divididos en tres clases

químicas: (i) Glucosinolatos alifáticos (Glucoberina, progoitrina, epiprogoitrina, glucosamina, glucobrassicinapina y glucorafanina), (ii) Glucosinolatos indolil (Glucobrasicina, 4OH y glucobrasicina) y (iii) Glucosinolatos aromáticos (gluconasturtina). De los GLS nombrados anteriormente, cinco fueron encontrados en todas las partes de la planta (progoitrin, glucosamina, glucobrassicinapin, glucobrasicina y 4OH glucobrasicina).

2.2.1. Aleloquímicos de la colza utilizados para el control de malezas

El uso imprudente de herbicidas sintéticos ha dado lugar a la contaminación ambiental, la contaminación del suelo, el desarrollo de resistencia en los distintos tipos de especies de malezas, y por otro lado, ha dado lugar a que se generen amenazas contra la salud humana. Esta situación ha llevado a que se requieran estrategias alternativas para el manejo de malezas, y de esta manera poder reducir el uso de herbicidas.

Al reducir el uso de herbicidas sintéticos, además de disminuir los efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana, se estarían disminuyendo los costos de producción de los sistemas, dado que los costos de los herbicidas, se podría decir que abarcan hoy en día una proporción importante en la estructura de costos de los sistemas de producción (Tokura y Nóbrega, 2006).

Los cambios de la labranza convencional a prácticas conservacionistas, pueden causar cambios en las especies de malezas y sus densidades. Del mismo modo, los cambios en los cultivos en las secuencias de las rotaciones también pueden afectar a las poblaciones de malezas. Bajo el sistema de siembra directa, los residuos vegetales que conforman la cobertura vegetal, tienen fundamental importancia alelopática sobre las malezas. En la descomposición de dicha cobertura, son liberados compuestos orgánicos con propiedades alelopáticas, los cuales pueden inhibir el desarrollo de las malezas o cultivos subsecuentes. Como fue mencionado anteriormente, dichos compuestos son los que comúnmente se conocen como aleloquímicos.

Muchos autores han discutido las reducciones en la germinación y el crecimiento de las malezas y/o cultivos siguientes por la retención de residuos de cultivos, sin embargo, pocos de estos discuten sobre la alelopatía como una posible explicación de este fenómeno.

El potencial alelopático de los diferentes cultivos de cobertura, depende tanto del tipo de residuo vegetal que permanece sobre el suelo como de las malezas que se desarrollan sobre él. De esta forma, para el control de malezas, no es importante tener grandes volúmenes de residuos, sino que éstos presenten aleloquímicos perjudiciales para las especies invasoras, y que los mismos sean liberados al suelo en concentraciones suficientes para inhibir su desarrollo (Almeida, 1991).

Aliki et al. (2014), en Irak, llevaron a cabo un experimento in vitro, con el fin de investigar los efectos de diferentes concentraciones de extractos acuosos de *Brassica napus* (L.), provenientes de hojas, tallos, raíces y flores, sobre la germinación de semillas y sobre el crecimiento de plántulas de diferentes malezas, tales como: *Phalaris minor* (Retz.), *Convolvulus arvensis* (L.) y *Sorghum halepense* (L.). Se encontraron efectos significativos sobre la germinación de las semillas de las malezas, y se encontró una relación directa entre el grado de concentración de los extractos y el grado de supresión de la germinación. En cuanto a las variables longitud de tallos y raíces, y peso fresco de tallos y raíces, todas se vieron significativamente afectadas de forma negativa por los extractos acuosos de los diferentes órganos de *Brassica napus* (L.) evaluados. Mostrando también relación directa entre la magnitud del efecto y la concentración utilizada.

Según comenta el mismo autor, los efectos observados en su estudio, se debieron muy posiblemente a la presencia de glucosinolatos en las plantas de colza. Dichas sustancias al hidrolizarse forman un compuesto que es tóxico para una gran variedad de organismos, entre ellos las malezas que se evaluaron en este experimento (Nassem et al., citados por Aliki et al., 2014).

Dicho enunciado apoya los resultados, ya que los glucosinolatos en las especies pertenecientes al género *Brassica*, juegan un papel fundamental en el control de malezas a través de los productos de degradación de los glucosinolatos por la enzima mirosinasa y convertidos en isotiocianatos.

Por otro lado, Tawaha y Turk (2003), encontraron que extractos acuosos de diferentes partes de plantas de *Brassica nigra* (L.), (hojas, tallos, flores y raíces) redujeron la germinación de avena silvestre, su peso seco, y la longitud de sus tallos y raíces en comparación con el tratamiento control.

Según los autores, estos resultados pueden deberse a la presencia de compuestos fenólicos, que inhiben la actividad del ácido giberélico, la división celular y en última instancia el proceso de elongación de los tallos. Adicionalmente, los compuestos fenólicos pueden interferir con las enzimas implicadas en la movilización de nutrientes necesaria para la germinación. Por otra parte, estos autores determinaron que la germinación de semillas de avena silvestre se vio afectada debido a la reducción en la capacidad de las semillas para absorber agua por la inhibición de la actividad de la enzima proteasa.

En base a los resultados descritos anteriormente, según Aliko et al. (2014), hay un posible efecto negativo de los glucosinolatos presentes en *Brassica napus* (L.) sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de determinadas especies de malezas, mientras que según Tawaha y Turk (2003), hay un posible efecto negativo de los compuestos fenólicos presentes en *Brassica nigra* (L.) sobre la germinación y el crecimiento de la plántulas de determinadas especies de malezas, por lo que se podría inferir que el potencial alelopático de *Brassica napus* (L.) está asociado fundamentalmente a la presencia de glucosinolatos en sus células, mientras que el potencial alelopático de *Brassica nigra* (L.) se asocia principalmente al contenido de compuestos fenólicos en sus células.

Uludag et al. (1998), trabajando específicamente en la maleza sorgo de alepo, realizaron ensayos tanto a campo como en el laboratorio para evaluar el potencial alelopático de 6 especies de la familia *Brassicaceae*: 4 variedades de *Raphanus sativus*, *Brassica campestris* L. subsp. *rapa* y *Brassica napus* L. subsp. *oleifera* DC, sobre el crecimiento del sorgo de alepo. A campo estudiaron el efecto de los residuos luego de la cosecha de las especies mencionadas, mientras que bajo condiciones de laboratorio, estudiaron los efectos de los extractos acuosos provenientes de distintas partes de plantas de las mismas especies.

Los resultados de dichos experimentos, dejaron en evidencia que las 6 especies suprimieron el crecimiento del sorgo de alepo, por lo cual los autores

concluyen que las plantas estudiadas pueden ser utilizadas por su potencial alelopático, para controlar al sorgo de alepo.

Los trabajos citados anteriormente destacan entonces, el potencial alelopático de ciertas especies del género *Brassica* para el control de malezas.

2.2.2. Efectos de la alelopatía de colza sobre diferentes cultivos comerciales

La retención de los residuos de cosecha en los sistemas de labranza conservacionistas proporciona varios beneficios desde el punto de vista práctico. Esto es así ya que se mejora la conservación del suelo y la estructura del mismo, aumenta la infiltración del agua y se reducen los costos de combustible y mano de obra.

Las rotaciones con cultivos tienen determinadas ventajas, ya que pueden cortar el ciclo de ciertas enfermedades, contribuyen con la fijación biológica del nitrógeno por parte de las leguminosas, y proporcionan una mayor flexibilidad en el manejo de las malezas. Sin embargo, también hay varios posibles efectos negativos asociados con las rotaciones de cultivos. Un efecto negativo importante puede ser la disminución en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos posteriores, especialmente cuando hay grandes cantidades de residuos frescos en contacto con las plantas de los cultivos subsecuentes (Rice, 1984).

Éste último punto hace referencia, entre otros, al efecto negativo que ciertos compuestos alelopáticos producidos por determinados cultivos y liberados al medio ambiente, pueden generar sobre los cultivos subsecuentes que se siembran en la misma área.

A continuación se trata de poner en evidencia el hecho de que el cultivo de colza puede interferir negativamente, mediante la producción de determinados compuestos aleloquímicos, sobre diferentes cultivos comerciales. Para ello se describirán algunos experimentos realizados por diferentes investigadores, y se pondrán de manifiesto los resultados obtenidos por los mismos, con el fin de dilucidar el posible efecto alelopático que puede causar la colza cuando es incluida dentro de las secuencias en las rotaciones de cultivos.

Se exponen a continuación los resultados encontrados en la bibliografía, para los cultivos de soja, maíz y girasol. No se encontraron estudios en sorgo granífero ni forrajero.

2.2.2.1. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de soja

Como se ha mencionado anteriormente la alelopatía es un fenómeno natural de interferencia de planta a planta. La colza es un cultivo conocido por producir determinados compuestos aleloquímicos que influyen negativamente en la germinación, crecimiento y el desarrollo de plantas que crecen alrededor.

