

# Evaluación del efecto alelopático del centeno como cultivo antecesor

Trabajo de Intensificación para optar el título de Ingeniero Agrónomo

**Julián Francisco Diez Ochoa**

**Docente tutor:** Ing. Agr. (Dra.) María de las Mercedes Longás  
**Docentes consejeros:** Ing. Agr. (Dr.) Guillermo Rubén Chantre  
Ing. Agr. (Dr.) Ricardo Mario Sabbatini



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**  
**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**  
Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina  
6 de agosto de 2021



## ÍNDICE

RESUMEN .....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Efectos de las malezas.....	<a href="#">6</a>
1.2. Estudio de la alelopatía .....	6
1.3. Alelopatía en los agroecosistemas.....	9
1.4. Objetivos .....	¡Error! Marcador no definido.
2. MATERIALES Y METODOS.....	11
2.1. Sitio de estudio .....	11
2.2 Seguimiento de emergencia de malezas a campo en un cultivo de cebada.....	12
2.3. Seguimiento satelital del lote .....	13
2.4 Ensayo de alelopatía en laboratorio .....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. Análisis estadísticos Análisis de datos.....	¡Error! Marcador no definido.
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1 Seguimiento de emergencia de malezas .....	18
3.2 Seguimiento satelital del lote.....	20
3.3 Ensayo de alelopatía en laboratorio.....	21
4. CONCLUSIÓN .....	25
5. BIBLIOGRAFIA .....	¡Error! Marcador no definido.
6. ANEXO .....	28
6.1 Análisis de la varianza .....	28

## RESUMEN

La presencia de malezas en un cultivo está influenciada por las prácticas agrícolas asociadas. La incorporación de cultivos de coberturas con propiedades alelopáticas, en la rotación, podría disminuir el efecto de las malezas. Los objetivos de la presente tesis incluyeron estudiar el efecto del cultivo antecesor sobre el porcentaje de emergencia de malezas y su distribución en el tiempo durante el ciclo de un cereal de invierno en el SO de la provincia de Buenos Aires y evaluar el posible efecto alelopático del centeno sobre cebada cervecera y *Lolium* sp. Para tal fin se realizaron tres ensayos: (i) se evaluó la dinámica de emergencia y composición florística de la comunidad de malezas dentro un lote con cebada proveniente de centeno (SC) y otro de maíz (SM) en el Campo Experimental Napostá. (ii) Se realizó seguimiento del cultivo de cebada mediante imágenes satelitales a fin de detectar la influencia del cultivo antecesor en su desarrollo. (iii) Se evaluó en laboratorio el posible efecto alelopático de extractos de agua de hojas o raíces de centeno en macollaje o encañazón, así como de suelo proveniente de un lote cuyo antecesor fue centeno, de suelo aledaño a las raíces de centeno en macollaje o encañazón y del rastrojo de centeno remanente sobre la superficie del suelo sobre la germinación y el crecimiento inicial de la cebada y el *Lolium*. Las principales malezas registradas a campo fueron *Lolium* sp., con mayor abundancia en el SC, y *Avena fatua* predominando en el SM. La lectura de las imágenes satelitales sugiere una menor velocidad de desarrollo para la cebada cuando el cultivo antecesor fue centeno pudiendo deberse a la presencia de compuestos alelopáticos. La germinación de *Lolium* fue estimulada ( $p < 0,05$ ) en tratamientos con centeno especialmente en encañazón. Las semillas de cebada germinadas que presentaron coleoptile a las 48 h de embebidas fue menor en tratamientos de suelo relacionados con centeno ( $p < 0,05$ ) y el largo y número de raicillas disminuyó en los tratamientos con centeno ( $p < 0,05$ ). De los resultados se desprenden las siguientes conclusiones: (a) el centeno ejerce un efecto alelopático positivo sobre la germinación y emergencia del *Lolium* y negativo sobre el crecimiento de la cebada. (b) El efecto alelopático del centeno en el suelo se mantiene a campo por lo menos durante siete u ocho meses luego de su cosecha. (c) El rastrojo de centeno remanente posee compuestos alelopáticos que llegan a la superficie del suelo, probablemente, mediante lixiviación. Es importante difundir información de cultivos que posean efectos alelopáticos, dado que son una herramienta clave en el manejo integrado en los sistemas agropecuarios. Su uso apropiado puede contribuir notablemente a bajar la carga de herbicidas, lo cual resultaría en una menor contaminación ambiental. Es pertinente seguir investigando acerca de cómo implementar

correctamente una estrategia de manejo en este tipo de cultivos, en relación al estado fenológico y su potencial alelopático.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La vegetación es la resultante de la acción de los factores ambientales y antrópicos sobre el conjunto interactuante de las especies que cohabitan en un espacio continuo (Matteucci & Colma, 1982). De esta manera, la presencia de malezas en un cultivo está influenciada por las prácticas agrícolas asociadas. Por ejemplo, la incorporación de cultivos de cobertura (o cultivos de servicio) pueden afectar la germinación, la emergencia y el crecimiento de las malezas en función de la biomasa producida y/o liberación de sustancias alelopáticas.

### **1.1 Efectos de las malezas**

Se considera maleza a toda especie vegetal que interfiere con la utilización de recursos necesarios para el óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo implantado por el hombre; y/o que afectan la economía, el bienestar o la salud del ser humano (Fernández *et al.*, 2018). Además, pueden hospedar insectos y patógenos dañinos para las plantas cultivadas y/o causarles toxicidad mediante exudados radicales y/o filtraciones de las hojas. En el momento de la cosecha, son capaces interferir con la misma, incrementar los costos de tales operaciones e incluso contaminar la producción con sus semillas (Khawar *et al.*, 2015).

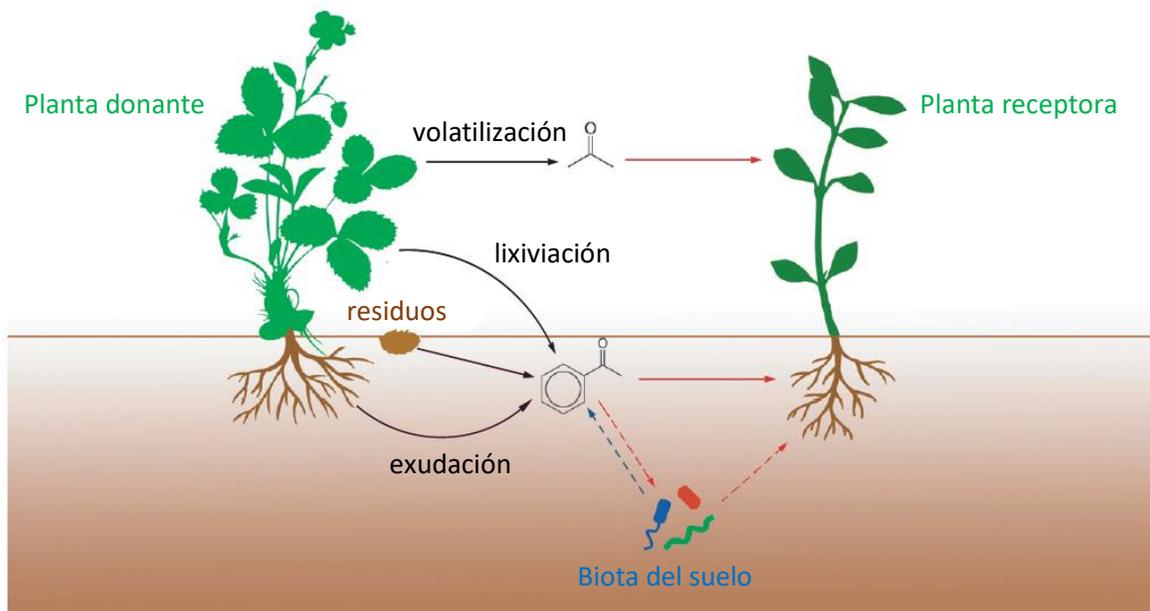
En los sistemas agrícolas actuales el uso intensivo de herbicidas ha producido la aparición de malezas resistentes y tolerantes de difícil control. Esto ha generado un aumento en los costos de control de malezas y un considerable impacto ambiental (Principiano y Acciaresi, 2017). Por estas razones, la implementación de un manejo integrado donde se utilicen diferentes estrategias de control, resulta prioritario.

Un manejo racional de malezas trae aparejado consecuencias positivas tanto económicas como ecológicas donde la más relevante es la reducción en el uso de herbicidas. La prevención es una estrategia vital para tal fin. Intervenciones adecuadas antes de que poblaciones de malezas alcancen magnitudes que provoquen que su control sea costoso o imposible, requieren del conocimiento de la composición florística del lote. Esto hace necesaria una adecuada identificación de malezas, el entendimiento de su ciclo biológico y su respuesta ante las prácticas agronómicas habitualmente empleadas.

