

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE RASTROJOS DE CULTIVOS DE SERVICIO
EN LA SUPRESIÓN DE MALEZAS PROBLEMÁTICAS**

por

Alessandro MALAN SANIN
Felipe SECCO CHEPPI

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

PAYSANDÚ
URUGUAY
2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Mag.) Luciana Rey Arocena

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Luciana Rey Arocena

Ing. Agr. (Mag.) Winnona Saracho

Ing. Agr. (Mag.) Agustina Armand Pílon

Fecha:

1 de diciembre de 2025

Estudiante:

Felipe Secco Cheppi

Alessandro Malan Sanin

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos por acompañarnos durante todo el proceso de la carrera.

A la Facultad de Agronomía por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

A la Ing. Agr. MSc. Luciana Rey, nuestra tutora, por su apoyo total en toda la elaboración de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 CULTIVOS DE SERVICIO	10
2.2 INTERFERENCIA	13
2.2.1 Alelopatía	13
2.2.2 Malezas que se ven afectadas por la presencia de rastrojo de CS en barbecho	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. INSTALACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	18
3.1.1 Ubicación	18
3.1.2. Recolección del material vegetal y preparación de las muestras a evaluar	18
3.1.3 Bioensayos de Germinación e Inhibición del Crecimiento	19
3.1.4 Análisis estadístico	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS DE CS SOBRE LACTUCA SATIVA	21
4.1.1. Efectos de los rastrojos sobre la germinación de Lactuca sativa	21
4.1.2. Efecto de los rastrojos sobre la longitud de la radícula de Lactuca sativa..	23
4.1.3. Efecto de los rastrojos sobre la longitud de hipocótilo de Lactuca sativa ...	25
4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS DE CS SOBRE AMARANTHUS PALMERI	27
4.2.1. Efectos de los rastrojos sobre la longitud de radícula de Amaranthus palmeri.....	27
4.2.2 Efectos de los rastrojos sobre la longitud de hipocótilo de Amaranthus palmeri.....	30
4.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS SOBRE ECHINOCHLOA COLONA.....	32
4.3.1 Efectos de los rastrojos sobre largo de radícula de Echinochloa colona.....	32
4.3.2 Efectos de los rastrojos sobre el largo de coleoptile de Echinochloa colona	33
5. CONCLUSIONES	35
6. BIBLIOGRAFÍA.....	37

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Textura del sustrato utilizado en macetas	18
Figura 1 Reducción de germinación de Lactuca sativa respecto al control por exposición a extractos de rastrojo	21
Figura 2 Reducción de la longitud radicular de Lactuca sativa respecto al control por extractos de rastrojo	23
Figura 3 Reducción de longitud del hipocótilo de Lactuca sativa respecto al control por extractos de rastrojo	26
Figura 4 Reducción de radícula de Amaranthus palmeri respecto al control por exposición a extractos de rastrojo	28
Figura 5 Reducción de longitud del hipocótilo de Amaranthus palmeri respecto al control por extractos de rastrojo	31
Figura 6 Reducción de radícula de Echinochloa colona respecto al control por exposición a extractos de rastrojo	32
Figura 7 Reducción de longitud del colepotile de Echinochloa colona respecto al control por extractos de rastrojo	34

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial alelopático de los rastrojos de tres cultivos de servicio *Avena strigosa* (avena negra), *Secale cereale* (centeno) y *Vicia villosa* (vicia) en la supresión de las malezas *Amaranthus palmeri* (yuyo colorado), *Echinochloa colona* (capín). Para esto se realizaron ensayos bajo condiciones controladas, utilizando extractos acuosos obtenidos de las partes aéreas y radicales de cada especie. Los resultados mostraron que la avena presentó la mayor capacidad inhibitoria sobre ambas malezas y sobre *Lactuca sativa* utilizada como especie indicadora, con reducciones significativas en la longitud radicular y del hipocótilo, incluso en algunos casos superando al control con herbicida. Vicia también evidenció un efecto reductor, particularmente sobre *A. palmeri*, destacándose los extractos radicales por su acción en bajas concentraciones. El centeno, por su parte, mostró un alto potencial alelopático sobre la especie indicadora (*L. sativa*), sin embargo, logró un menor efecto sobre *A. palmeri* y nulo efecto sobre *E. colona*. Los resultados confirman que estos cultivos de servicio, principalmente avena, posee compuestos con capacidad inhibitoria, que podrían contribuir a la supresión de malezas, complementando el efecto físico del rastrojo en el manejo integrado de malezas. Es necesario realizar posteriores estudios a campo para ver si estos resultados de laboratorio se reproducen en condiciones reales de producción.