En esta sección se describirán y analizarán una serie de experimentos que evalúan el posible efecto alelopático del cultivo de colza sobre diferentes componentes que explican el rendimiento del cultivo de soja.

Los trabajos a nivel de campo, en cuanto a los posibles efectos alelopáticos del cultivo de colza sobre el cultivo de soja aún son escasos. Por otro lado, existe un gran interés por parte de agricultores y técnicos en conocer los posibles efectos de esta sucesión, principalmente, en el sentido de establecer cuál es el momento adecuado para la siembra de soja luego de la cosecha de colza, determinando de esta manera un margen de seguridad, que no inviabilice el uso de estas dos especies en las rotaciones.

El efecto de supresión ejercido por un cultivo sobre las plantas vecinas, no interfiere sólo en las plantas que crecen en la misma época que dicho cultivo, sino que también puede interferir en los cultivos posteriores (Castro et al., 1983).

Nozaki et al. (2014), en la ciudad de Toledo, Panamá, llevaron a cabo un experimento que tuvo como objetivo evaluar la interferencia alelopática de la colza sobre el cultivo de soja, e identificar los posibles daños en los componentes del rendimiento y el intervalo adecuado de siembra de soja, posterior a la cosecha del cultivo de colza, de forma de poder viabilizar este sistema de sucesión. Para ello se efectuaron diferentes fechas de siembra de soja post cosecha de colza (1, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días post cosecha de la colza), dejándose un tratamiento testigo (siembra en área sin cultivo de colza antecesor) para cada fecha, y se evaluó el índice de germinación, número de

plantas por superficie, número de vainas y números de granos por planta, peso de mil granos y altura de planta.

Se encontraron diferencias significativas en la germinación de las semillas de soja entre los tratamientos testigos y los tratamientos con rastrojo de colza. Siendo mejor éste índice, cuanto mayor es el intervalo cosecha de colza-siembra de soja. Además, el número de plantas por superficie, número de vainas y número de granos por planta, peso de mil granos y la altura de las plantas, fueron significativamente menores en los tratamientos con rastrojo de colza sobre la superficie.

Las mejores fechas de siembra de soja fueron ubicadas entre los 10 a 20 días posteriores a la cosecha del cultivo de colza. Sembrando la soja en dichas fechas se pueden minimizar los efectos perjudiciales sobre el cultivo de interés.

Resultados similares fueron observados por Neves (2005), quien evaluando diferentes extractos provenientes de diferentes partes de la planta de colza, observó una reducción de la velocidad o la inhibición de la germinación en soja. Además, observó que el número de vainas por planta de soja, se vio afectado por la presencia de rastrojo de colza, determinando que el período entre 15 y 20 días post cosecha de colza representó el mejor punto para la siembra de soja, ya que a partir de ahí disminuyen los posibles efectos alelopáticos. Según el autor, dichos efectos pueden ser explicados por la presencia de sustancias alelopáticas en el rastrojo del cultivo de colza.

Rizzardí (2008), al igual que Nozaki et al. (2014), observaron una pérdida significativa en plantas de soja por el efecto alelopático de la colza, sin embargo dicho autor, no encontró ningún efecto significativo en la producción de vainas por planta, ni en el número de granos por planta.

Haddadchi y Gerivani (2009), llevaron a cabo una investigación con el fin de determinar los efectos alelopáticos de extractos fenólicos de varias partes de plantas de colza (hojas, tallos, flores y raíces) a diferentes concentraciones, sobre la germinación, crecimiento de las plántulas y algunos aspectos bioquímicos de la soja.

Los resultados de esta investigación muestran que los extractos fenólicos analizados, inhiben de manera significativa la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas de soja. La longitud de las raíces y del hipocótilo se vio reducida, siendo la primera la de mayor sensibilidad a la toxicidad de estos aleloquímicos. En las variables mencionadas, el efecto se vio aumentado al aumentar la concentración de extractos.

También Neves et al. (2008), realizaron un experimento con el fin de analizar el potencial alelopático de extractos acuosos provenientes de diferentes órganos de la planta del híbrido de colza Hyola 420, sobre el porcentaje de germinación y el índice de velocidad de emergencia en soja. Cabe destacar que como en algunos de los experimentos mencionados anteriormente, se evaluaron los extractos a diferentes concentraciones.

Los resultados del experimento en relación al porcentaje de germinación muestran que existieron diferencias significativas en los primeros días de aplicados los extractos, ya que después de 7 días las germinaciones fueron estadísticamente iguales al tratamiento control, es decir que el efecto de fitotoxicidad de la colza sobre la soja, se produjo por un período corto de tiempo. Y en cuanto al índice de velocidad de emergencia, se observó que éste disminuyó en un 31% en comparación al tratamiento control.

Neves et al. (2008), Haddadchi y Gerivani (2009), Aliko et al. (2014), encontraron que los efectos alelopáticos de la colza dependen de la concentración en que los compuestos alelopáticos se encuentran presentes en los extractos, y dado los resultados obtenidos, los mismos autores afirman que el órgano de la planta del cual provengan los extractos parece tener importancia también, ya que se encontraron diferencias significativas cuando se utilizaron extractos acuosos obtenidos de diferentes órganos, a una misma concentración.

2.2.2.2. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de maíz

Al igual que en la sección anterior, en esta sección se tratará de dejar en evidencia el potencial alelopático que puede presentar el cultivo de colza en

condiciones de campo sobre el cultivo de maíz sembrado luego de la colza en un sistema de rotación.

El maíz es un cultivo que forma micorrizas y en muchas circunstancias depende de ellas para tomar el fósforo requerido. Koide (2012), en Estados Unidos, llevó a cabo un estudio, para evaluar la colonización de las micorrizas, la absorción de nutrientes, el crecimiento y rendimiento de un cultivo de maíz sembrado después de colza y lo comparó con un cultivo de maíz sembrado después de soja. Además, el mismo autor evaluó la posibilidad de que un cultivo como trigo sembrado luego de la colza en el sistema de rotación, pueda aminorar los impactos negativos de la colza sobre los hongos micorrízicos. La siembra de maíz se realizó durante dos años seguidos, de manera de poder evaluar si el potencial alelopático de la colza se da solamente en el primer año post-cosecha, o se pueden evidenciar efectos negativos aún en el segundo año post-cosecha del mismo.

Para el primer año de siembra de maíz, los resultados de este experimento muestran por un lado, que el maíz sembrado en los suelos donde el cultivo antecesor fue colza, presentaron menor colonización micorrízica, en comparación al maíz sembrado en suelos donde el cultivo antecesor fue soja. Por otro lado, no se puede afirmar que el cultivo de trigo sembrado como cobertura luego de la colza tenga la capacidad de aminorar los efectos negativos sobre los hongos micorrízicos, ya que no se observaron diferencias en dicha variable.

En cuanto a la concentración de P en maíz fue significativamente menor en los suelos con colza como cultivo antecesor, habiendo una interacción con la siembra del cultivo de trigo como cobertura. Otra variable que se vio afectada negativamente con la colza como cultivo antecesor, fue el peso seco de los brotes de maíz, los cuales se redujeron significativamente si se los compara con el maíz sembrado en suelos con soja como cultivo antecesor. Y por último, en cuanto al rendimiento del maíz, los resultados muestran que éste fue significativamente menor en los suelos con colza como cultivo antecesor.

Dado que la colonización micorrízica y el peso seco de los brotes de maíz fueron menores en las parcelas con colza como cultivo antecesor, el autor concluyó que la primera variable se correlaciona positivamente con la segunda.

Para el segundo año de siembra de maíz, los resultados muestran que la colonización micorrízica, las concentraciones de N y P y el rendimiento del maíz, no se vieron influenciadas por el cultivo antecesor, ya que no se observaron diferencias significativas en dichas variables, entre el cultivo de maíz sembrado sobre cultivo de colza y el cultivo de maíz sembrado sobre soja.

Según el autor, el cultivo de colza ejerce un efecto directo y negativo sobre el cultivo de maíz a través de la producción de aleloquímicos que pueden haber derivado de las raíces y parte de los brotes del cultivo de colza antecesor que quedaron sobre la superficie luego de la cosecha, e incluso, pueden provenir de las semillas que caen al suelo al momento de la cosecha de la colza, y que al quedar sobre la superficie, contribuyen con el proceso de alelopatía.

Otro estudio fue llevado a cabo por Tokura y Nóbrega (2006), en la ciudad de Paraná, con el fin de evaluar el potencial alelopático de los exudados de plantas adultas de colza a diferentes concentraciones, sobre la germinación de semillas, longitud de la parte aérea y radicular, y peso seco de plántulas de maíz.

En relación al porcentaje de germinación, los resultados de este experimento muestran que no hubo diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de extracto evaluadas, ya que en todos los casos el porcentaje de germinación fue superior al 80%. Del mismo modo, para la variable longitud radicular, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados con diferentes concentraciones y el tratamiento testigo.