### **1.2 Estudio de la alelopatía**

Se entiende por alelopatía al fenómeno tanto inhibitorio como estimulador de una especie sobre otra, debido a la liberación de compuestos químicos (Zhang *et al.*, 2021). La “planta donante”

es quien libera dichas sustancias (aleloquímicos) al ambiente vía volatilización o lixiviado de partes aéreas de la planta, exudados radicales, lixiviación desde los residuos de las plantas o por descomposición de la materia orgánica (Chick y Kielbaso, 1998; Anaya, 1999; Fig. 1). El modo de liberación depende de la naturaleza química del compuesto. Los mismos, al ser incorporados por la “planta receptora” desencadenan un efecto, perjudicial o benéfico, sobre su germinación, crecimiento o desarrollo (Sobrero y Acciaresi, 2014).



**Figura 1.** Vías de liberación y efectos de los compuestos alelopáticos. La planta donante (izquierda) puede liberar aleloquímicos a través de cuatro vías (flechas negras): lixiviación por lluvia, descomposición de residuos vegetales, exudación de raíces y volatilización. Los aleloquímicos pueden afectar la planta receptora (derecha) directamente (flechas rojas) o indirectamente a través de su efecto sobre la biota del suelo (flechas rojas discontinuas). La biota del suelo también puede afectar a los aleloquímicos mediante su conversión o degradación (flecha azul discontinua). Adaptado de Zhang *et al.*, 2021.

La magnitud y dirección de los efectos producidos por los aleloquímicos van a estar condicionadas por diversos factores. Por un lado, las sustancias alelopáticas producidas dependen de características genéticas de la planta donante, la vía de liberación, el órgano de la planta del cual provenga y la etapa fenológica y de algunos factores ambientales como la humedad del suelo, la temperatura y la luminosidad (Zeng *et al.*, 2008; Sobrero y Acciaresi, 2014; Zhang *et al.*, 2021). Por otro lado, la actividad alelopática va a depender de la especie receptora y su sensibilidad al estadio fenológico (Tongma *et al.*, 1998).

Otros aspectos influyentes en los efectos alelopáticos incluyen la historia evolutiva, especialmente la distancia filogenética (Zhang *et al.*, 2021). Asimismo, las diferentes sensibilidades a un mismo compuesto aleloquímico presentadas por diversas especies vegetales puede

relacionarse con la domesticación (Sera, 2012). Las especies cultivadas están menos expuestas a la interferencia con otras especies (por ejemplo, malezas), ya que con frecuencia están protegidas por los seres humanos. En consecuencia, es menos probable que se las seleccione por la capacidad de inhibir a otras especies o por tolerar la inhibición por parte de otras especies (Meiners *et al.* 2012).

Existen diferentes métodos de estudio para evaluar las diversas vías de liberación de los compuestos aleloquímicos, los cuales se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Métodos para evaluar alelopatía. Adaptado de Zhang *et al.*, 2021.

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>	<b>Vía de liberación</b>
Extractos	Se hacen extractos remojando biomasa vegetal de la planta donante en agua o en una mezcla de agua y solvente orgánico por un lapso de tiempo. Luego el extracto es aplicado sobre las plantas a testear.	Lixiviación, exudación.
Residuos	Biomasa vegetal (rastrojo o fresca) de la planta donante es directamente incorporada en el sustrato de la planta a testear.	Residuos.
Exudados	La planta donante se cultiva en un medio artificial donde luego se harán crecer plantas receptoras.	Exudación.
Volátil	Las plantas receptoras son cultivadas en presencia de las plantas donantes, pero sin contacto físico.	Volatilización.
Suelo	Se recolecta suelo de donde se desarrolló la planta donante para ser usado como sustrato de la planta receptora.	Lixiviación, exudación, residuos.
Carbón activado	El carbón activado se usa para absorber aleloquímicos y de esta manera neutralizar su efecto.	Lixiviación.
Extracción con solventes	Se extraen sustancias a ser lixiviadas por la planta donante con solventes orgánicos. Dichas sustancias con luego aplicadas a las plantas a testear.	Lixiviación.

Si bien los resultados que se obtienen en laboratorio utilizando extractos de plantas donantes son de utilidad para entender diversos fenómenos alelopáticos, los mismos suelen diferir respecto a las respuestas observadas en condiciones naturales en el suelo. En el suelo, la toxina es parte de interacciones bióticas y abióticas, la gran diversidad y complejidad de factores que actúan sobre ella incluyen la temperatura, el pH, el tipo, la textura y edad del suelo, la adsorción de componentes activos, el porcentaje de humedad y la acción de los microorganismos (Šerá, 2012).

A campo, en el medio edáfico, surge la dificultad para establecer la fuente emisora de un compuesto alelopático aislado (Šerá, 2012). A su vez, compuestos liberados por plantas superiores pueden ser alterados por microorganismos en el suelo, antes de que ejerzan su acción sobre la planta receptora (Tongma *et al.*, 1998).

### 1.3 Alelopatía en los agroecosistemas

La incorporación de cultivos alelopáticos en la rotación puede ser una estrategia que colabore, junto a otras técnicas de manejo, a prevenir y contener la aparición de malezas. De esta manera el control de malezas no se centra en la eliminación de las mismas en el corto plazo, sino que se enfoca dentro de un manejo integrado (MIM) planificado (Metzler, 2015).

Dentro de este contexto se pueden utilizar los cultivos de cobertura (CC). Los mismos son sembrados en el lapso de tiempo que el lote se libera entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo, pastoreados o cosechados. Los CC ofrecen como beneficios contribuir en el control de malezas, mejorar el balance de C y fijar N atmosférico, atenuar los efectos de la erosión eólica e hídrica, mejorar la captación de agua y reducir encharcamientos o encostramiento, reducir riesgos de salinización por ascenso capilar desde napas, reducir evaporación incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil y mejorar la actividad biológica del suelo, entre otros (Álvarez *et al.*, 2013).

La habilidad de los CC para suprimir el crecimiento de las malezas está relacionada con la cantidad de biomasa que los mismos producen (Liebman y Davis, 2000) y/o con la liberación de sustancias inhibitorias (efecto alelopático) (Putman, 1988; Mohler y Teasdale, 1993; Teasdale, 1996). Especies utilizadas como CC con propiedades alelopáticas incluyen al centeno, algarroba, trébol carmesí, trigo sarraceno, alfalfa, cebada, colza, avena y sorgo. Los compuestos alelopáticos pueden actuar contra las malezas mientras el CC esté en crecimiento, así como cuando la biomasa del cultivo de cobertura se incorpore al suelo (De Decker, 2015).

La utilización de residuos alelopáticos como una herramienta de manejo en los cultivos, puede ser uno de los usos más prácticos y aplicables de la alelopatía en los agroecosistemas. Conocer el efecto de los CC sobre los cultivos permite utilizar las prácticas agronómicas más convenientes en cada caso; entre ellas, establecer los patrones de siembra y secuencia de rotación para evitar de esta manera reducir el banco semillas y la emergencia de malezas en el cultivo siguiente.

Un empleo estratégico de los CC aumentaría la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios y disminuiría el uso de insumos contaminantes (Sampietro, 2003<sup>1\*</sup>). Para lograr un mejor aprovechamiento de los agentes alelopáticos es necesario ampliar el conocimiento de los mismos en relación a la rotación de cultivos, manejo de residuos, prácticas de labranza y la implementación de control biológico de malezas (Sampietro, 2003<sup>1\*</sup>).

## **1.4 Objetivos:**

### **Objetivo general**

Estudiar el efecto del cultivo antecesor sobre el porcentaje de emergencia de malezas y su distribución en el tiempo durante el ciclo de un cereal de invierno en el SO de la provincia de Buenos Aires.

Evaluar el posible efecto alelopático del centeno sobre cebada cervecera y *Lolium spp.*