Palabras clave: alelopatía, cultivos de servicio, *Amaranthus palmeri*, *Echinochloa colona*

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the allelopathic potential of residues from three cover crops *Avena strigosa* (black oat), *Secale cereale* (rye), and *Vicia villosa* (hairy vetch) in the suppression of the weeds *Amaranthus palmeri* (Palmer amaranth), *Echinochloa colona* (jungle rice). Bioassays were conducted under controlled conditions using aqueous extracts obtained from the aerial and root parts of each species. Results showed that oat exhibited the highest inhibitory capacity on both weed species and *Lactuca sativa* used as an indicator species, with significant reductions in root and hypocotyl length, in some cases even surpassing the herbicide control. *Vicia villosa* also showed a reduction effect, particularly on *A. palmeri*, with root extracts standing out for their activity at low concentrations. *Secale cereale*, in turn, displayed a strong allelopathic potential on the indicator species (*L. sativa*), although it had a lower effect on *A. palmeri* and no effect on *E. colona*. The results confirm that these cover crops mainly oat contain compounds with inhibitory capacity that could contribute to weed suppression, complementing the physical effect of crop residues within integrated weed management. Further field studies are needed to determine whether these laboratory findings can be reproduced under real production conditions.

Keywords: allelopathy, cover crops, *Amaranthus palmeri*, *Echinochloa colona*

1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos de servicio (CS) en la agricultura uruguaya han sido utilizados principalmente para el control de la erosión en el marco de los planes de uso y conservación de suelo establecidos por la Ley n° 18.564 (2009).

Más allá de su función en el control de la erosión, estos cultivos reciben su denominación porque ofrecen múltiples servicios ecosistémicos, tales como aumento del carbono orgánico del suelo, reciclaje de nutrientes, fijación biológica de nitrógeno, control biológico de plagas, promoción de la polinización, conservación de la humedad del suelo y manejo de malezas (Álvarez et al., 2023).

La problemática de malezas resistentes a herbicidas o respuestas inefficientes a su aplicación, evidencia la necesidad de abordar otras alternativas al control químico. En este sentido, el manejo integrado de malezas, mediante el rediseño del sistema de producción, cobra importancia, siendo la implementación de CS en las rotaciones agrícolas un componente clave.

Si bien estos estudios demuestran que los CS son efectivos para el manejo de malezas en el corto plazo, al suprimir las malezas invernales con las que comparten tiempo y espacio a través de la competencia por recursos, diversos autores también destacan su efecto sobre la fase de barbecho posterior. En este período, la gran cantidad de rastrojo que permanece en el suelo, al no destinarse los CS a cosecha, dificulta la germinación de malezas primavera-estivales (Fernández, 2019; Kahl & Ecleisa, 2023; Kahl et al., 2020; Osipitan et al., 2018).

Si bien la supresión de malezas en la etapa de barbecho suele explicarse principalmente por el efecto del sombreado, se reconoce que el potencial alelopático de los CS en descomposición también podría desempeñar un papel en este proceso. Sin embargo, aún persiste un vacío conocimiento respecto a su especificidad y no se sabe con certeza si estos compuestos resultan tóxicos para las malezas primavera-estivales de interés. Esta distinción es clave, ya que la liberación de metabolitos con efectos sobre especies no relevantes o ausentes en esa etapa tendría escasa importancia práctica.

Debido a todo esto, el objetivo del trabajo fue evaluar el potencial alelopático de rastrojos de *Avena strigosa* (avena negra), *Vicia villosa* (vicia) y *Secale cereale* (centeno) en la supresión de *Amaranthus palmeri* (yuyo colorado) y *Echinochloa colona* (capín).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVOS DE SERVICIO

Según Sawchik et al. (2015) el contexto agrícola desde la pasada década tiene como cultivo de mando en la rotación a la soja (*Glycine max*), superando la suma de los cultivos de invierno en más del doble de área. Este cambio en la rotación provocó que se generen períodos de barbecho muy largos entre dos cultivos de verano, lo cual llevó a dejar el suelo vulnerable a la erosión hídrica. Sumado a la ley de conservación de suelos, fue necesario implementar coberturas para proteger a los suelos de la erosión y cumplir con el plan de uso y manejo de suelos.

Los CS son aquellos que se siembran entre dos cultivos de cosecha con diversos objetivos. Estos cultivos no se cosechan, tampoco se pastorean ni se incorporan (Capurro et al., 2024). Uno de los servicios que ofrecen estos cultivos al ser introducidos en la rotación es el de suprimir malezas sin la utilización de herbicidas. Es por esto, que utilizar cultivos de servicio es una práctica de manejo cultural que forma parte del Manejo Integrado de Malezas (MIM). El MIM se basa en el conocimiento de características biológicas y ecológicas de las malezas para entender de qué forma se puede modular su presencia mediante prácticas culturales y controles químicos (Bàrberi, 2004). Esta práctica cultural permite ahorrar el uso de herbicidas, reducir el impacto ambiental, lograr una menor presión de selección sobre malezas e interrumpir el ciclo de las mismas (Garay, 2018). Numerosos estudios han demostrado ampliamente el efecto supresor de malezas tanto a nivel internacional, según Kahl y Eccleisa (2023), Kahl et al. (2020) y Osipitan et al. (2018), como en el ámbito nacional (Fernández, 2019).