A diferencia de los resultados obtenidos para las dos variables mencionadas en el párrafo anterior, en cuanto a las variables longitud de la parte aérea y peso seco de las plantas, si se observaron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones evaluadas, siendo la concentración de 100% la que presentó mayor efecto inhibitor sobre ambas variables en las plántulas de maíz.

Este experimento representa entonces, una demostración más del efecto alelopático que el cultivo de colza puede generar sobre el cultivo de maíz.

Por otro lado, Spiassi et al. (2011), evaluando la emergencia, el índice de velocidad de emergencia, la longitud de tallos y raíces y el peso seco de la raíz y de la parte aérea, encontraron resultados opuestos a los descritos hasta ahora. En este experimento, los autores observaron que las variables analizadas no se vieron afectadas por el rastreo de colza, ya que no hubo diferencias significativas en relación al tratamiento testigo.

A diferencia de lo que se había mencionado hasta ahora, en relación al efecto que puede causar la colza sobre el cultivo de maíz, dado que en este caso no se observaron efectos negativos, los autores concluyeron que se puede utilizar la colza como cultivo de cobertura o para la cosecha del grano, antes de la siembra de maíz.

2.2.2.3. Efectos de la alelopatía de la colza sobre el cultivo de girasol

Así como se han llevado a cabo estudios sobre el efecto negativo que el cultivo de colza puede causar sobre el cultivo de soja o de maíz, también hay estudios llevados a cabo para demostrar que el cultivo de girasol sembrado luego de la colza, también puede verse afectado negativamente.

Otros autores llevaron a cabo un experimento con el objetivo de evaluar los efectos que pueden causar extractos del cultivo de colza a diferentes concentraciones (1; 2,5; 5 y 10%), sobre el cultivo de girasol. Las variables que se evaluaron en esta instancia fueron el porcentaje de germinación, vigor, velocidad media de germinación (VMG) y tiempo medio de germinación (TMG) en girasol.

Los resultados de este experimento muestran que las concentraciones de 5 y 10% inhibieron significativamente el porcentaje de germinación, obteniendo porcentajes de 76 y 26% respectivamente. Por otro lado, el autor observó que el vigor de las semillas de girasol es alterado a partir de la concentración de 2.5% y va disminuyendo a medida que aumenta la concentración del extracto de colza. En cuanto a la variable tiempo medio de germinación, se observaron diferencias significativas con las concentraciones de 5 y 10%, las cuales presentaron un aumento medio de 9,12 y 20,83 días respectivamente en el tiempo de germinación de las semillas, cuando se

compara con el tiempo medio de germinación del tratamiento testigo, que fue de 3,38 días. La cuarta y última variable evaluada en este experimento fue la velocidad media de germinación, y los resultados muestran que la misma disminuye a medida que aumentan las concentraciones utilizadas, observándose reducción a partir de la concentración del 1%. Esta variable es muy importante, ya que cuanto menor es la velocidad media de germinación, más desfavorable es para el cultivo, debido que las malezas pueden establecerse primero en el área, y competir por los recursos.

Este autor, a pesar de que no estudió cuáles son los aleloquímicos que están involucrados en los procesos de alelopatía mencionados, dejó en evidencia el potencial alelopático de *Brassica napus* sobre el cultivo de girasol.

Otro experimento llevado a cabo por Yasumoto et al. (2011), también deja en evidencia el potencial alelopático que presenta el cultivo de colza, y que afecta de manera negativa al cultivo de girasol. Este autor, bajo condiciones de campo, investigó los efectos alelopáticos de la colza sobre determinadas variables que pueden influir en el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo subsecuente de girasol.

Los resultados muestran que el rendimiento del cultivo de girasol, fue significativamente menor cuando fue sembrado luego del cultivo de colza. Esto puede estar asociado al hecho de que la fecha de madurez del girasol se vio retrasada ya que la fecha de floración no se vio afectada. En cuanto a variables asociadas al crecimiento, la longitud de los tallos se vio disminuida significativamente, mientras que el número de hojas no varió.

Los autores sugirieron que los efectos de la colza sobre el cultivo de girasol, pudieron deberse a la presencia de ciertos compuestos producidos por las raíces de las plantas de colza que se encontraban germinando espontáneamente, ya que luego de la cosecha de la colza, hay una gran cantidad de semillas que caen al suelo, y permanecen en él como semilla hasta que se dan las condiciones adecuadas para su germinación. Estos autores llegaron a la conclusión de que los compuestos involucrados en estos procesos de alelopatía son los glucosinolatos, ya que se encontraron altos niveles de los mismos en las raíces de las plantas que crecían espontáneamente.

Una vez más se deja en evidencia que los glucosinolatos producidos por la colza, pueden interferir negativamente a través del proceso de alelopatía, sobre cultivos sembrados luego de la colza en las rotaciones agrícolas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

El presente estudio consistió en un experimento a campo y un experimento en cámara de crecimiento, evaluándose en ambos casos los efectos alelopáticos del cultivo de colza sobre la implantación y el crecimiento inicial de sorgo (cultivar MS 108).

El experimento a campo fue instalado en el campo experimental de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía y conducido durante los meses de noviembre y diciembre de 2014. El experimento en condiciones controladas, en cámara de crecimiento se condujo durante el mes de diciembre del mismo año en el laboratorio de Malherbología de la EEMAC.

3.1.1. Tratamientos y diseño experimental

En cuanto al experimento realizado a campo, se estudió el efecto de cuatro factores: variedad (dos en cada uno de los experimentos: Hyola 575 CL e Hyola 830 CC), intervalo cosecha colza-siembra sorgo (tres niveles: 7, 14 y 21 días), distancia entre hileras de colza (dos niveles: 17 y 38 cm) y método de cosecha de colza (dos niveles: con aplicación de Paraquat: Gramoxone 2Lts/há, e hilerado) sobre las variables de interés.

Se utilizó un diseño de BLOQUES DIVIDIDOS, con tres repeticiones y dos factores (fecha de siembra y cuatro combinaciones de distancia x método de cosecha) dividiendo los bloques.

Modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_k + F_i + \alpha(F*B)_{ik} + D_j + \beta(D*B)_{jk} + (FxD)_{ij} + \gamma(FxDxB)_{ijk} + \delta l(ijk)$$

Y_{ijkl} : variable aleatoria observada

μ : media general

B_k : efecto Bloque

F_i : fecha

$\alpha (BxF)_{ik}$: error 1

D_j : dimet (Distancia x Método de cosecha)

$\beta (DxB)_{jk}$: error 2

$(FxD)_{ij}$: interacción Fecha por Dimet

$\gamma (FxDxB)_{ijk}$: error 3

$\delta l(ijk)$: variabilidad entre líneas (error de muestreo)

El experimento en condiciones de cámara de crecimiento, consistió en la evaluación de los efectos del rastrojo de una misma variedad de colza (Hyola 575 CL), en la germinación e implantación de sorgo (cultivar MS 108). Los tratamientos resultaron tal como se detalla a continuación.

T1: sorgo con rastrojo de colza

T2: sorgo sin rastrojo de colza

El diseño experimental en este caso, fue un diseño COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA) y se utilizaron siete repeticiones.

Modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} : valor observado

i : tratamiento

μ : media poblacional

α_i : efecto debido al tratamiento

ϵ_{ij} : error experimental

3.1.2. Metodología de instalación

En relación al experimento instalado en el campo experimental, en cada fecha de siembra, y en cada parcela del experimento fueron sembradas dos hileras de sorgo. Cada hilera sembrada tenía un metro de largo, con una distancia entre semillas de 5cm, lo que da un total de 20 semillas sembradas por hilera, a una profundidad de 2cm. Las hileras de sorgo se sembraron en el medio de las entre filas de la variedad de colza correspondiente.



Foto 1. Siembra de sorgo a campo.

En cuanto al experimento en condiciones de cámara de crecimiento, las parcelas resultaron macetas de 20 cm de diámetro, en cada una de las cuales se sembraron cuatro semillas de sorgo.

En las macetas que llevaron rastrojo de colza en superficie, se colocaron pequeños trozos de plantas de la variedad Hyola 575 CL en una cantidad equivalente a la que se muestreó en los ensayos de campo, correspondiendo a 20 gramos.



Foto 2. Tratamientos dentro de la cámara de crecimiento bajo condiciones de temperatura y luz controladas. Se observan 4 de las 7 repeticiones que se realizaron.



Foto 3. En la maceta de la izquierda se observa el tratamiento testigo del cultivo de sorgo (sin rastrojo), y en la maceta de la derecha se observa el tratamiento de sorgo con rastrojo. Cámara de crecimiento bajo condiciones de temperatura y luz controladas.

3.2. DETERMINACIONES

3.2.1. Experimento a campo

Implantación en sorgo: 15 días después de la siembra se registró por parcela, el total de plantas emergidas en el total de las dos líneas.

Longitud de la parte aérea (cm): cada una de las plantas registradas en la determinación anterior fue llevada al laboratorio, en donde se estimó la longitud de su parte aérea, expresada en centímetros.