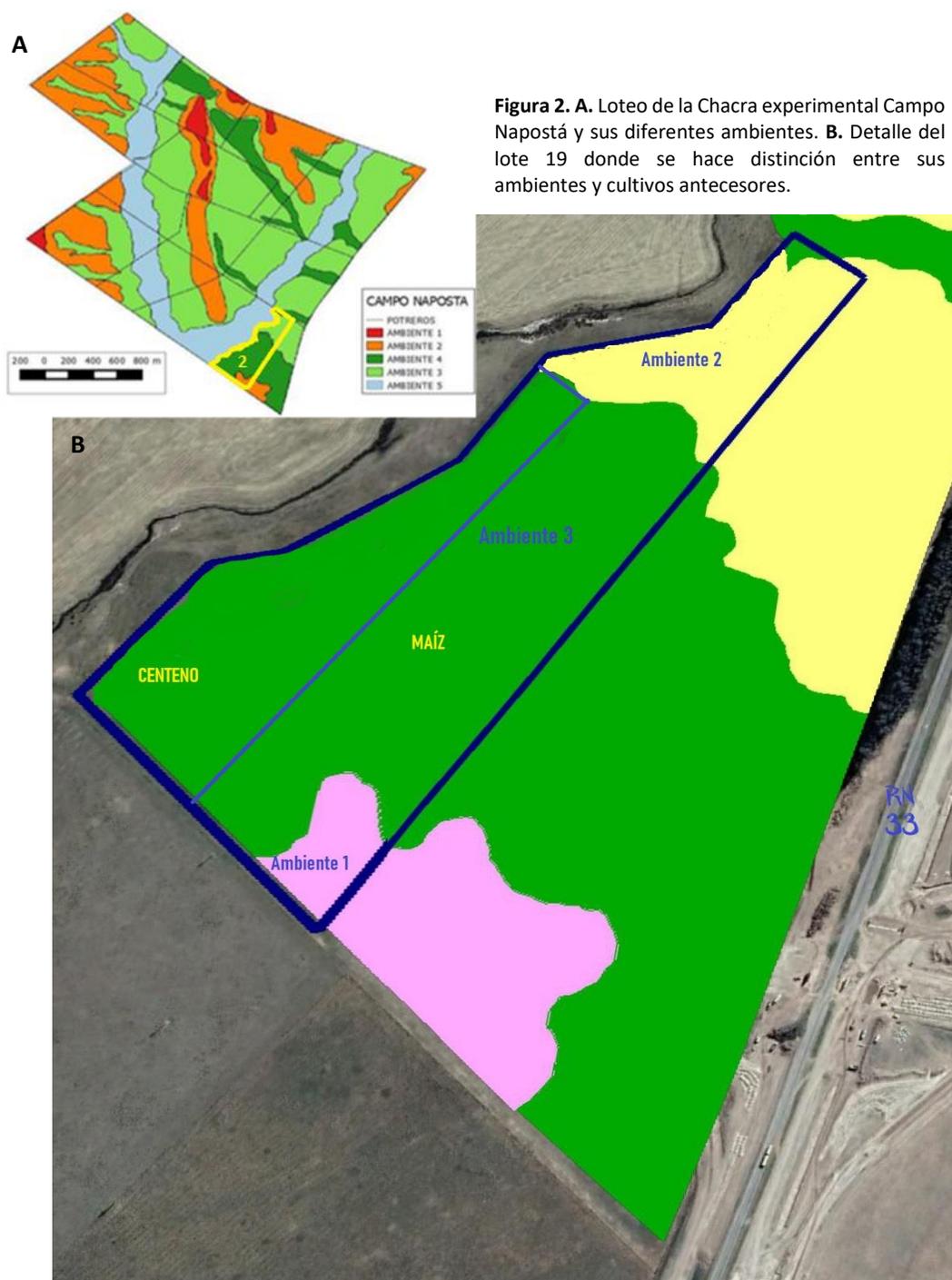
### **Objetivos específicos**

- Evaluar la dinámica de emergencia y composición florística de la comunidad de malezas dentro un lote proveniente de centeno y otro de maíz, considerando los diferentes ambientes del sitio.
- Realizar el seguimiento del cultivo mediante imágenes satelitales a fin de detectar la influencia del cultivo antecesor en su desarrollo.
- Evaluar en laboratorio el posible efecto alelopático de extractos de agua de hojas o raíces de centeno en macollaje o encañazón sobre la germinación y el crecimiento inicial de cebada cervecera y *Lolium spp.*
- Evaluar en laboratorio el posible efecto alelopático de suelo proveniente de un lote cuyo antecesor fue centeno, de suelo aledaño a las raíces de centeno en macollaje o encañazón y del rastrojo de centeno remanente sobre la superficie del suelo sobre la germinación y el crecimiento inicial de la cebada y el *Lolium*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio de estudio

Las evaluaciones se desarrollaron durante el año 2019, en el lote N° 2 del Campo Experimental Napostá, convenio UNS y MDA-PBA, ubicado en la ruta N° 33, Km 35 ( $38^{\circ}25'30''$  LS,  $62^{\circ}17'15''$  LO). El lote posee una superficie de 19 ha (Fig. 2) y en él se cultivaba cebada cervecera.



El lote N° 2 cuenta con tres ambientes edáficos (Fig. 2):

Ambiente 1 (capacidad de uso de suelo VI<sub>s</sub>): caracterizado por sus suelos someros y por poseer una profundidad a la tosca de entre 20 y 50 cm. Presenta textura arenosa-franca, drenaje excesivo, alta susceptibilidad a la erosión y un índice de productividad de 18 %.

Ambiente 2 (laderas; capacidad de uso de suelo IV<sub>e</sub>): al igual que el ambiente anterior presenta drenaje excesivo, pero con una mayor profundidad a la tosca variando entre 50 y 100 cm. La textura es franco-arenosa, la estructura débil y las pendientes variables (entre 3 y 8 %) dando lugar a una alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. Posee un índice de productividad del 37 %.

Ambiente 3 (capacidad de uso de suelo III<sub>e</sub>): los suelos presentan una textura franco-arenosa a franca con buena estructura y se encuentran bien provistos de materia orgánica., El drenaje es bueno y la tosca se haya a una profundidad entre 100 y 150 cm y Las pendientes se exhiben con una variabilidad del 2 al 6 % generando moderada susceptibilidad a la erosión hídrica, y un índice de productividad del 48 %.

En función del cultivo antecesor, en el lote se pueden diferenciar dos sectores. Un área de cinco hectáreas, ubicadas en el ambiente 3, provenientes de un centeno utilizado como cultivo de cobertura (SC, sector centeno). Las 14 ha restantes tuvieron como antecesor a un cultivo de Maíz (SM, sector maíz) destinado a la ganadería contando con los tres ambientes edáficos.

## **2.2 Seguimiento de emergencia de malezas sobre un cultivo de cebada**

El 10 de junio se realizó la siembra de *Hordeum vulgare* var. andreaia bajo labranza cero. El cultivo emergió una semana después. Una vez registrada la emergencia se dispusieron aleatoriamente las unidades experimentales (UE) para realizar el seguimiento de la emergencia de las malezas. Cada UE contó con una superficie de 0,25 m<sup>2</sup> y se marcó con estacas, las cuales quedaron fijas hasta la finalización del muestreo.

En el SC se ubicaron 10 UE. En el SM se distribuyeron 25 UE, de las cuales cinco se encontraron en ambiente 1, diez en el ambiente 2 y otras diez en el ambiente 3. Con el fin de evitar pérdidas de estacas y poder ilustrar el experimento las Unidades experimentales fueron georreferenciadas con equipo GPS Garmin (Fig. 3).

Debido a las inclemencias climáticas la frecuencia de muestreo fue variable realizándose el 14/06/19, 19/07/19, 23/08/19, 19/09/19 y el 3/10/19. La técnica empleada fue “destruktiva”, es

decir que para cada fecha se tomaban los registros de emergencia de plántulas y posteriormente realizaba la eliminación de las mismas.



**Figura 3.** Superficie del lote N° 2 del Campo Experimental Napostá luego de la siembra de cebada cervecera. **a.** Rastrojos de los cultivos antecesores: a la izquierda maíz y a la derecha centeno. **b.** Colocación de las unidades experimentales para el seguimiento de la emergencia a campo y toma de muestra de suelo.

### 2.3 Seguimiento satelital del lote

Para el seguimiento mediante imágenes satelitales se registró el lote en la aplicación Auravant<sup>®2\*</sup>. Esta aplicación es una plataforma integral para el desarrollo de la agricultura de precisión, que digitaliza los diferentes puntos del terreno para que el productor y/o agrónomo pueda monitorear y gestionar el campo de manera permanente.

Para el seguimiento particular del lote, se utilizaron ocho imágenes de NDVI (Fig. 9), las primeras tres corresponden a los primeros estadios fenológicos de la cebada, las siguientes imágenes restantes a estadios de macollaje avanzado y encañazón. La última imagen de NDVI (Fig. 9) corresponde al estadio de precosecha.

### 2.4 Ensayo de alelopatía en laboratorio

Con el objetivo de evaluar el efecto alelopático del centeno sobre la cebada y *Lolium* se cuantificó la germinación, y en el caso del centeno también el largo de la radícula, de dichas especies bajo diferentes sustratos en condiciones controladas.

Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Tratamientos para evaluar alelopatía.

<b>Método</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
Testigo	T <sub>0</sub>	Suelo proveniente del antecesor maíz
	C <sub>v</sub>	Suelo proveniente del antecesor centeno
	C <sub>a</sub>	Suelo junto a la raíz de centeno en estado de macollaje
Suelo	C <sub>b</sub>	Suelo junto a la raíz de centeno en estado de encañazón
	H <sub>a</sub>	T <sub>0</sub> + Extracto de la hoja en estado de macollaje
	H <sub>b</sub>	T <sub>0</sub> + Extracto de la hoja en estado de encañazón
Lixiviación	Z <sub>a</sub>	T <sub>0</sub> + Extracto de raíz joven
	Z <sub>b</sub>	T <sub>0</sub> + Extracto de raíz vieja
Residuo	R	T <sub>0</sub> + Rastrojo de centeno

En una primera instancia se recolectaron muestras de suelo en el SC, correspondiente al tratamiento C<sub>v</sub>, y en el SM (Fig. 3b). Todas las muestras fueron tamizadas. El suelo recolectado en el ambiente 3 del SM fue utilizado como testigo (T<sub>0</sub>). Paralelamente se recolectaron restos de rastrojo de centeno en SC para utilizar en el tratamiento R y plantas de centeno cultivado en un lote lindero. Este último hecho tuvo lugar en dos oportunidades: al macollaje y en encañazón.