Dado que, hasta el momento, los largos períodos de barbecho se daban entre dos cultivos de verano, los cultivos de servicio normalmente utilizados presentan un ciclo de producción otoño-invierno-primaveral para lograr una buena cobertura del suelo en esta etapa. Los ejemplos más comunes son avena negra, centeno y vicia.

La avena es una gramínea originaria de Asia central; se caracteriza por ser muy plástica, se adapta a suelos profundos, arcillo-arenosos y a suelos ácidos. Es de buena producción en suelos sin limitantes con una distribución otoño-invierno-primaveral. Cuenta con un sistema radical semi-profundo, posee baja resistencia al frío y es susceptible a la sequía. Presenta un alto crecimiento inicial que le permite cubrir rápidamente el suelo. Las fechas de siembra pueden ir desde febrero hasta abril con humedad en suelo, aunque a medida que se atrasa la fecha de siembra se compromete la producción de biomasa (Spara & Vernengo, 2023).

La avena negra por su parte tiene un buen comportamiento suprimiendo malezas durante su fase de crecimiento. Con una cobertura del 85 - 90% previo a la desecación, se logra una reducción de malezas del 85% frente al testigo (Fernández, 2019).

A nivel nacional se estima que las densidades de siembra de avena en línea en torno a 40 kg ha⁻¹, suprimiría entre 80 y 90 % de la biomasa de malezas (Kaspary, García, Jorajuría et al., 2020).

En la etapa de barbecho en campo, a los 37 días post desecación, la avena logra mantener coberturas del 35% cuando se emplea desecación química y en torno al 75% cuando se deseca utilizando el rolo mecánico. Para el caso de desecación química se logran reducciones en el enmalezamiento del 90% y para rolado del 65% aunque cabe destacar que el rolado logra una mayor cobertura del suelo (Fernández, 2019).

El centeno también es una gramínea forrajera anual con distribución otoño-invierno-primaveral, que es utilizada más frecuentemente en regiones subhúmedas y semiáridas pampeanas. Es una especie rústica, tolera bajas temperaturas, aunque es sensible a las temperaturas altas y tolera el déficit hídrico. Es recomendable sembrarla a partir de marzo para disminuir el efecto de las temperaturas que pueden provocar muerte de plantas. Tiene un sistema radical bien desarrollado y profundo que le permite soportar sequías prolongadas, se adapta a suelos livianos a franco arenosos y a suelos de baja fertilidad, pero no soporta excesos hídricos (Spara & Vernengo, 2023).

A diferencia del cultivo de avena negra, el centeno logra menores coberturas en la fase de crecimiento, cercanas al 60% y en consecuencia una menor reducción de malezas (70% respecto al testigo, frente al 85% logrado por la avena). En la fase de barbecho, la desecación química y el rolado, alcanzan coberturas del suelo del 30% y 50% respectivamente, lo que se traduce en reducciones del enmalezamiento del 80% y 30% (Fernández, 2019). A pesar de provocar niveles de control menores a la avena, estos siguen siendo elevados y significativamente superiores respecto al testigo, lo que sugiere que, aún con menor cobertura, el Centeno ejerce un efecto importante sobre la comunidad de malezas, posiblemente asociado a mecanismos adicionales como la liberación de compuestos alelopáticos.

Para alcanzar estas coberturas y su efecto supresor, se recomienda una densidad de siembra de 35-45 kg ha⁻¹ al voleo en precosecha o en la línea post cosecha y de 75-90 kg ha⁻¹ al voleo post cosecha debido al menor contacto semilla-suelo y mayor exposición a factores adversos como clima, aves, etc. (Kaspary et al., 2022).

El poder supresor del rastrojo de centeno también ha sido reportado por otros autores, donde el centeno suprime las malezas y reduce su establecimiento hasta en un 77% en el cultivo posterior de alfalfa (Adhikari et al., 2018).

Por otra parte, ensayos realizados con residuos de centeno mostraron una reducción del 58% en la emergencia de *L. sativa*. Asimismo, se observe que la fracción aérea del Centeno fue más efectiva que la radicular, logrando un 52% adicional de inhibición de la germinación (Barnes & Putnam, 1986).