Estado de desarrollo: en las mismas plantas se registró también el grado de desarrollo, utilizando la escala de Vanderlip del año 1972.

Peso seco parte aérea (gramos): en el caso de esta determinación, las plantas totales de cada línea fueron colocadas en bolsas de papel y llevadas a estufa a 60° hasta peso constante, y luego se determinó el peso, que fue expresado en gramos.

3.2.2. Experimento en cámara de crecimiento

Implantación en sorgo: 15 días después de la siembra se registró por parcela el total de plantas emergidas.

Longitud de la parte aérea (cm): cada una de las plantas registradas en la determinación anterior fue llevada al laboratorio, en donde se estimó la longitud de su parte aérea, expresada en centímetros.

Longitud de las raíces (cm): en las mismas plantas, se estimó también la longitud de su parte radicular, expresada en centímetros.

Estado de desarrollo: en las mismas plantas se registró también el grado de desarrollo, utilizando la escala de Vanderlip del año 1972 para sorgo.

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se utilizó el programa de análisis estadístico INFOSTAT versión 2015e (Di Rienzo et al., 2015).

Cabe destacar en esta sección que la variable estado de desarrollo de las plantas, se analizó como logaritmo neperiano, es decir que dicha variable fue transformada para ser ingresada al INFOSTAT.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES DE CAMPO

Los resultados y discusión correspondiente se presentan agrupados en función de los efectos que se estudiaron.

Inicialmente se presentará un análisis conjunto.

4.1.1. Análisis conjunto

En el cuadro 1 que se presenta a continuación, se muestra un resumen del Análisis de varianza realizado para el conjunto de las estimaciones.

Cuadro 1. Tabla resumen de los Análisis de varianza de las variables analizadas en el presente estudio

Como puede observarse se encontró efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo en todas las variables. En el número de plantas y en el peso por planta se encontraron efectos significativos de la interacción distancia por método, no detectándose diferencias significativas para los efectos simples distancia entre hileras y método de cosecha.

En la variable peso por planta se encontró además un efecto significativo para la variedad.

4.1.1.1. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo

Este resultó ser el efecto de mayor importancia de los estudiados, detectándose como significativo en las cuatro variables analizadas.

Tal como se establece en la bibliografía, Nozaki et al. (2014), evaluaron diferentes intervalos de siembra entre la cosecha de colza y la siembra posterior de soja, y observaron que los efectos alelopáticos son de corta duración y se diluyen en el tiempo. Estos resultados coinciden con los de otros experimentos citados en la bibliografía. Neves (2005), estudiando diferentes intervalos cosecha colza-siembra soja, determinó un periodo entre 15 y 20 días post cosecha de colza como el mejor punto para la siembra, siendo que a partir de ahí disminuyen los posibles efectos alelopáticos.

El estudio del efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo se introdujo en la hipótesis de que se encontrarían diferencias en el crecimiento y desarrollo de sorgo en la medida en que transcurriera mayor tiempo entre la cosecha de la colza y la siembra del sorgo. Sin embargo cabe aclarar que tal como fue diseñado el experimento el efecto de dicho intervalo, también incluye otros factores más allá de los efectos alelopáticos, como puede ser una condición hídrica diferente para cada intervalo relacionada a la ocurrencia de las precipitaciones.

Lo recientemente comentado puede ser una explicación para los resultados de implantación de sorgo en los tres intervalos estudiados.

El número de plantas por metro lineal estimado (figura 1) en el intervalo de 14 días, resultó significativamente mayor que el de 7 días, lográndose

duplicar prácticamente el total implantado. Con esto podría pensarse que exista algún efecto alelopático, ya que se muestra una tendencia a mejores implantaciones con el aumento del intervalo cosecha colza-siembra sorgo.

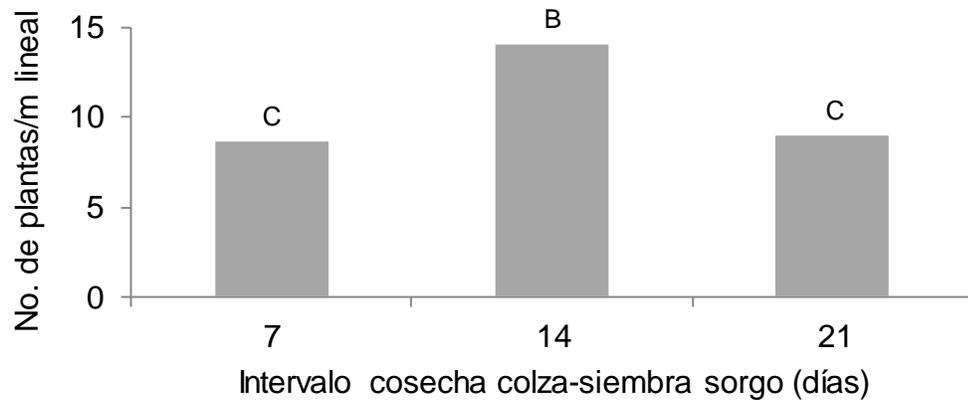


Figura 1. No. plantas/m lineal según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.

No puede esperarse que exista un problema de temperatura, dado que ésta, se encontraba dentro del rango óptimo, ya que la siembra se realizó luego de la cosecha de colza, en el mes de noviembre.

En relación a la temperatura, como muestra la figura 1, en el intervalo de 7 días se puede observar un menor número de plantas por metro lineal respecto a los otros intervalos, sin embargo, como se observa en la figura 2, es el que presentó mayor suma térmica, por lo tanto se descarta la hipótesis de que el mayor número de plantas en el intervalo de 14 días pueda ser por una mayor suma térmica.

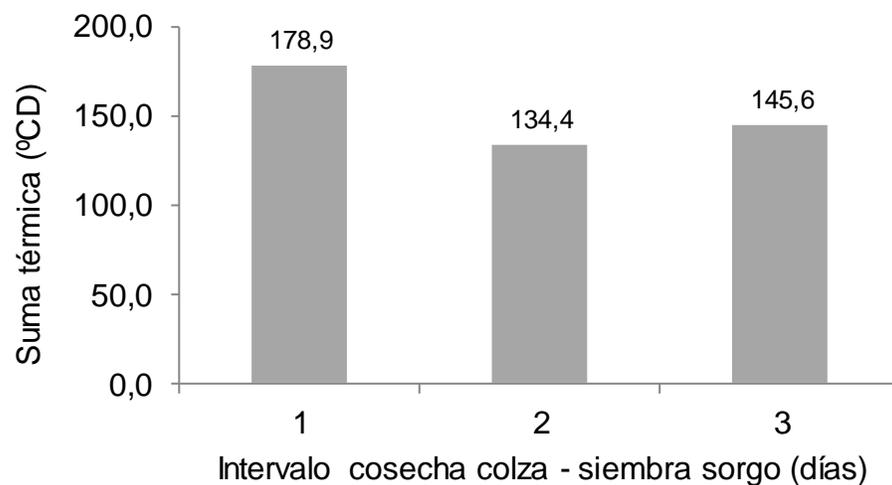


Figura 2. Acumulación de °C. en la estación de crecimiento intervalo cosecha colza-siembra sorgo. * $T_b = 15\text{ °C}$.

Otro factor que podría estar implicado en estos resultados es el efecto del agua. La figura 3 muestra la evolución de las precipitaciones durante el período de crecimiento, para intervalo evaluado.

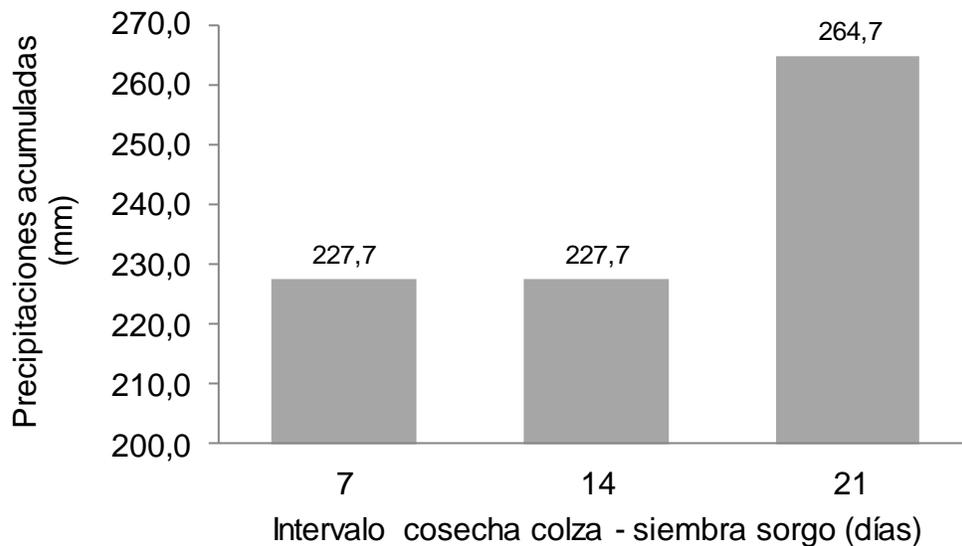


Figura 3. Acumulación de precipitaciones en la estación de crecimiento según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.