Las muestras vegetales fueron secadas a temperatura ambiente durante 72 h. El rastrojo fue fraccionado manualmente en trozos de  $\leq 3$  cm de largo, así como la biomasa aérea y subterránea (Fig. 4c-d). El suelo recolectado de las raíces fue tamizado (tratamientos C<sub>a</sub> y C<sub>b</sub>; Fig. 4.a). Para el tratamiento R se utilizaron 2,22 g de rastrojo por UE (Fig. 4b).

Para realizar los extractos correspondientes a los tratamientos H<sub>a</sub>, H<sub>b</sub>, Z<sub>a</sub> y Z<sub>b</sub> se colocaron 12 g de cada material a evaluar en 150 ml de agua destilada y se dejó reposar durante 24 h en oscuridad a temperatura ambiente (Fig. 4f). El contenido fue filtrado con papel de filtro (Fig. 4g) y luego centrifugado a 10000 rpm durante diez minutos (Fig. 4h). El sobrenadante resultante se colocó en el freezer en tubos de ensayos previamente esterilizados hasta el momento del ensayo (Petcu *et al.*, 2017).

Previo al ensayo se estimó la viabilidad de las semillas de ambas especies a evaluar, la cual alcanzó valores cercanos al 98 %. El día 30 de agosto de 2019 se sembraron las cajas de Petri con cebada, y por otro lado con raigrás colocando 50 semillas en cada UE. Se siguió un modelo completamente aleatorizado con cuatro réplicas ( $N = 72 \rightarrow 2$  especies \* 9 tratamientos \* 4 réplicas).

Para los tratamientos H<sub>a</sub>, H<sub>b</sub>, Z<sub>a</sub> y Z<sub>b</sub> las cajas de Petri fueron llenadas suelo proveniente de SM (T<sub>0</sub>) hasta alcanzar una altura de 0,6 cm para luego ser regadas con 10 ml del extracto correspondiente. En el caso de T<sub>0</sub>, C<sub>v</sub>, C<sub>a</sub>, C<sub>b</sub> y R, las semillas sembradas fueron embebidas con 10 ml de agua destilada.

Las cajas se ubicaron al azar en una cámara de germinación a 18 °C. La germinación se cuantificó cada tres días durante dos semanas. En el caso de la cebada, a los tres días ya se encontraba la casi totalidad de las semillas germinadas por lo que se procedió a la medición de las radículas mediante el software de análisis de fotografía ImageJ®.

## **2.5 Análisis estadísticos**

Con los datos de emergencia a campo se graficó la dinámica de los ciclos de emergencia y la emergencia acumulada de las diferentes malezas en función del cultivo antecesor y el ambiente edáfico.

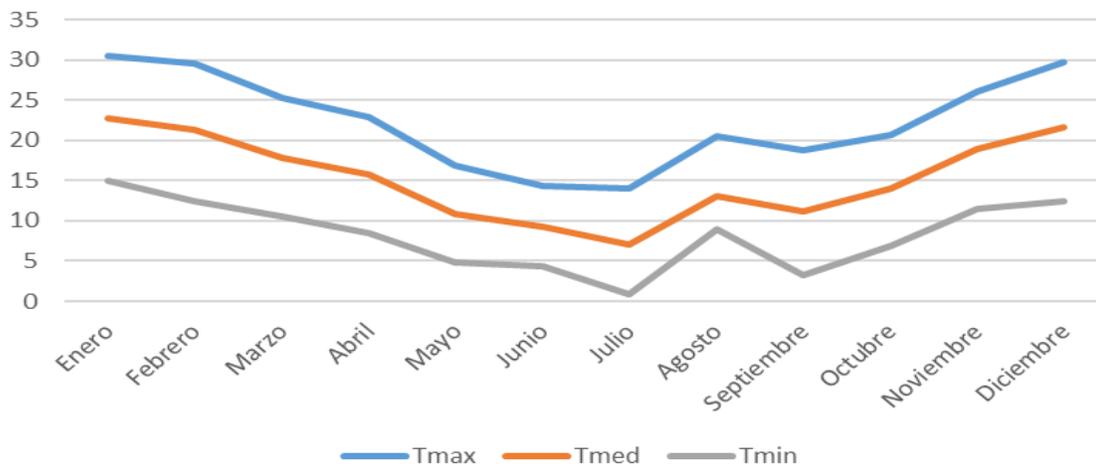
La germinación y los atributos morfológicos medidos fueron analizados mediante el test de ANOVA seguido del Test de Tukey mediante el software estadístico Infostat®.



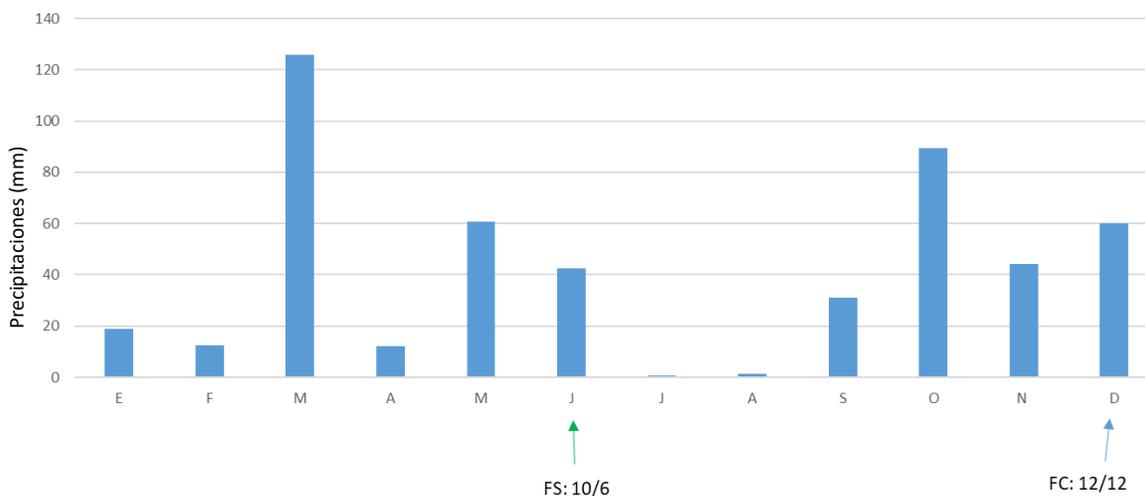
**Figura 4.** Desarrollo del ensayo en laboratorio. **a.** Cajas de Petri con suelo tamizado separado de las raíces del centeno en encañazón. **b.** Raíces lavadas de centeno en estado de encañazón previo a ser procesadas. **c.** Biomasa aérea de centeno al macollaje, seca al aire y fragmentada. **d.** Rastrojo siendo pesado en la balanza analítica perteneciente al laboratorio de Fitopatología de la UNS. **e.** Caja de Petri del tratamiento R (Tabla 2). **f.** Material vegetal utilizado para preparar los extractos. **g.** Filtrado de los extractos. **h.** Extracto centrifugado con su precipitado y su sobrenadante. **i.** Semillas de cebada germinadas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

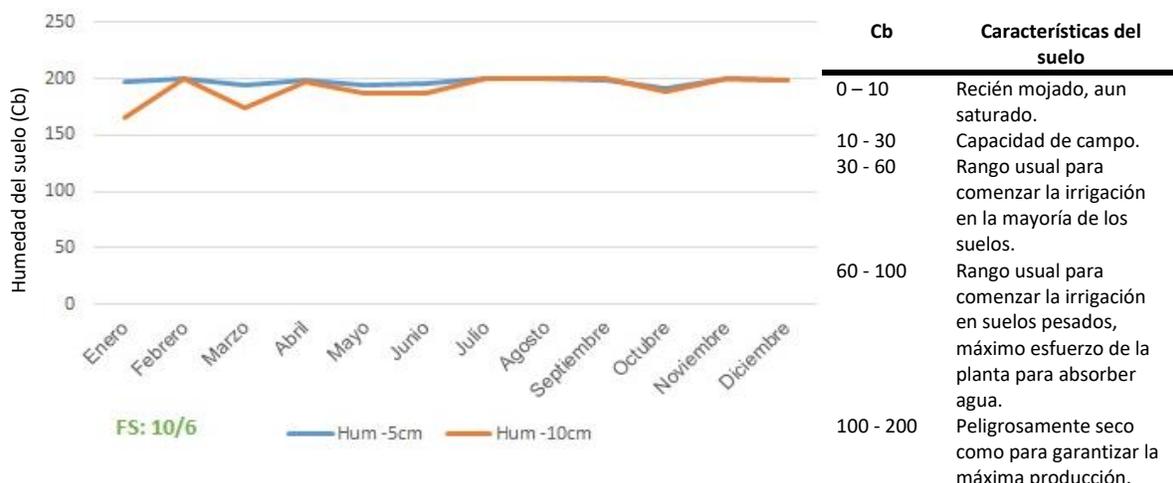
En las figuras 5-7 pueden observarse las temperaturas, precipitaciones y humedad del suelo en forma mensual para el Campo Experimental Napostá durante el 2019.