Otro de los CS más utilizados es vicia, que es una leguminosa anual, herbácea, rastrera, trepadora de clima templado y subtropical. Tiene capacidad de desarrollarse en suelos con presencia de aluminio. Tiene un crecimiento inicial lento, pero genera una buena cobertura en primavera (Gilsanz, 2008). Se puede sembrar desde fines de verano hasta mediados de invierno donde en nuestras condiciones se comporta como invierno-primaveral (Baigorria et al., 2011).

Su crecimiento vigoroso le permite ser una buena competidora frente a malezas. En su etapa de rastrojo, sus residuos presentan un leve efecto alelopático que también contribuye a la supresión de malezas, aunque su efecto desaparece a la brevedad debido a la rápida descomposición del rastrojo, asociada a su baja relación C/N. Se recomienda una densidad de siembra al voleo entre 15 a 30 Kg/ha (Gilsanz, 2008).

Para vicia ensayos realizados en la EEMAC, muestran que la cobertura que alcanza a final de su ciclo, no difiere significativamente de la avena negra, ambas en torno al 90%, mientras que en etapa de rastrojo, vicia no logra una buena cobertura por lo que presenta un 40% más de enmalezamiento que avena negra. Las reducciones del enmalezamiento respecto al testigo son de un 47% para vicia y un 93% para avena negra (Azcoitia & Giudice, 2024).

El momento de desecación de las especies mencionadas se encuentra principalmente determinado por el agua disponible en el suelo inicial, para dar tiempo en el período de barbecho a cargar el perfil. Al ser las lluvias impredecibles en el mediano plazo se deja un margen de tiempo que pueda contener algún período de lluvias, generalmente entre 30 y 60 días para disminuir pérdidas de rendimiento del cultivo de verano (Bastos et al., 2007).

Para siembras planificadas de noviembre en adelante es necesario desecar el cultivo de cobertura previo a madurez fisiológica para que no produzca semilla en la chacra y genere un banco de semillas para el invierno siguiente.

Un tercer criterio para la fecha de desecación es tratar de desecar antes de que las malezas alcancen el estado reproductivo, de forma de cortar el ciclo de las malezas y el aumento del banco de semillas del suelo.

2.2 INTERFERENCIA

La interferencia entre plantas comprende cualquier reducción en el crecimiento o producción causada por otra especie, ya sea por competencia o por alelopatía (Liebl & Worsham, 1987). En el barbecho químico, la competencia desaparece al estar la vegetación desecada, quedando principalmente el efecto físico del rastrojo y, eventualmente, la liberación de compuestos que podrían afectar la emergencia de malezas.

Diversos cultivos de cobertura han mostrado capacidad para suprimir malezas, aunque no siempre está claro si se debe a competencia, alelopatía u otros mecanismos (Fernández, 2019). Estudios en avena y centeno han registrado inhibición de germinación y crecimiento de otras especies en condiciones controladas (Blanco, 2006). También se han señalado posibles efectos alelopáticos en vicia (Scavo & Mauromicale, 2021). Sin embargo, la evidencia disponible indica que, en campo, la supresión de malezas por parte de estas especies suele relacionarse más con el sombreado y la cobertura que generan los rastrojos que con la acción directa de compuestos alelopáticos (Geddes et al., 2015; Teasdale, 1993).

2.2.1 Alelopatía

Según Blanco (2006) la alelopatía se define como el efecto producido por las interacciones bioquímicas a través de compuestos denominados compuestos alelopáticos que se establecen en un agroecosistema entre una especie donante y otra especie receptora resultando en efectos benéficos o perjudiciales sobre la germinación, crecimiento o desarrollo de esta última especie. Aunque los efectos alelopáticos más comunes son los efectos dañinos (Ducca & Zonetti, 2008).

Sampietro (2003) define cuatro vías en las cuales se liberan los agentes alelopáticos al ambiente: Volatilización, vinculado a plantas productoras de terpenoides, siendo un mecanismo que se favorece por altas temperaturas; Lixiviación donde se remueven estos compuestos por lluvia, rocío, nieve o niebla; Exudados radiculares que pueden reducir la germinación de semillas, crecimiento de raíces y brotes, incorporación de nutrientes y nodulación; finalmente por Descomposición de residuos vegetales donde se liberan gran cantidad de compuestos alelopáticos donde es mediado por la naturaleza del compuesto, tipo de suelo y condiciones de descomposición. La eficacia

de los efectos alelopáticos también puede verse afectada por condiciones climáticas, cantidad, duración y ubicación del rastrojo en el campo, propiedades biológicas de las malezas (que puedan tolerar los compuestos) y composición del enmalezamiento, en siembra directa el efecto de los rastrojos es menor en comparación a un rastrojo enterrado debido a que demora más en descomponerse, también se reporta diferencias de eficiencia de control según especie a controlar (Kruidhof et al., 2009, 2011).