Resulta importante destacar que en el intervalo de 7 días las precipitaciones acumuladas son las mismas que las acumuladas a las 14 días, por lo tanto, la diferencia estadísticamente significativa entre el número de plantas de dicho intervalo con el número de plantas del intervalo de 14 días, no puede deberse al efecto del agua.

De acuerdo a los efectos alelopáticos que pretendían evaluarse, el número de plantas por metro lineal del intervalo de 21 días resulta llamativo, ya que lo esperable era que se determinara un mayor número de plantas, por el efecto dilución de dichos efectos.

Una hipótesis que se manejó para explicar este resultado del intervalo de mayor días, es que llovió el día anterior y pudo haberse podrido semilla al sembrarse de forma manual en el suelo muy húmedo.

Rizzardi et al. (2008), al igual que Nozaki et al. (2014), observaron una pérdida significativa de plantas de soja por el efecto alelopático de la colza. Es pertinente recordar que el experimento realizado en el presente trabajo muestra un resultado similar con lo ocurrido con las plantas de sorgo, ya que el intervalo de 7 días, es el que muestra el menor número de plantas por metro lineal, lo cual puede estar demostrando que existen efectos alelopáticos que están afectando a esta variable.

En cuanto a la estimación del desarrollo, tal como puede observarse en la figura 4, no se encontraron diferencias significativas entre los intervalos de 7 y 14 días, mientras que el intervalo de 21 días presentó un mayor desarrollo estadísticamente significativo en relación a las primeras intervalos más cortos.

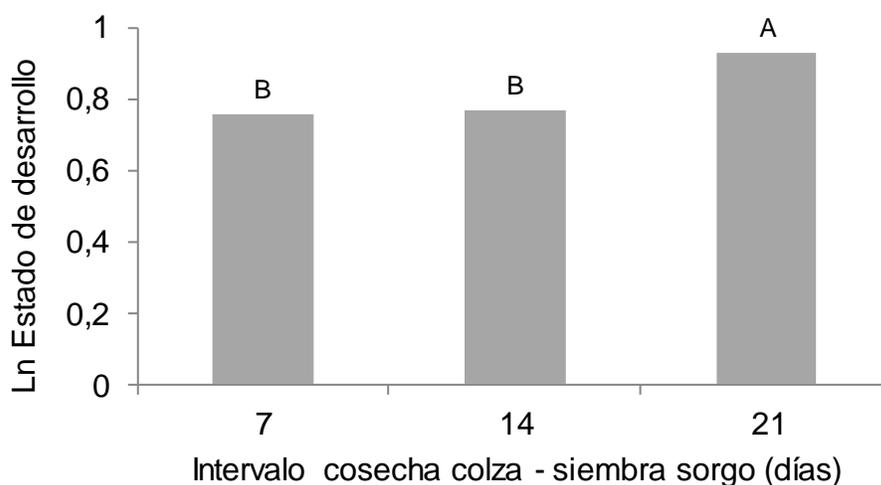


Figura 4. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo en el estado de desarrollo de las plantas.

En este caso podría pensarse que el mayor desarrollo constatado en el intervalo de 21 días podría relacionarse con una disminución de la concentración de aleloquímicos, por efecto del mayor tiempo transcurrido desde la cosecha de colza. Además, al igual que el número de plantas por metro lineal, esta variable, también podría verse afectada por la temperatura, por un efecto de mayor acumulación de grados día durante el período evaluado, pero como refleja la figura 2, el intervalo de 21 días presenta menor suma térmica en

comparación con el intervalo de 7 días, y aun así este último presenta menor desarrollo que el de 21 días.

A continuación se presenta la figura 5 donde se observa el efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo en el peso por planta (gramos).

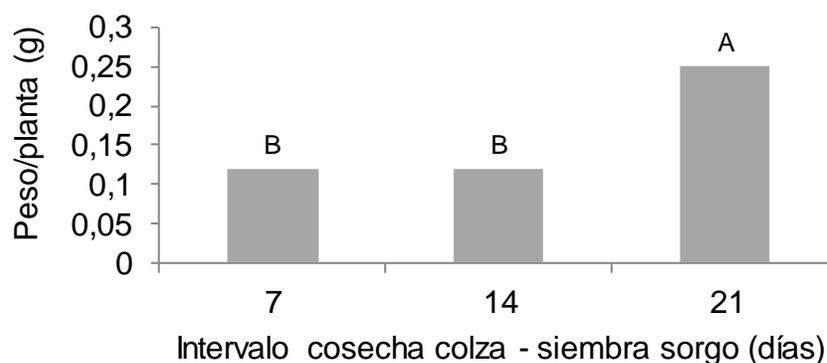


Figura 5. Peso por planta (g) según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.

Como puede observarse, el mayor intervalo es el que muestra los mayores pesos de planta respecto a los intervalos menores. Como se mencionó anteriormente esto puede estar relacionado con una disminución en la concentración de aleloquímicos a medida que transcurre el tiempo desde la cosecha de la colza a la siembra de sorgo.

En relación al peso por planta se observó igual tendencia que en la variable desarrollo y un efecto bien marcado duplicando el peso (237,5 %) en el intervalo de 21 días comparado con el intervalo de 7 días.

Otros factores que pueden explicar estos resultados además de los efectos alelopáticos, pueden ser los nutrientes y el agua. El efecto de los nutrientes se descarta porque las plantas fueron cosechadas cuando tenían dos hojas, y hasta ese momento la planta para poder crecer depende de las reservas de la semilla y no de los nutrientes que existan en el suelo. En cuanto al posible efecto del agua podemos afirmar que en ningún momento las plantas estuvieron sujetas a una deficiencia hídrica, ya que los tres intervalos analizados tuvieron suministro. Por otro lado, condiciones de excesos hídricos,

podrían afectar negativamente el crecimiento de las plantas. Al comparar los tres intervalos, el de 21 días presentó una condición hídrica excesiva si se la compara con los otros dos, sin embargo, en este intervalo, las plantas crecieron más, aun cuando tuvieron que luchar con un posible exceso al momento de la siembra. Esto puede llevar a concluir que exista algún efecto de los aleloquímicos en los intervalos de 7 y 14 días, y por esta razón presenten menores pesos por planta que en el intervalo de 21 días.

Por último, en cuanto a la variable longitud de la parte aérea de las plantas, como se observa en la figura 6, es clara la tendencia de mayores crecimientos con el aumento del intervalo cosecha colza-siembra sorgo, y así el intervalo de 7 días resultó con las menores longitudes, el intervalo de 21 con las mayores longitudes, y el intervalo de 14 días resultó en un crecimiento intermedio.

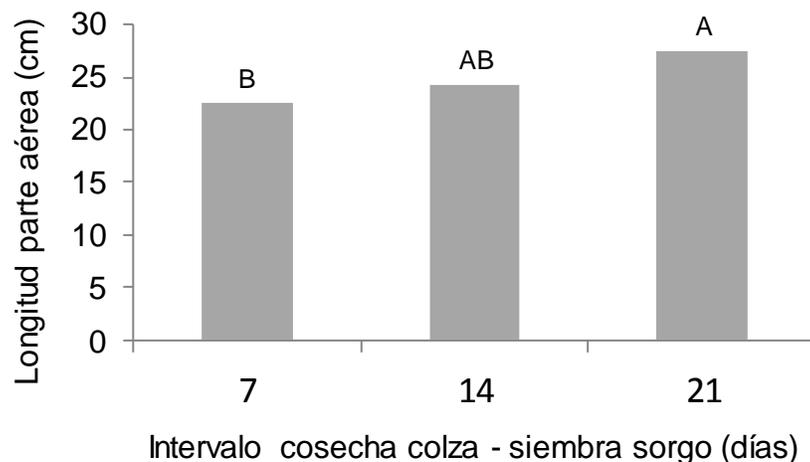


Figura 6. Longitud de las plantas (cm) según intervalo cosecha colza-siembra sorgo.

Los datos para esta variable resultan concordantes con los encontrados para peso y desarrollo y podrían también ser una nueva indicación de la disminución de los efectos alelopáticos con el transcurso del tiempo a partir de la cosecha del cultivo de colza.

El efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo sobre el número de plantas y el peso por planta fue muy significativo (p-valor de 0,0012 y 0,0034

respectivamente), y significativo sobre el estado de desarrollo de las plantas y la longitud de la parte aérea de las mismas, siendo el p-valor obtenido en cada caso de 0,0168 y 0,068.

Como puede observarse en las figuras 4, 5 y 6, la respuesta al efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo mostró iguales tendencias en tres de las variables en estudio: estado de desarrollo, peso por planta y longitud. Siendo el intervalo de 21 días el mejor significativamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos se podría afirmar que el crecimiento se vio más afectado que el desarrollo por los potenciales efectos alelopáticos que puede presentar la colza luego de la cosecha.