**Figura 5.** Temperatura máxima (Tmax), media (Tmed) y mínima (Tmin) promedio mensual para el Campo Experimental Napostá durante el 2019. Fuente EMA Napostá<sup>3+</sup>.



**Figura 6.** Precipitación mensual (mm) registrada para el Campo Experimental Napostá durante el 2019 (FS: fecha de siembra, FC: fecha de cosecha). Fuente EMA Napostá<sup>3+</sup>.

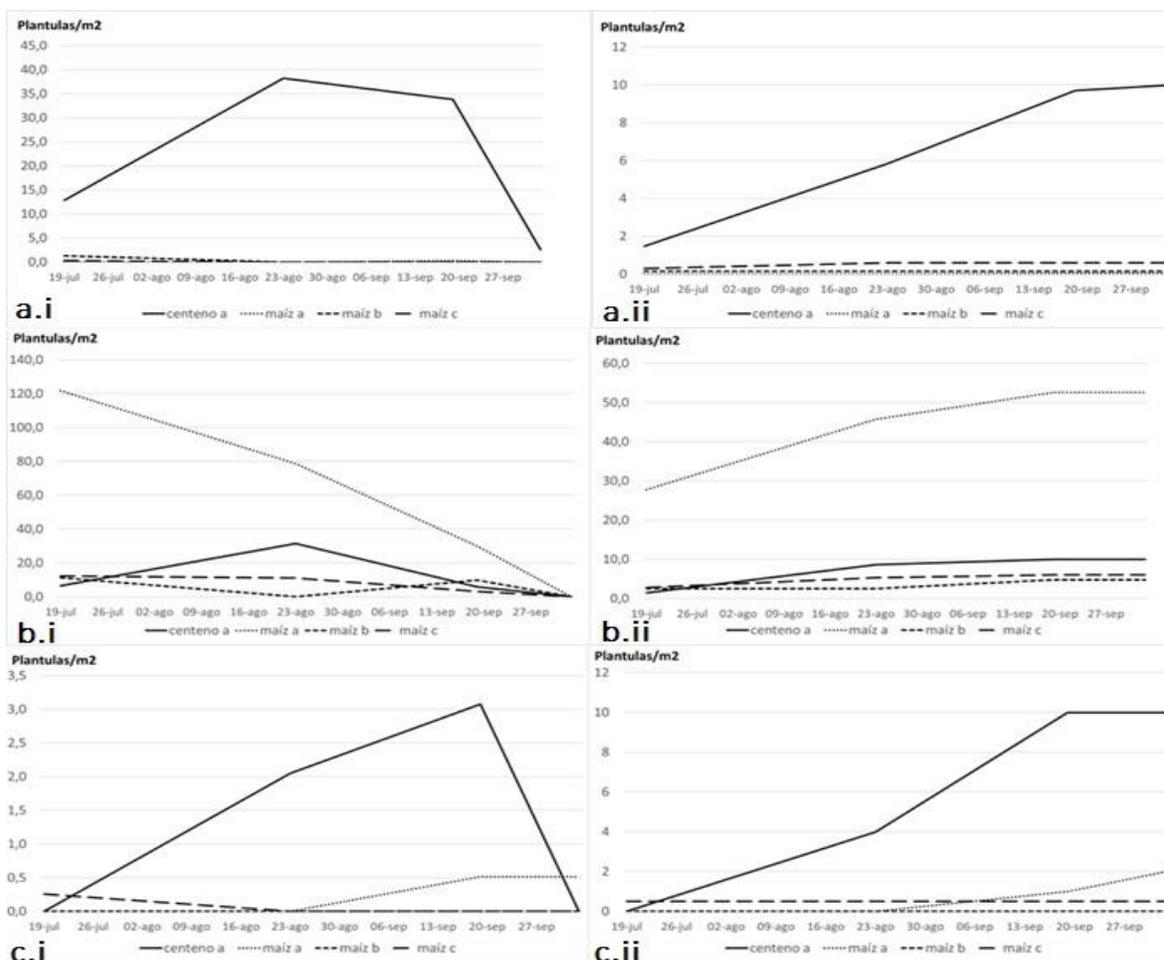


**Figura 7.** Humedad promedio mensual expresada en tensión de agua en el suelo (Cb) a dos profundidades (5 y 10 cm). Fuente EMA Napostá<sup>3+</sup>.

### 3.1 Seguimiento de emergencia de malezas

En la Fig. 8a.i se observan dos picos de emergencia de *Lolium* sp. El de mayor magnitud se registró a mediados de agosto y el otro a fines de septiembre. El SC fue el más perjudicado por dicha maleza mientras que el registro de emergencias de *Lolium* en SM fue muy bajo.

Si bien es muy difícil establecer las causas que justifican esta diferencia, es posible inferir al menos tres cuestiones. La primera, y más evidente es que al tratarse de dos antecesores diferentes, más el agregado de que uno es cultivo invernal (SC) y otro estival (SM), la dinámica de población de malezas fue totalmente diferente. Para el cultivo de maíz, el ciclo de la maleza en cuestión fue interrumpido por la acción de herbicidas en el barbecho del mismo, en particular la producción de semillas. Otra cuestión a tomar en cuenta es lo visto en las imágenes satelitales, donde se notaba un retardo en el crecimiento en las primeras fases fenológicas del cultivo de cebada en el sector SC. Este atraso en el desarrollo, pudo haber derivado en una baja competencia por parte del cultivo, favoreciendo el enmalezamiento. La última cuestión y no menos importante que las demás, son las precipitaciones, si observamos el gráfico veremos que en julio y agosto no hubo casi precipitación. Si analizamos la cobertura de ambos antecesores, la del SC fue mayor. Esto podría significar mayor eficiencia a la hora de almacenar agua por menor evapotranspiración y mejor infiltración. Dicho esto, si lo ponemos en un contexto de precipitaciones erráticas, podría haber contribuido a una mayor humedad en el sector SC, favoreciendo la germinación de malezas.



**Figura 8.** (i) Emergencia y (ii) emergencia acumulada para a) *Lolium sp.*, b) *Avena fatua* y c) *Bowlesia incana* durante un cultivo de cebada cervecera en el lote N° 2 del Campo Experimental Napostá para el sector cuyo antecesor fue centeno (ambiente 3) o maíz (ambiente 1, 2 y 3).

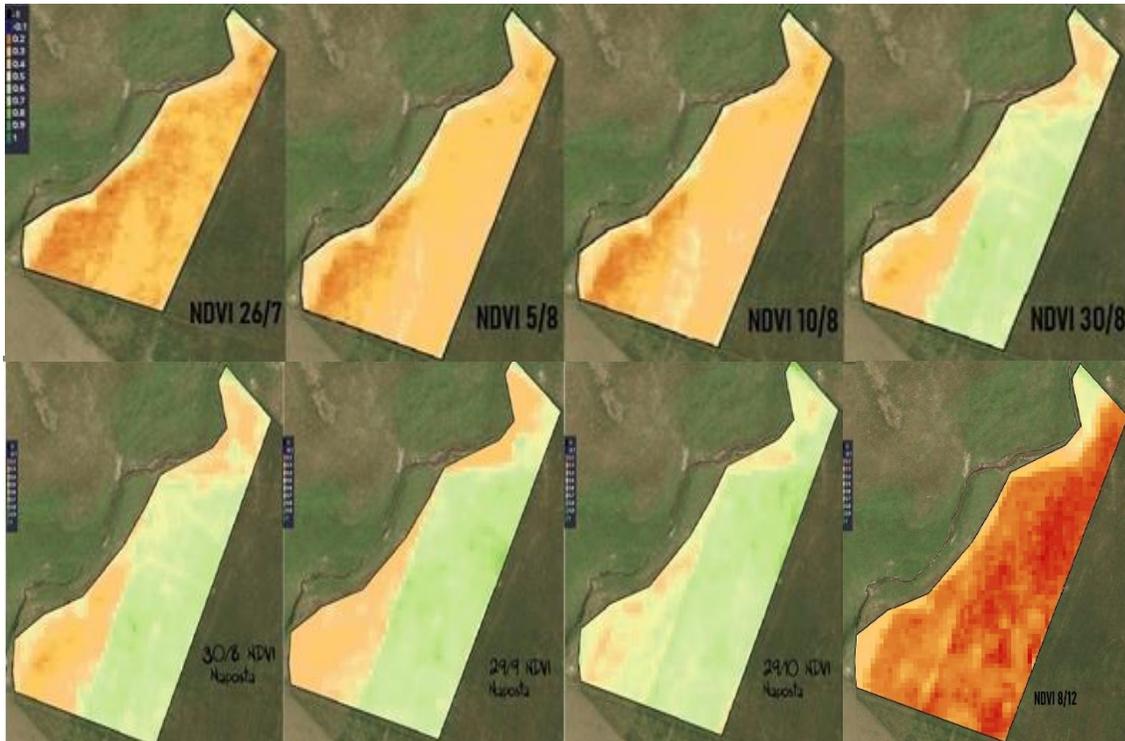
Cuando analizamos la emergencia promedio para *Avena fatua*, vemos que la tendencia se invierte y en este caso, el ambiente “1” del SM es el más perjudicado por la maleza. El pico máximo de emergencia, a diferencia de *Lolium*, se da al inicio de los muestreos (19 de Julio) mientras que la curva cae abruptamente conforme pasa el tiempo. La máxima emergencia acumulada se alcanza a principios de septiembre dado que no se registraron nuevos nacimientos posteriormente.