El uso de un rolo podría facilitar la descomposición al poner más superficie del rastrojo en contacto con el suelo, lo que en consecuencia aumentaría la eficacia de los efectos alelopáticos en un sistema de siembra directa.

Otro factor importante del potencial alelopático es la genética, se han reportado cultivares con mayor potencial alelopático que otros en trigo (Bensch et al., 2009; Dahiya et al., 2017) y en cultivares de cebada (Collares, 2018; Capurro & Sotelo, 2010). Sin embargo, en Uruguay los cultivos de servicio disponibles comercialmente presentan una oferta limitada de cultivares, lo que dificulta la comparación y evaluación del potencial alelopático entre ellos (Instituto Nacional de Semillas [INASE], s.f.).

El último factor a tener en cuenta son los microorganismos del suelo, que son los responsables de descomponer los restos del cultivo. Esto les permite descomponer la sustancia alelopática y transformarla (Zhang et al., 2021). Estos microorganismos pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores (Sampietro, 2003).

Para que la relación alelopática se concrete, no solo se necesita que el cultivo sea capaz de generar metabolitos secundarios con potencial alelopático, sino que tienen que ser capaces de ser liberados, pero es aún más importante que las malezas que se encuentren creciendo en ese momento sean susceptibles a dichos compuestos y esto puede variar según el tamaño de la semilla de la maleza y su capacidad para detoxificarse por ejemplo (Kruidhof et al., 2011).

Si bien un buen estudio de alelopatía debe contemplar todos estos factores para generar resultados concluyentes y transferibles a la realidad, es necesario iniciar las investigaciones identificando el potencial alelopático de cada cultivo sobre las especies de malezas de interés, mediante la evaluación de extractos obtenidos de sus diferentes partes del cultivo. Esto no quiere decir que el potencial alelopático pueda reproducirse directamente en condiciones de campo, pero constituye un punto de partida fundamental.

Si bien las condiciones de campo como el ambiente y la composición específica de malezas pueden generar resultados distintos a los obtenidos en laboratorio, las evaluaciones en condiciones controladas siguen siendo valiosas. Estas permiten reducir la influencia de factores externos y diferenciar entre cultivares con compuestos alelopáticos potencialmente tóxicos para las malezas de interés, los cuales pueden ser posteriormente seleccionados y evaluados en ensayos a campo.

2.2.2 Malezas que se ven afectadas por la presencia de rastrojo de CS en barbecho

Como fue mencionado anteriormente, la fecha de desecación está influenciada principalmente por el contenido inicial de agua en el suelo y la fecha de siembra de los cultivos de verano que según la especie puede ser desde comienzos hasta finales de primavera. Sin embargo, existe otro factor que debería considerarse igualmente determinante: la sincronización con la semillazón de malezas invernales y la emergencia de las malezas primavera-estivales como los son *Amaranthus palmeri* y *Echinochloa colona*.

Amaranthus palmeri

Originaria del suroeste de Estados Unidos y norte de México, se infiere que ingresó al país por maquinaria importada contaminada con semilla de esta planta. Es una especie que tiene una alta velocidad de crecimiento, que puede alcanzar hasta tres metros de altura y puede producir alrededor de un millón de semillas por planta. Posee tallos y hojas suaves carente de pelos; hojas con peciolo largo y están dispuestas de forma simétrica alrededor del tallo; es una especie dioica con flores masculinas y femeninas de diferentes plantas (Kaspary, García, Marques et al., 2020).

Las primeras emergencias se registran a partir de la segunda quincena de octubre, coincidiendo con el período en que los cultivos de servicio (CS) se encuentran en barbecho. Los flujos de emergencia son particularmente intensos hasta febrero y se prolongan, en menor magnitud, hasta finales de abril o mayo (Red de manejo de plagas de AAPRESID, s.f.).

En condiciones de cultivo de soja esta especie es capaz de generar pérdidas de rendimiento de hasta 75%. Sus semillas poseen viabilidad prolongada, latencia y largo período de germinación y su mecanismo C4 que le permite una alta capacidad de crecer con altas temperaturas (Besozzi & Soñora, 2020).

Esta maleza comenzó a tener especial importancia en nuestro país a fines de la década de 2010 cuando se comienza a advertir a la población acerca de su resistencia a glifosato y herbicidas inhibidores de ALS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2017). A partir del surgimiento de esta problemática el principal medio de control empleado por los agricultores es un control químico de la misma.

Esta especie ha desarrollado resistencia a varios modos de acción como glifosato, 2,4 D, inhibidores de ALS y fotosistema II, HPPD y PPO (Kaspary, García, Marques et al., 2020).