4.1.1.2. Efecto de la interacción distancia entre hileras x método de cosecha

Al procesar los datos nos enfrentamos a una limitante en la que el Diseño Experimental impidió analizar las variables distancia entre hileras y método de cosecha por separado. Por lo tanto fue necesario analizarlas como un arreglo factorial.

El estudio estadístico de la interacción distancia entre hileras x método de cosecha dio que existe algún efecto significativo para el caso de las variables número de plantas y peso por planta.

Se presenta a continuación la información para las dos variables en las que la interacción resulto significativa.

En la figura 7 se puede observar la clara interacción entre la distancia entre hileras y el método de cosecha, y su efecto sobre el número de plantas.

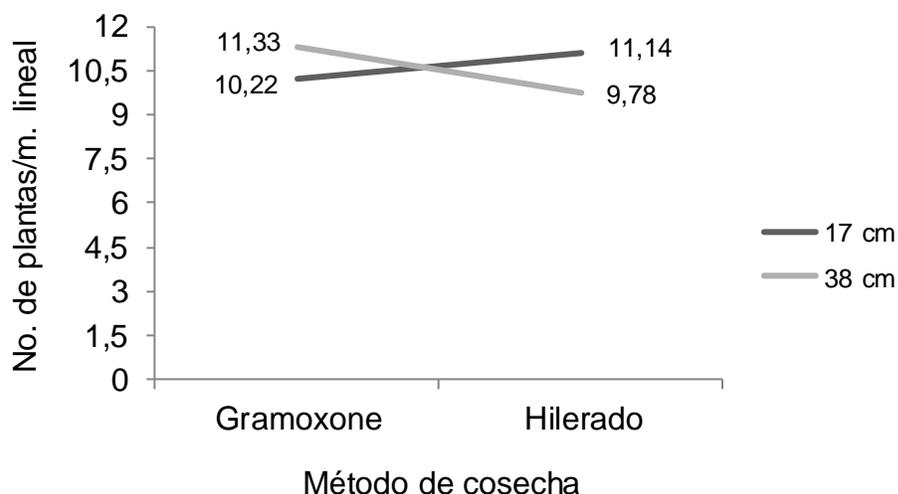


Figura 7. Efecto de la interacción entre la distancia entre hileras y el método de cosecha sobre el número de plantas por metro lineal.

Siendo la distancia 1 de 17 cm, la distancia 2 de 38 cm, el método de cosecha 1 aplicación de Gramoxone y el 2 hilerado, no existe coherencia en los resultados obtenidos ya que la hipótesis es que la distancia 2 x el método 1 (dimet 3) sería la mejor combinación, y que en la distancia 1 x el método 2 (dimet 2) se observarían los peores resultados.

El mayor número de plantas se obtuvo con el método 1 x la distancia 2, lo cual coincide con la hipótesis nombrada anteriormente, pero el número de plantas más bajo se obtiene con hilerado y la distancia 2, no encontrándose un explicación biológica para este resultado.

En cuanto a la variable peso por planta, la figura 8 muestra el efecto causado por la interacción del método de cosecha x la distancia entre hileras, sobre el peso por planta.

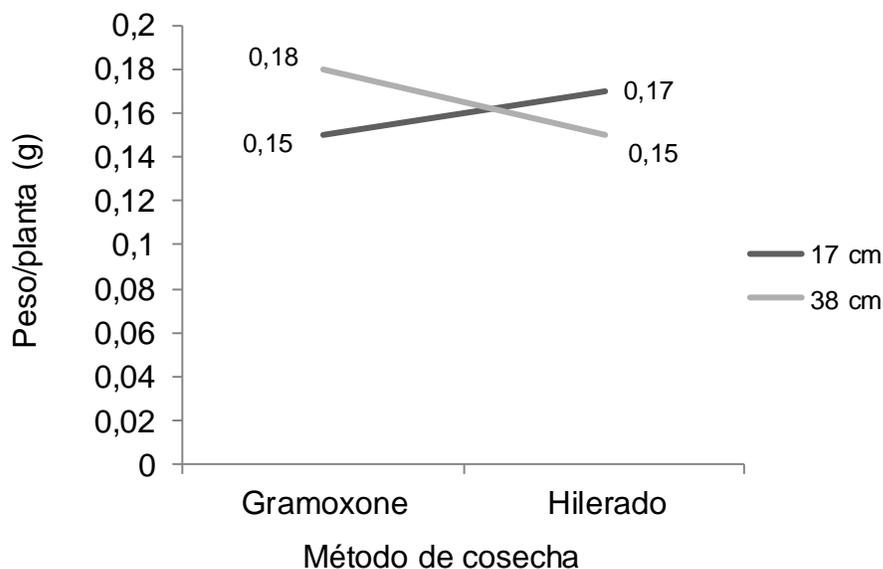


Figura 8. Efecto de la interacción entre la distancia entre hileras y el método de cosecha sobre el peso por planta (g).

Aun no habiendo diferencias significativas entre los tratamientos, la tendencia es la misma a la observada en el número de plantas.

No se encontraron explicaciones lógicas para estos resultados obtenidos. La hipótesis inicial no era encontrar efectos de esta interacción, sino efectos significativos de los efectos simples y fundamentalmente del método de cosecha.

4.1.1.3. Efecto de la variedad

La variedad solo presentó algún efecto significativamente diferente en el peso por planta, en las demás variables no hay diferencias entre las variedades.

Como se observa en la figura 9 el peso por planta estimado en las plantas sembradas sobre la variedad Hyola 575 CL resultó ser 35% más bajo que el que se estimara para las plantas sembradas sobre la variedad Hyola 830 CC.

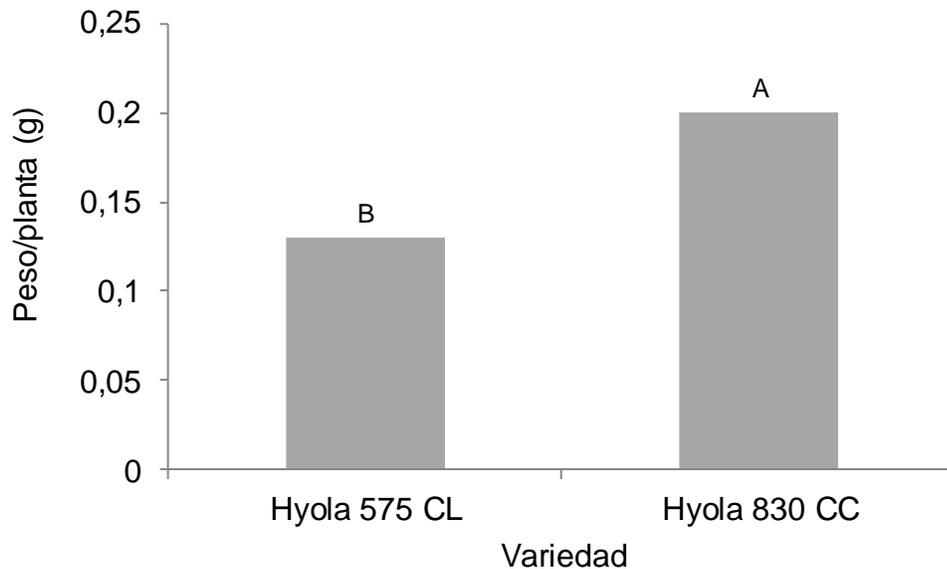


Figura 9. Peso por planta según variedad.

Uno de los posibles factores que se tienen en cuenta para analizar la diferencia que existe entre las variedades en relación al peso por planta, es el consumo de agua por parte de las mismas, ya que podría ser que una variedad sea más extractiva que otra. Pero, como puede observarse en la figura 3 presentada anteriormente, durante el mes de noviembre no hubo deficiencias hídricas durante el período evaluado, por el cual el consumo diferencial que podrían tener ambas variedades no es un factor determinante en el peso por planta, quedando descartado dicho factor. Por otro lado la disponibilidad de nutrientes podría ser otro factor que estuviera influyendo sobre el peso por planta, pero se descarta ya que hasta los siete días no hay diferencias en inmovilización, dado que los nutrientes no afectan el crecimiento hasta las dos hojas de desarrollo de la planta, porque como se mencionó anteriormente, hasta ese momento la planta depende de las reservas de su semilla para crecer. Por estos motivos, se puede concluir que es posible que la diferencia en el peso por planta detectada entre las dos variedades que sea atribuida a diferencias en los potenciales alelopáticos de dichas variedades.

Por otra parte es importante destacar la diferencia entre la cantidad de rastrojo que deja cada variedad. En la variedad 1 la cantidad es notoriamente

mayor que en la variedad 2. Éste factor, aun no siendo considerado un impedimento físico, ya que la implantación se dio igual, podría pensarse que habrá una mayor cantidad de aleloquímicos liberados a la solución del suelo por parte de la variedad que deja mayor cantidad de rastrojo.