Para los demás ambientes dentro de SM, la emergencia acumulada fue considerablemente menor siendo el ambiente “2” el que menos emergencia registró. En cuanto al SC la emergencia acumulada promedio fue levemente superior a los ambientes 1 y 2 del SM mencionados anteriormente.

Otra maleza que apareció en el relevamiento fue *Bowlesia incana*, sin embargo, la abundancia fue considerablemente menor con respecto a las demás malezas analizadas previamente. En particular el SC fue el de mayor registro de emergencia promedio, siendo el pico a mediados de

septiembre, al igual que la emergencia acumulada promedio, este aumento en la emergencia pudo deberse a las mismas causas mencionadas para *Lolium* para el mismo sector (SM).

### 3.2 Seguimiento satelital del lote.



**Figura 9.** Imágenes satelitales del lote N° 2 del Campo Experimental Napostá durante el desarrollo del cultivo de cebada cervicera. En la parte superior se compara NDVI para estadios fenológicos tempranos, y en la parte inferior estadios avanzados hasta previo a cosecha.

Las imágenes satelitales constituyen una fuente de información extra a la hora de monitorear un cultivo, muchas veces pone en evidencia zonas que a simple vista en la inspección a campo no son fácilmente reconocibles. Entre la diversa información que nos puede arrojar comparar una imagen satelital en distintas fechas, se pueden observar las decisiones de manejo.

Los valores de NDVI se muestran según la escala de colores, valores cercanos a uno (color verde) indican vigorosidad de la vegetación mientras que cercanos a cero indican ausencia de vegetación o menor desarrollo del cultivo (color naranja).

En la figura 9, se comparan cuatro imágenes de NDVI correspondientes a los primeros estadios de la cebada. Se puede ver que para las fechas 26/7, 5/8 y 10/8 casi no hay variabilidad de NDVI, sin embargo, se nota levemente un color más claro (mayor NDVI) en el antecesor maíz. Dicha tendencia se confirma en la imagen del 30/8. Cuando observamos la parte inferior de la Figura 9 (estadios fenológicos avanzados), se puede notar claramente que existe dos zonas que contrastan,

las cuales pertenecen a los diferentes antecesores. Desde la fecha 30/8, se puede observar que en el sector SC (a la izquierda de la imagen), el desarrollo del cultivo fue considerablemente menor, coincidiendo observado en el lote durante las fechas muestreadas. La tendencia es la misma para la fecha 29/9, sin embargo, un mes posterior a misma, la existencia de dos zonas vistas anteriormente no son tan visibles. La imagen puede ser explicada desde el punto de vista fenológico del cultivo, donde un estadio más avanzado implica mayor desarrollo de biomasa, mayor NDVI, esto impide que se fácilmente distinguible las dos zonas con diferentes antecesores. Por otra parte, hay que tener en cuenta que en cultivos con canopeos densos o en etapas más avanzadas de desarrollo, la lectura del índice NDVI pierde precisión, por lo que se recomienda utilizar como complemento al GNDVI, ya que es más sensible a la variación de la clorofila en el cultivo que el índice NDVI y además presenta un punto de saturación más alto.

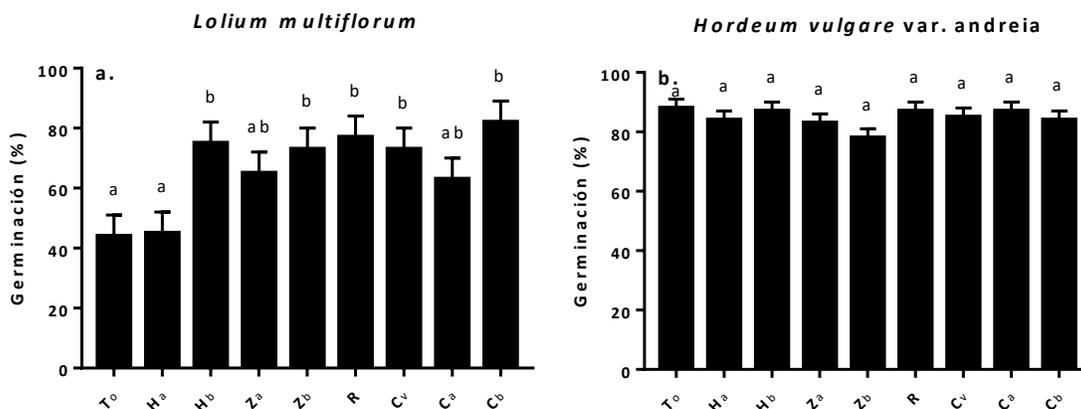
La lectura de las imágenes presentadas en la Fig. 9 indica que la cebada presentó una velocidad de desarrollo menor cuando el cultivo antecesor fue centeno. Este efecto pudo deberse a compuestos alelopáticos aún presentes en cantidades suficientes en el suelo o a la liberación de aleloquímicos, ya sea por lixiviación o degradación, desde el rastrojo remanente de centeno en la superficie del suelo. Finalmente, la cebada creciendo en el SC iguala en desarrollo a la que se desarrolla en el SM.

Por otro lado, el considerablemente menor NDVI observado en la cebada en SC se debe a una menor cobertura, quedando, por ende, mayores cantidades de recursos disponibles (agua, luz y nutrientes) para que proliferen las malezas. Esto podría explicar en parte los resultados obtenidos a campo en lo que respecta a la emergencia de *Lolium* y *B. incana*.

### **3.3 Ensayo de alelopatía en laboratorio**

En los ensayos de germinación con cebada como especie blanco no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,5905$ ; Fig. 10b). Por su parte, *Lolium* sp. aumentó la germinación bajo los tratamientos  $C_v$ ,  $Z_b$ ,  $H_b$  y  $R$  ( $p=0,0076$ ) hasta casi duplicarla en  $C_b$  (Fig. 10a). Este resultado concuerda con la mayor emergencia de la maleza observada en SC pudiéndose desprender la hipótesis que el centeno ejerce un efecto de alelopatía positiva sobre *Lolium*. Este resultado concuerda con lo observado recientemente por Soumoulou (2021), donde la germinación y la emergencia de *Lolium* fue estimulada al embeber semillas con extractos de *Secale cereale* var. Emilio y *S. cereale* var. Ewald y al sembrarse en suelo extraído de las raíces de dichas plantas. A su

vez, plántulas tratadas con extractos de *S. cereale* var. Emilio manifestaron una menor longitud y producción de biomasa.



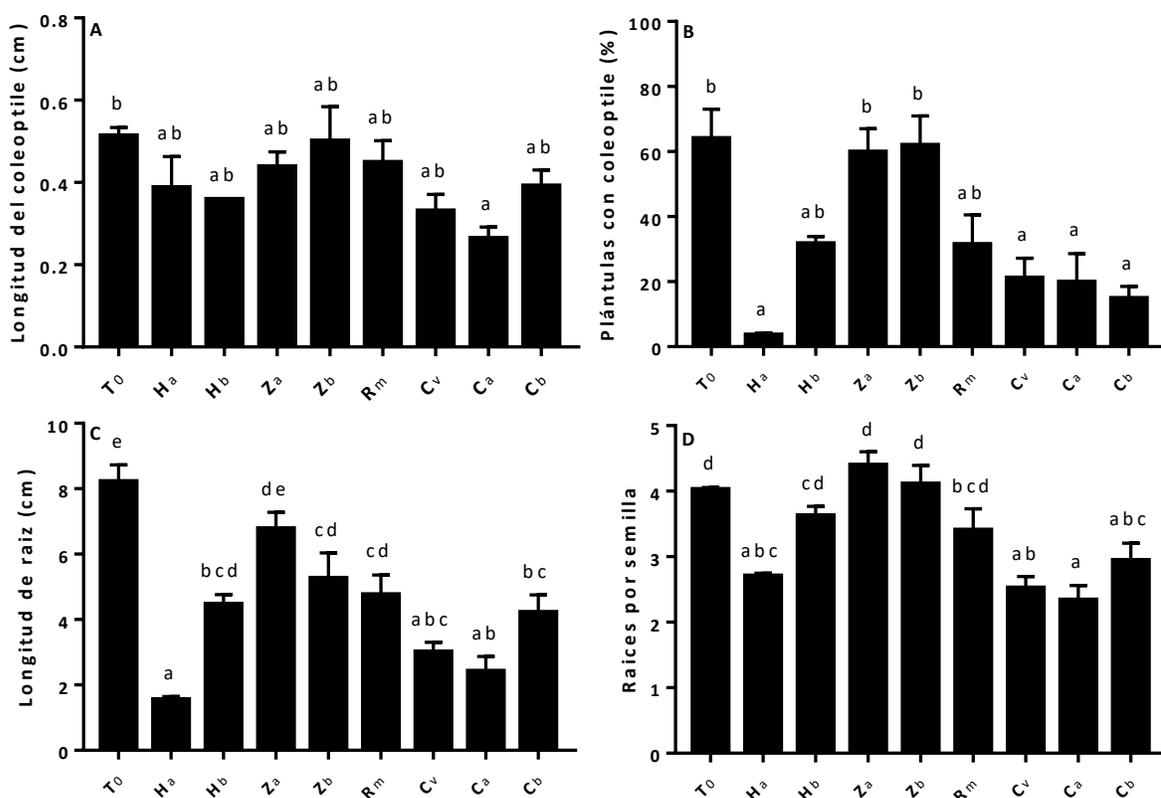
**Figura 10.** Porcentaje de germinación de **a.** *Lolium* sp. y **b.** *Hordeum vulgare* var. *andrea* al ser iincubadas bajo los diferentes tratamientos: T<sub>0</sub> (testigo, suelo con antecesor maíz), H<sub>a</sub> (extracto de hoja de centeno al macollaje), H<sub>b</sub> (extracto de hoja de centeno en encañazón), Z<sub>a</sub>, (extracto de raíz de centeno al macollaje), Z<sub>b</sub> (extracto de raíz de centeno en encañazón), R (rastrojo de centeno), C<sub>v</sub> (suelo con antecesor centeno), C<sub>a</sub> (suelo aledaño a las raíces de centeno al macollaje) y C<sub>b</sub> (suelo aledaño a las raíces de centeno en encañazón). Letras diferentes muestran diferencias significativas según el test de Tukey con un  $\alpha=5\%$ .