Debido a los problemas de resistencia múltiple, *Amaranthus palmeri* es una de las malezas más difíciles de controlar en nuestro país, donde las herramientas químicas disponibles resultan cada vez menos efectivas, por lo tanto es necesario investigar acerca de las alternativas al tradicional control químico que se viene realizando en los últimos años. Una alternativa de interés de estudio es el uso de cultivos de servicio con potencial alelopático.

Echinochloa colona

En el trabajo de Dos Santos y Etchegoimberry (2016) describe que es originaria de África y Asia central, posee metabolismo C4; presenta un porte erecto a decumbente; láminas planas de 3 a 6 centímetros de ancho; glabra o con pelos en la proximidad de la base de la lámina; con coloración rosada cercana a la base de la lámina; no presenta ni lígula ni aurículas. En estadio reproductivo su inflorescencia se caracteriza por ser una panoja erecta con espiguillas elipsoides a ovoides.

Es una especie que puede reproducirse vegetativamente y por semilla siendo capaz de producir miles de semillas, con cortos períodos de dormancia menor a ocho semanas y es una especie muy competitiva por su capacidad de tener un hábito postrado en sus primeros estados de desarrollo y ser capaz de crecer de forma erecta cuando hay competencia por luz (Amat Jiménez, 2022).

Es una especie común en cultivos de arroz y de secano, donde en este último escenario en un cultivo de soja es capaz de reducir hasta un 78% del rendimiento del cultivo entre 0 y 500 plantas por metro (Vail & Oliver, 1993).

Esta maleza germina desde fines de octubre a fines de enero con picos de emergencias en principios y mediados de noviembre, fechas donde los CS se encuentran desecados (Rampoldi et al., 2016).

Según Marchesi (2021), “el uso intensivo de solo glifosato también ha generado resistencia de malezas, destacándose algunas situaciones muy cercanas en la región y también en Uruguay (raigrás, capín colona, yuyo colorado)” (p. 63).

En el mundo se han reportado resistencias de *Echinochloa colona* hacia a auxinas sintéticas, cloroacetamidas, tiocarbamatos, amidas, ACCasas, inhibidores de ALS, sulfonilureas, triazolpirimidinas, e inhibidores de DOXP además de resistencia a glifosato (Marchesi, 2021).

El uso de cultivos de servicios como avena negra y centeno lograron reducciones sustanciales del enmalezamiento de *Echinochloa colona* a los 70 días post desecación de los mismos con coberturas entre 70% y 80% para centeno y de 90% y 100% para avena negra (Fernández, 2019).

Echinochloa colona y *Amaranthus palmeri* presentan dormancia seminal como característica ecobiológica. Esta condición dificulta el uso de la germinación como variable confiable en bioensayos, ya que la falta de emergencia puede deberse a la dormancia y no al efecto del tratamiento aplicado. Para minimizar este sesgo, en el presente experimento se emplearon semillas pregerminadas de ambas especies (Ben-Hammouda et al., 1995, Romeo & Weidenhamer, 1999, Wardle et al., 1993, Wu et al., 2000a, como se citan en Wu et al., 2001). En estas malezas, así como en *L. sativa*, la variable principal fue la longitud de la radícula, ampliamente utilizada como indicador de actividad alelopática (Wu et al., 2001).

Varios autores mencionan que la longitud radicular es considerada como un parámetro especialmente sensible y confiable para evaluar los efectos alelopáticos sobre la germinación (Cope, 1982, Pederson, 1986, como se citan en Inderjit & Dakshini, 1995).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. INSTALACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

3.1.1 Ubicación

Los bioensayos para evaluar el potencial alelopático de los CS avena negra, centeno y vicia se llevaron a cabo en el Laboratorio de Malherbología de la Estación Experimental Dr Mario A. Cassinoni, (EEMAC), Facultad de Agronomía, durante el mes de noviembre 2025.

3.1.2. Recolección del material vegetal y preparación de las muestras a evaluar

Con el objetivo de obtener rastrojo de los CS en estudio, se sembraron avena negra, centeno y vicia por separado en macetas de 12 cm de diámetro. Como sustrato, se utilizó una mezcla en proporción 50/50 de tierra comercial y arena, cuya textura se detalla a continuación (Tabla 1).

Tabla 1
Textura del sustrato utilizado en macetas

Identificación proporcionada (Nº LAAI)		Suelo (242408-1)	Metodología analítica
Parámetro	Unidad	Resultados	
Textura	Arcilla	13	Bouyoucos
	Arena y Grava	22	Method
	Limo	65	

Las macetas se mantuvieron en invernáculo bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, ajustadas a los requerimientos de cada cultivo, garantizando su crecimiento y desarrollo sin restricciones hídricas. Cuando los cultivos gramíneos alcanzaron el estado de antesis y la vicia inició la floración, las plantas fueron extraídas de las macetas y desecadas en estufa a 30 °C durante 36 horas.