Siendo que se sospecha de un comportamiento alelopático diferencial a nivel de las variedades se corrieron además dos Análisis de Anava individual para cada variedad. En el cuadro 2 se observan los efectos de cada variedad sobre las variables evaluadas: No. de plantas, estado de desarrollo, peso por planta (g), y longitud de la parte aérea (cm).

Cuadro 1. Efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo y del dimet (distancia entre hileras x método de cosecha) en las diferentes variables en estudio para cada variedad.

Efecto	Hyola 575 CL				Hyola 830 CC			
	No. de plantas	Peso/pl	Ln Est. Des.	Longitud	No. de plantas	Peso/pl.	Ln Est. Des.	Longitud
Int cos.-siem.	*	*	*	*	*	*	Ns	Ns
Dimet	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

*datos que presentan diferencias significativas

Según estos resultados, para la variedad Hyola 575 CL y para todas las variables evaluadas se encontraron diferencias significativas según la fecha en que se realiza la siembra del sorgo, mientras que para la variedad Hyola 830 CC, se encontraron diferencias significativas por el efecto del intervalo cosecha colza-siembra sorgo únicamente para las variables No. de plantas y peso por planta. Tener en cuenta el intervalo cosecha colza-siembra sorgo es fundamental en ambas variedades, pero por lo explicado anteriormente, podría decirse que al sembrar sorgo sobre rastrojo de colza de la variedad Hyola 575 CL habría que tener mayor precaución en relación a dicho intervalo, dado que un mayor No. de variables que influyen sobre el rendimiento se ven afectadas.

4.2. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CRECIMIENTO

Tal como se mencionó en la sección anterior, se presentarán únicamente los resultados de sorgo, debido a los problemas de germinación que presentó la semilla de soja utilizada.

En el cuadro 3 se presenta un resumen del Análisis de varianza realizado para las variables en estudio excepto para la variable estado de desarrollo. Al momento de la evaluación todas las plantas se encontraban en V1, por lo que se descartó la realización del Anava.

Cuadro 2. Resumen de resultados del Análisis de la varianza

F.V	gl	No. de plantas		Long. parte aérea prom. (cm)		Long. raíz prom. (cm)	
		CM	p - valor	CM	p - valor	CM	p - valor
TRATAMIENTO	1	0,29	0,5577	49,22	0,0826	4,96	0,4882
Error	12	0,79		13,72		9,7	
Total	13						

Como puede comprobarse no fue posible en este experimento detectar efecto del rastrojo en ninguna de las variables evaluadas. De cualquier manera efectos ilustrativos se muestran a continuación los promedios obtenidos para con y sin rastrojo.

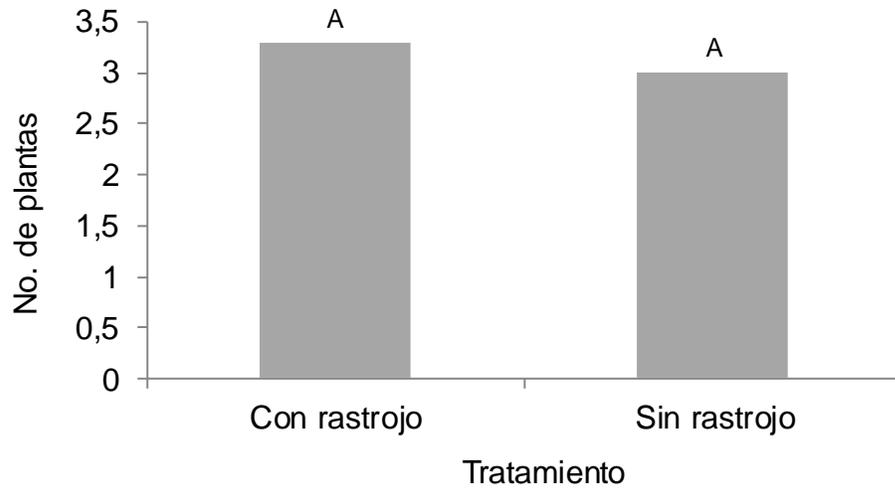


Figura 10. Número de plantas en macetas con y sin rastrojo de colza.

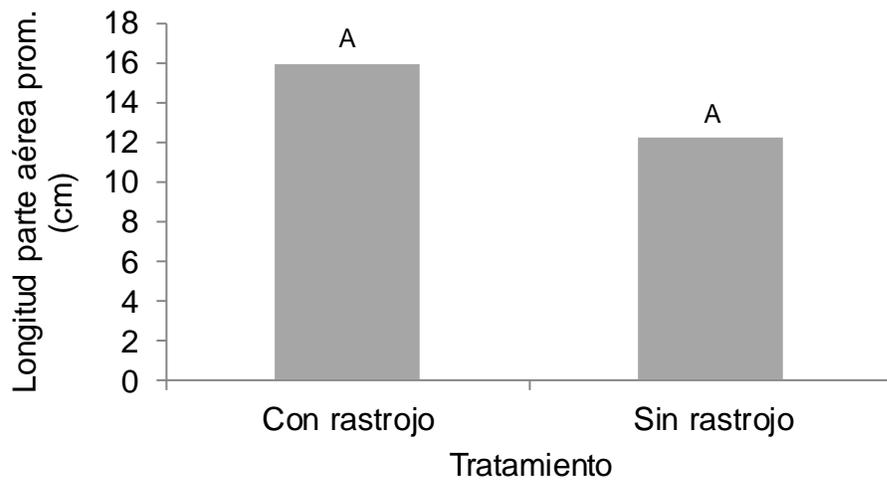


Figura 11. Longitud de la parte aérea promedio (cm) según tratamiento.

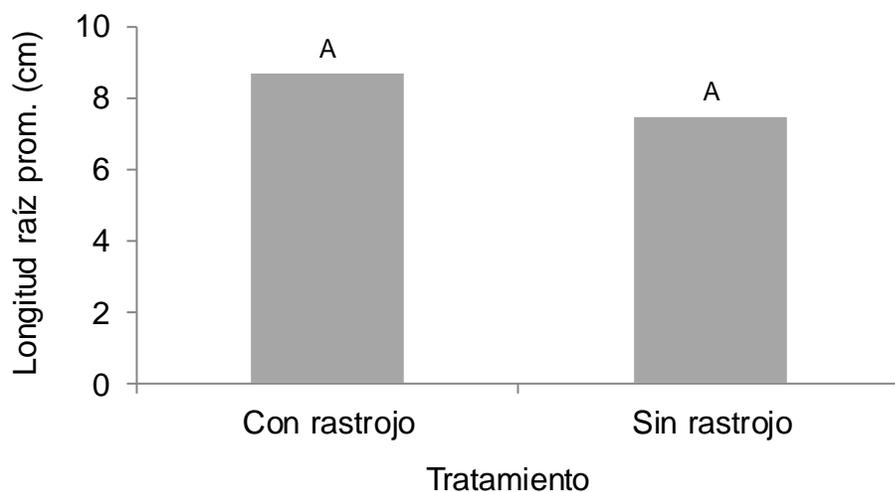


Figura 12. Longitud de la raíz promedio (cm) según tratamiento.

Cabe aclarar que el rastrojo de la variedad de colza Hyola 575 CL que se utilizara en este estudio presentaba algún grado de descomposición puesto que la cosecha había sido realizada con 30 días de anticipación al momento de la instalación. Por lo tanto y considerando lo que se cita en la bibliografía en relación a la duración de los efectos alelopáticos es posible pensar que los aleloquímicos ya hubieran sufrido una importante degradación y hubieran perdido su potencial alelopático. Esto podría estar explicando las diferencias entre los resultados obtenidos a campo y el presente experimento.

5. CONCLUSIONES

5.1. EXPERIMENTO DE CAMPO

- Se detectó efecto de la fecha de siembra en todas las variables estudiadas. Los valores de implantación, crecimiento y desarrollo de las plantas de sorgo incrementaron en la medida en que la siembra se alejó de la cosecha de colza.

- No fue posible detectar efectos de la distancia entre hileras ni el método de cosecha.

- Se detectó efecto de la variedad en el peso por planta resultando menores los pesos de las plantas sembradas sobre la variedad Hyola 575 CL.

5.2. EXPERIMENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE CRECIMIENTO

- No se detectó efecto de la presencia de rastrojo de colza en ninguna de las variables estudiadas, posiblemente debido a que el rastrojo utilizado ya tenía 30 días de descomposición.