Si bien ningún tratamiento evidenció afectar la germinación en cebada, la cantidad de aleloquímicos presentes fueron suficientes para generar una alelopatía negativa en el crecimiento de la plántula. Los tratamientos H<sub>a</sub>, C<sub>v</sub>, C<sub>a</sub> y C<sub>b</sub> redujeron la cantidad de semillas que presentaban coleoptile ( $p < 0,0001$ ; Fig. 11B) como el número de raicillas por semilla ( $p < 0,0001$ ; Fig. 11D). El largo del coleoptile solo fue reducido por C<sub>a</sub> ( $p = 0,0212$ ; Fig. 11B) y el largo total de las raicillas por todos los tratamientos excepto Z<sub>a</sub> ( $p < 0,0001$ ; Fig. 11B). Por lo tanto, se infiere que el largo de las racillas fue la variable más sensible a los efectos aleloquímicos.

La Figura 11 muestra que en general el efecto inhibitorio fue más acentuado en los tratamientos empleando suelo circundante a las raíces de centeno (C<sub>a-b</sub>) que cuando se aplicaron los extractos de raíz (Z<sub>a-b</sub>). Esto podría explicarse por lo menos de dos maneras. Por un lado, es probable que los exudados de las raíces se acumulen en el suelo y la mayor concentración de aleloquímicos en comparación a las raíces generó la respuesta más marcada. Por otro lado, el efecto alelopático puede ser la resultante de la acción de los microorganismos, entre otras interacciones, no habiéndose replicado este efecto en el ensayo, ya sea por tiempo o por la ausencia o variación de algún otro factor, como por ejemplo temperatura.

A su vez, los efectos tendieron a magnificarse en los tratamientos a base de centeno en estado de macollaje. Es difícil determinar la causa dado que son varios los factores que pueden afectar las exudaciones en las raíces producidas por una especie determinada. Dentro de ellos los más

importantes serían: edad de la planta, temperatura, luz, nutrición, medio de cultivo y enfermedades en las raíces.



**Figura 11.** Respuesta alelopática al centeno por semillas germinadas de cebada a las 48 horas de incubación bajo los diferentes tratamientos: T<sub>0</sub> (testigo, suelo con antecesor maíz), H<sub>a</sub> (extracto de hoja al macollaje), H<sub>b</sub> (extracto de hoja en encañazón), Z<sub>a</sub>, (extracto de raíz al macollaje), Z<sub>b</sub> (extracto de raíz en encañazón), R<sub>m</sub> (rastrojo de centeno), C<sub>v</sub> (suelo de antecesor centeno), C<sub>a</sub> (suelo aledaño a las raíces de centeno al macollaje) y C<sub>b</sub> (suelo aledaño a las raíces de centeno en encañazón). **(A)** Largo del coleoptile (±ES). **(B)** Proporción de semillas germinadas (±ES) con coleoptile. **(C)** Longitud de las raicillas (±ES) y **(D)** número de raicillas (±ES) por semilla germinada. Letras diferentes muestran diferencias significativas según el test de Tukey con un  $\alpha=5\%$ .

La edad de la planta posiblemente tenga influencia directa en la duración del efecto alelopático, esto se podría explicar de varias maneras, una de ellas es que, al estar la raíz en activo crecimiento, la concentración de compuestos alelopáticos probablemente sea mayor con respecto al C<sub>b</sub>. Otro factor a tener en cuenta sería la degradabilidad de los compuestos alelopáticos conforme pasa el tiempo a cargo de la micro fauna del suelo, lo que derivaría en una menor concentración de compuestos alelopáticos para el tratamiento C<sub>b</sub>. Todo esto necesita más experimentación para ser confirmado.



**Figura 11.** Semillas de cebada a las 48 h de incubación bajo los diferentes tratamientos (Tabla 2).

Las respuestas generadas por el tratamiento C<sub>v</sub> sugieren que el efecto alelopático se mantiene por lo menos durante siete u ocho meses luego de la cosecha del centeno. Sin embargo, más estudios son necesarios para dilucidar si dichos efectos son atribuibles a los exudados que provienen directamente de las raíces, a los microorganismos del suelo y/o si son liberados por la descomposición del rastrojo. En un estudio con *Tithonia diversifolia*, Tongma *et al.* (1998)

concluyeron que el efecto fitotóxico observado en diversas especies luego de la siembra de dicho cultivo era inducido por los componentes remanentes en el agua de la solución del suelo.

De los resultados expuestos se deduce que el rastrojo de centeno remanente posee compuestos alelopáticos que llegan a la superficie del suelo, probablemente, mediante lixiviación. Es probable que estas sustancias hayan sido liberadas durante el proceso de descomposición que el residuo estaba sufriendo en el campo y lavadas al regar la caja de Petri para embeber las semillas. Dado que los aleloquímicos liberados pueden sufrir una nueva transformación por acción de la microflora y microfauna presente tanto en el rastrojo como en el suelo, lo cual puede originar productos con una actividad biológica mayor que sus precursores (Sobrero y Acciaresi, 2014), nuevos ensayos serán necesarios para poder inferir los efectos detectados directamente a los compuestos liberados desde los residuos o a los metabolitos transformados por los microorganismos.

Cuando los residuos vegetales no son incorporados (siembra directa) se permite la acumulación de aleloquímicos en el estrato superficial del suelo, Los mismos son liberados y degradados más lentamente que si los residuos hubiesen sido incorporados (labranza convencional), generando una prolongación en el tiempo del efecto alelopático (Sobrero y Acciaresi, 2014). El retardo en el crecimiento observado en la cebada (Fig. 9) puede deberse, aunque no necesariamente de manera exclusiva, a los aleloquímicos liberados desde el residuo de centeno, su cultivo antecesor. Este modo de liberación debe ser tenido en cuenta al momento de emplear siembra directa con cultivos alelopáticos considerando, que el efecto puede variar en función del tipo del suelo, el volumen de residuo remanente y las condiciones de descomposición (Sobrero y Acciaresi, 2014).

#### **4. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados de emergencia obtenidos a campo se puede concluir un posible efecto alelopático positivo por parte del cultivo antecesor centeno sobre *Lolium* y *B. incana*. En el caso de *Lolium* posiblemente esto se deba a una estimulación de la germinación.

El cultivo de cebada, *H. vulgare* var. *andreaia*, mostró ser susceptible al efecto fitotóxico del centeno durante sus primeras fases de desarrollo. Posiblemente este retraso en el desarrollo se debió a los aleloquímicos procedentes del rastrojo superficial sumados a los remanentes en el suelo liberados junto a los exudados radicales.

Es importante difundir información de cultivos que posean efectos alelopáticos, dado que son una herramienta clave en el manejo integrado en los sistemas agropecuarios. Su uso apropiado puede contribuir notablemente a bajar la carga de herbicidas, lo cual resultaría en una menor contaminación ambiental. En varios lugares del mundo están experimentando con bio-herbicidas a base de sustancias naturales alelopáticas para la implementación de la agricultura orgánica.

Restaría seguir investigando acerca de cómo implementar correctamente una estrategia de manejo en este tipo de cultivos, en relación al estado fenológico y su potencial alelopático.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

Álvarez, C., A. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1ª ed. – La Pampa: Ediciones INTA. EEA INTA Anguil. ISBN: 978-987-679-177-9.