Las muestras desecadas se dividieron en seis fracciones, correspondientes a la parte aérea y la parte radicular de cada uno de los tres cultivos de servicio evaluados. Ambas fracciones fueron molidas con un mortero.

Para obtener el extracto acuoso, las seis muestras molidas se maceraron en 200 ml de metanol durante 40 minutos con ultrasonido. Luego, el extracto fue filtrado y el solvente eliminado mediante evaporación a baja presión con un rotavapor.

3.1.3 Bioensayos de Germinación e Inhibición del Crecimiento

Para evaluar el efecto alelopático de los extractos, se utilizaron semillas de *Amaranthus palmeri*, *Echinochloa colona* y *Lactuca sativa*. Las dos primeras corresponden a malezas de alto interés productivo. Si bien *L. sativa* no es una maleza ni formaba parte del objetivo inicial, se incluyó por ser una especie indicadora de alta sensibilidad a compuestos alelopáticos. Su incorporación permitió evitar descartar completamente un posible efecto alelopático en caso de que los extractos no mostraran fitotoxicidad sobre las malezas seleccionadas, pero sí pudieran ejercerla sobre otras especies más susceptibles (Wu et al., 2001).

Las malezas seleccionadas para este estudio fueron elegidas por su dificultad de control y porque, en altas densidades, pueden provocar pérdidas económicas significativas en los cultivos, especialmente en las chacras agrícolas del litoral oeste del país.

Las semillas de malezas fueron recolectadas en la estación experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) y sometidas a un tratamiento de ruptura de dormancia según la especie. En el caso de *Amaranthus palmeri*, las semillas fueron sometidas a ciclos de temperatura alternados de 12 horas a temperatura ambiente y 12 horas a 5 °C en heladera durante una semana. Para *Echinochloa colona*, las semillas fueron sumergidas en agua y colocadas a 5 °C durante 7 días. Tras estos tratamientos, para la pre germinación de las semillas, las mismas se colocaron en placas de Petri de 12 cm de diámetro con papel de filtro y se les adicionaron 8 mL de agua y 8 mL de una solución de cloruro de potasio al 5%. Las placas fueron incubadas en una cámara de crecimiento bajo condiciones de luz y oscuridad controladas.

Luego de 14 días, las plántulas pre germinadas fueron trasladadas a placas de Petri de 6 cm de diámetro, utilizadas para el bioensayo. En cada placa, se dispusieron 20 plántulas sobre papel de filtro Whatman n.º 1 como soporte, donde se aplicaron los tratamientos a evaluar.

Una vez colocadas las semillas, el papel de filtro fue humedecido con los extractos de los rastrojos, permitiendo que la germinación y el crecimiento ocurrieran en soluciones acuosas con pH controlado. Para ello, se utilizó una solución tampón

compuesta por 10^{-2} M de 2-[N-morfolino] ácido etanosulfónico (MES) y 1 M de NaOH, ajustada a pH 6,0.

Los extractos se disolvieron en dimetilsulfóxido y luego se diluyeron en la solución tampón en una proporción de 5 µL de solución de dimetilsulfóxido/mL de tampón, obteniendo concentraciones finales de 800, 600, 400, 200 y 100 ppm.

También se incluyeron controles paralelos. Como control positivo, se utilizó el herbicida S-metolaclor (960 g ha^{-1}) para *Echinochloa colona* y flumioxazin (72 g ha^{-1}) para *Amaranthus palmeri* y *Lactuca sativa*, ambos aplicados en las mismas concentraciones que los extractos.

Además, se estableció un control negativo en el que las semillas no fueron expuestas ni a extractos ni a herbicidas, sino únicamente a la solución tampón, con el fin de comparar si las semillas tratadas con los extractos en sus diferentes diluciones veían afectado su crecimiento normal.

Las placas de Petri se incubaron a 25°C , con un fotoperíodo de 12 h luz/12 h oscuridad, durante 10 días. Transcurrido este período, se midió la longitud radicular y de coleoptile o hipocótilo en todos los tratamientos para compararlos con el control negativo y determinar si los extractos de rastrojo estaban generando reducción en el crecimiento normal de las malezas. Por otra parte, se determinó el índice de germinación únicamente en *L. sativa*, dado que las otras especies habían pasado por un proceso de pre-germinación.

3.1.4 Análisis estadístico

El potencial alelopático de los rastrojos de avena negra, centeno y vicia fue analizado utilizando el paquete estadístico SAS On Demand for Academics versión 9.04, mediante la prueba de Dunnett, con niveles de significación establecidos en 0,01 y 0,05.