6. RESUMEN

En los últimos años el cultivo de *Brassica napus* se ha convertido en un cultivo de creciente importancia. Determinadas situaciones a nivel de campo han dejado en evidencia que cultivos como soja y sorgo sembrados sobre rastrojo de colza se han visto perjudicados en su crecimiento y/o rendimiento y se cree que esto puede tener relación con efectos alelopáticos de la colza. El presente trabajo tuvo por objetivo estudiar el potencial alelopático del cultivo de colza *Brassica napus*, evaluando dos variedades (Hyola 575 CL e Hyola 830 CC), diferentes períodos desde la cosecha de la colza y la siembra del cultivo (7, 14 y 21 días), dos distancias entre hileras (17 y 38 cm) y dos métodos de cosecha (con aplicación de Paraquat: Gramoxone 2Lts/há, e hilerado), sobre la implantación y el crecimiento inicial de sorgo (cultivar MS 108). A tales efectos se instaló un experimento a campo y uno en cámara bajo condiciones controladas de crecimiento. El primero fue instalado en el Campo Experimental de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, durante los meses de noviembre y diciembre de 2014, con un diseño experimental de bloques divididos, con tres repeticiones. La fecha de siembra y cuatro combinaciones de distancia x método de cosecha fueron los dos factores dividiendo los bloques. El experimento en condiciones controladas en cámara de crecimiento, se condujo durante el mes de diciembre del mismo año en el laboratorio de Malherbología de la EEMAC, y se evaluaron los efectos del rastrojo de una misma variedad de colza (Hyola 575 CL), en la germinación e implantación de sorgo. El diseño experimental en este caso, fue un diseño completamente al azar (DCA) y se utilizaron siete repeticiones. En el experimento a campo se detectó efecto de la fecha de siembra en todas las variables estudiadas. Los valores de implantación, crecimiento y desarrollo de las plantas de sorgo incrementaron en la medida en que la siembra se alejó de la cosecha de colza. No fue posible detectar efectos de la distancia entre hileras ni el método de cosecha. Se detectó efecto de la variedad en el peso por planta resultando menores los pesos de las plantas sembradas sobre la variedad Hyola 575 CL. Mientras que en el experimento bajo condiciones controladas de crecimiento no se detectó efecto de la presencia de rastrojo de colza en ninguna de las variables estudiadas, posiblemente debido a que el rastrojo utilizado ya tenía 30 días de descomposición.

Palabras clave: *Brassica napus*; Potencial alelopático; Sorgo.

7. SUMMARY

In recent years the cultivation of *Brassica napus* has become increasingly important crop. Certain situations at field level have highlighted that crops such as soybean and sorghum crops on canola stubble have been adversely affected in their growth and / or performance and believes this can be related to allelopathic effects of rapeseed. This study aimed to study the allelopathic potential of rapeseed cultivation (*Brassica napus*), evaluating two varieties (Hyola 575 CL and Hyola 830 CC), different periods from rapeseed harvest and sowing of the crop (7, 14 and 21 days), two row spacing (17 and 38 cm) and two harvesting methods (with application of Paraquat: Gramoxone 2lts/ha, and raking), on the implementation and initial growth of sorghum (cultivar MS 108). To this end an experiment field and one under controlled conditions in growth chamber was installed. The first was installed in the Experimental Experimental Station Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), Faculty of Agriculture, during the months of November and December 2014, with an experimental design of split blocks, with three replications. Planting time and four combinations of distance x harvesting method were the two factors dividing the blocks. The experiment under controlled conditions in a growth chamber, was conducted during the month of December of the same year in the Weed Laboratory of EEMAC, and the effects of stubble same variety of rapeseed (Hyola 575 CL) were evaluated in the germination and establishment of sorghum. The experimental design in this case was a completely randomized design (CRD) and seven repetitions were used. In the field experiment the effect of planting date was detected in all the studied variables. Implementation values, growth and development of plants of sorghum increased to the extent that the planting left the rapeseed crop. We failed to detect effects of distance between rows or the method of harvest. Variety effect was detected in the weight per plant, resulting under the weights of the plants grown on the variety Hyola 575 CL. While in the experiment under controlled growth conditions no effect of the presence of canola stubble in any of the variables studied was detected, possibly because the stubble used as decomposition was 30 days.

Keywords: *Brassica napus*; Allelopathic potential; Sorghum.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aliko, H. M.; Reade, J. P. H.; Back, M. A. 2014. Effects of concentrations of *Brassica napus* (L.) water extracts on the germination and growth of weed species. *Allelopathy Journal*. 34 (2): 287-298.
2. Almeida, F. S. 1991. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (Brasília). 26 (2): 221-236.
3. Blanco, Y. 2006. La utilización de la aleopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 27 (3): 5-16.
4. Capurro, P.; Sotelo, E. M. 2010. Interferencia alelopática de cultivares de cebada sobre *Lolium multiflorum* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 50 p.
5. Castro, P. R. C.; Rodriguez, J. D.; Moraes, M. A.; Carvalho, V. L. M., 1983. Efeitos alelopáticos de alguns extratos vegetais na germinação do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Santa Cruz). *Planta Daninha*. 6 (2): 79-85.
6. Chen, S.; Andreasson, E. 2001. Update on glucosinolate metabolism and transport. *Plant Physiology Biochemistry*. 39. 743–758.
7. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2008. InfoStat, versión 2008. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. 336 p.
8. Einhellig, F. A. 2004. Mode of allelochemical action of phenolic compounds. In: Macias, F. A.; Galindo, J. C. G.; Cutler, H. G. eds. *Allelopathy; chemistry and mode of action*. Boca Raton, CRC. pp. 217-238.
9. Haddadchi, G. R.; Gerivani, Z. 2009. Effects of phenolic extracts of canola (*Brassica napus* L.) on germination and physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. (en línea). *International Journal of Plant Production*. 3 (1): 63-74. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en http://ijpp.gau.ac.ir/?_action=article&au=3214&_au=G.R.++Haddadchi

10. Haig, T. 2008. Allelopathy in sustainable agriculture and forestry. New York, Springer. 411 p.
11. Hierro, J. L.; Callaway, R. M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*. 256: 29-39.
12. Inderjit; Callaway, R. M. 2003. Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*. 256 (1): 1-11.
13. Koide, R. T. 2012. On the nature of temporary yield loss in maize following canola. *Plant and Soil*. 360: 259–269.
14. Lorenzo, P.; González, L. 2010. Alelopatía; una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. (en línea). *Ecosistemas*. 19 (1): 79-91. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=628>.
15. Neves, R. 2005. Potencial alelopático da cultura da canola (*Brassica napus L. var. oleifera*) na supressão de picão-preto (*Bidens sp.*) e soja. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Passo Fundo, Brasil. Universidade de Passo Fundo. 77 p.
16. Nozaki, M. H.; Tomazelli, I. C. 2014. Produtividade da soja em épocas de semeadura com e sem resíduos vegetais de canola. *Revista Agrarian*. 7 (26): 511-520.
17. Pérez, A. 2014. Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. *Alimentos Hoy*. 22 (31): 65-74.
18. Putnam, A. R. 1985. Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed Technology*. 2 (2): 510-518.
19. Rice, L. 1984. Allelopathy. 2nd. ed. New York, Academic Press. 422 p.
20. Rizzardi, M. A.; Neves, R.; Lamb, T.; Johann, L. B. 2008. Potencial alelopático da cultura da Canola (*Brassica napus L. var. oleifera*) na supressão de picão-preto (*Bidens sp.*) e soja. *Revista Brasileira Agrociência (Pelotas)*. 14 (2): 239-248.

21. Rosa, E. A. S.; Heaney, R. K.; Fenwick, G. R.; Portas, C. A. M. 1997. Glucosinolates in crop plants. *Horticultural Reviews*. 19: 99–215.
22. Sampietro, D. A. 2003. Alelopatía; concepto, características, metodología de estudio e importancia. (en línea). San Miguel de Tucumán, AR, Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. s.p. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en <http://www.ual.es/personal/edana/bot/mh/complemento/docufijos/evalelo.htm>.
23. Spiassi, A.; Teixeira Fortes, A. M.; Pereira, D.; Senem, J.; Tomazoni, D. 2011. Alelopatia de palhadas de coberturas de inverno sobre o crescimento inicial de milho. *Ciências Agrárias (Londrina)*. 32 (2): 577-582.
24. Tawaha, A. M.; Turk, M. A. 2003. Allelopathic effects of black mustard (*Brassica nigra*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 189: 298-303.
25. Tokura, L. K.; Nóbrega, L. H. 2006a. Alelopatía de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. *Maringá*. 28 (3): 379-384.
26. _____; _____. 2006b. Potencial alelopático de cultivos de cobertura vegetal no desenvolvimento de plântulas de milho. *Maringá*. 27 (2): 287-292.
27. Wardle, D. A.; Nilsson, M. C.; Gallet, C.; Zackrisson, O. 1998. An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biological Reviews*. 73: 305-319.
28. Yasumoto, S.; Suzuki, K.; Matsuzaki, M.; Hiradate, S.; Oose, K.; Hirokane, H.; Okada, K. 2011. Effects of plant residue, root exudate and juvenile plants of rapeseed (*Brassica napus* L.) on the germination, growth, yield, and quality of subsequent crops in successive and rotational cropping systems. *Plant Production Science*. 14 (4): 339-348.