Fernández, O. A., E. S. Leguizamón & H. A. Acciaresi. 2014. Malezas e invasoras de la Argentina, Tomo I: ecología y manejo. Edi-UNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Jabran, K., G. Mahajan, V. Sardana & B. S. Chauhan. 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection* 72, 57-65

Leguizamón, E. S. 2005. El monitoreo de malezas en el campo. *Agro mensajes de la facultad*. 0452. Universidad de Rosario.

Matteucci, S. D. & A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Serie de biología, monografía n° 22.

Meiners, S. J., C. H. Kong, L. M. Ladwig, N. L. Pisula & K. A. Lang. 2012. Developing an ecological context for allelopathy. *Plant Ecology* 213, 1861–1867.

Metzler, M. 2015. El Manejo Integrado de Malezas (MIM). Manejo y control de malezas, INTA Paraná. *Revista Red de Innovadores, Aapresid*.

<http://www.aapresid.org.ar/blog/elmanejo-integrado-de-malezas-mim/26/02/2015>.

Petcu, E., N. Băbeanu & O. Popa. 2017. Screening methods for evaluating the allelopathic potential of wheat and triticale genotypes. *Scientific Papers-Series A, Agronomy* 60, 370-374.

Principiano, M. & H.A. Acciaresi. Costo financiero e impacto ambiental del control de malezas en diferentes secuencias de cultivos en el NO de la provincia de Buenos Aires. 2017. Revista de Tecnología Agropecuaria 10 (34), 37-41.

Šerá, B. 2012. Effects of Soil Substrate Contaminated by Knotweed Leaves on Seed Development. *Polish Journal of Environmental Studies* 21 (3), 713-717.

Sobreroa, M. T. & H. A. Acciaresi. 2014. Interferencia cultivo-maleza: la alelopatía y su potencialidad en el manejo de malezas. En: Malezas e invasoras de la Argentina, Tomo I: ecología y manejo. Edi-UNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Soumoulou, M. 2021. Estudios preliminares sobre el efecto alelopático de cultivares de Avena y Centeno sobre el establecimiento inicial de malezas anuales. Tesina para acceder al título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Bs. As., Argentina.

Tongma, S., K. Kobayashi & K. Usui. 1998. Allelopathic activity of Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) in soil. *Weed Science* 46(4), 432-437.

Zhang, Z., Y. Liu, L. Yuan, E. Weber & M. Van Kleunen. 2020. Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis. *Ecology Letters* 24, 348-362.

### **Páginas de internet**

<sup>1\*</sup>Sampietro D. A. 2003. Alelopatía. Conceptos, características, metodología de estudio e importancia.

[www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm](http://www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm).

Último acceso: 12-07-2021.

<sup>2\*</sup>[www.auravant.com/?gclid=CjwKCAjwrPCGBhALEiwAUl9X05myID-](http://www.auravant.com/?gclid=CjwKCAjwrPCGBhALEiwAUl9X05myID-)

[Y\\_WKfKcd8zXvNnUfy3EFzaU5uOPsKiYHomNR7mDzckHDUmRoCsZYQAvD\\_BwE](http://www.auravant.com/?gclid=CjwKCAjwrPCGBhALEiwAUl9X05myID-Y_WKfKcd8zXvNnUfy3EFzaU5uOPsKiYHomNR7mDzckHDUmRoCsZYQAvD_BwE)

Último acceso: 30-07-21

<sup>3\*</sup>Reporte de la cátedra de agrometeorología de la Estación Meteorológica EMA Napostá.

[www.uns.edu.ar/deptos/agronomia/1/novedades/1056#informe-estacion-meteorologica-ema-napost%C3%81](http://www.uns.edu.ar/deptos/agronomia/1/novedades/1056#informe-estacion-meteorologica-ema-napost%C3%81)

Último acceso: 28-12-19

AMBIENTES Y SUELOS A ESCALA DETALLADA (1:20.000) DEL ESTABLECIMIENTO NAPOSTA, DPTO. AGRONOMÍA-UNS.

## 6. ANEXO

### 6.1 Ensayo de germinación

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lolium sp.	36	0,50	0,36	22,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,59	8	0,07	3,42	0,0076
Trat	0,59	8	0,07	3,42	0,0076
Error	0,58	27	0,02		
Total	1,18	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,21347

Error: 0,0216 gl: 27

Trat Medias n E.E.

T0	0,44	4	0,07	A
T1	0,45	4	0,07	A
T7	0,63	4	0,07	A B
T3	0,65	4	0,07	A B
T6	0,72	4	0,07	B
T4	0,73	4	0,07	B
T2	0,75	4	0,07	B
T5	0,77	4	0,07	B
T8	0,82	4	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cebada	36	0,20	0,00	8,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,03	8	3,9E-03	0,82	0,5900
Trat	0,03	8	3,9E-03	0,82	0,5900
Error	0,13	27	4,8E-03		
Total	0,16	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,10024

Error: 0,0048 gl: 27

Trat Medias n E.E.

T4	0,78	4	0,03	A
T3	0,83	4	0,03	A
T1	0,84	4	0,03	A
T8	0,84	4	0,03	A
T6	0,85	4	0,03	A
T5	0,87	4	0,03	A
T2	0,87	4	0,03	A
T7	0,87	4	0,03	A
T0	0,88	4	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

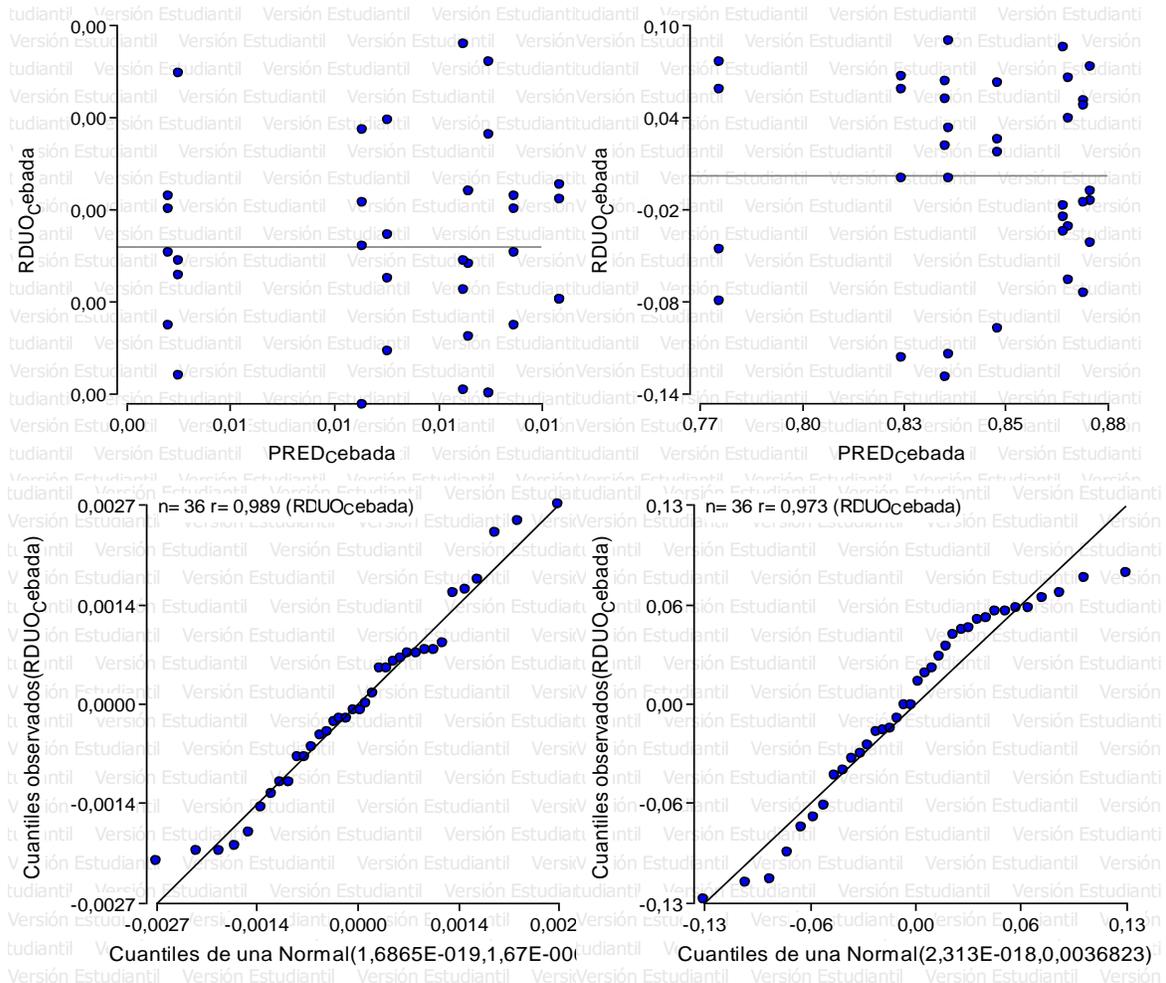


Figura 11: Resultados del test de ANOVA para el ensayo de aleopatía para Cebada (izquierda) y para *Lolium multiflorum* (derecha).