Los resultados se presentan como porcentajes con respecto al control, donde un valor de cero representa el control sin extracto de rastrojo y los valores negativos indican una inhibición del crecimiento debido a los extractos de los rastrojos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

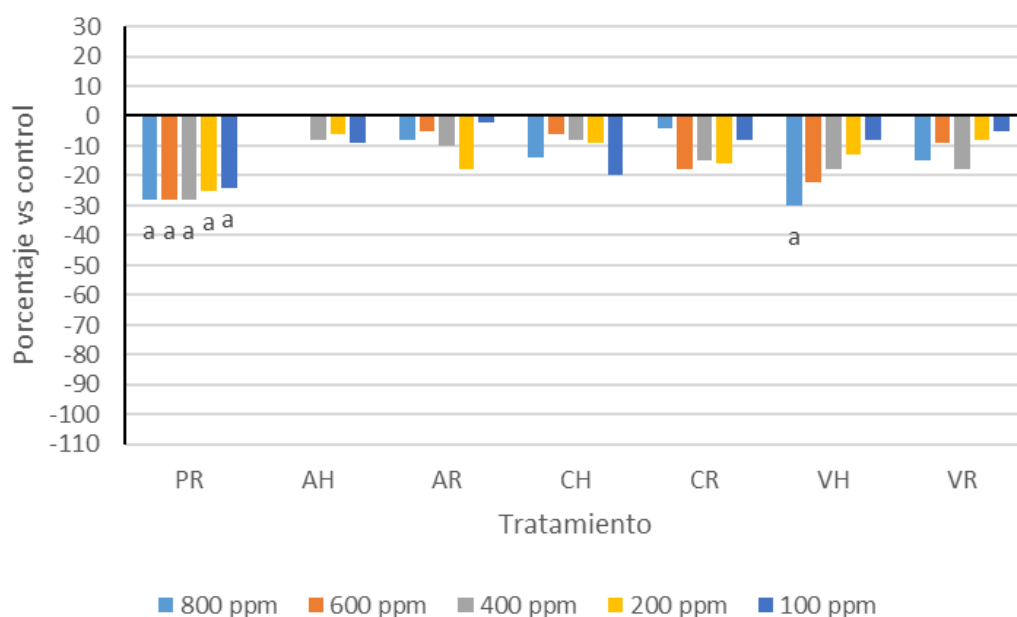
4.1. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS DE CS SOBRE *LACTUCA SATIVA*

4.1.1. Efectos de los rastrojos sobre la germinación de *Lactuca sativa*

La germinación de *L. sativa* se redujo hasta un 30% en presencia de extractos de rastrojo, en comparación con el control negativo (semillas expuestas únicamente a solución tampón con DMSO; Figura 1). En la mayoría de los tratamientos la inhibición fue leve y no significativa, aunque se observó una tendencia general a la disminución de la germinación frente a los extractos evaluados.

Figura 1

*Reducción de germinación de *Lactuca sativa* respecto al control por exposición a extractos de rastrojo*



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

En el ensayo de germinación, el control positivo con el herbicida (PR) redujo significativamente la germinación de la *L.satíva* en todas las concentraciones analizadas, con inhibiciones superiores al 25% en comparación con el control negativo ($p < 0,01$). Esta respuesta observada frente al compuesto herbicida confirma la sensibilidad del bioensayo y establece el punto de referencia para interpretar la magnitud de los efectos observados con los extractos del rastrojo.

Entre los extractos evaluados, el rastrojo aéreo de vicia (VH) mostró la mayor capacidad inhibitoria de la germinación, alcanzando reducciones cercanas al 30% en su concentración más alta (800 ppm, $p \text{ valor} \leq 0,01$), igualándose al efecto generado por el compuesto herbicida. Hay evidencia de que la cianamida tiene efectos inhibidores de la germinación, y además esta se concentra principalmente en la parte aérea del cultivo de vicia (Kamo et al., 2008; Sun et al., 2022), por lo que el resultado obtenido era esperable. Este efecto significativo se observó únicamente en la concentración más alta, mientras que las dosis intermedias y bajas no se difirieron del control negativo.

Estos resultados sugieren la presencia de compuestos con potencial alelopático en el rastrojo de vicia, cuyo impacto inhibitorio sería relevante únicamente bajo condiciones que favorezcan altas concentraciones de metabolitos en el suelo, como la acumulación de rastrojo en grandes cantidades por una alta producción de materia seca o procesos de descomposición lenta. Por el contrario, condiciones como elevada humedad en suelo, o altas precipitaciones, podrían favorecer la lixiviación o dilución de estos compuestos, reduciendo así su efecto sobre la germinación.

Los extractos aéreos y radiculares de avena y centeno (AH, AR, CH y CR) provocaron inhibiciones leves a moderadas (10–20%), que no resultaron estadísticamente significativas. Si bien se ha reportado que ambas especies liberan compuestos con potencial alelopático, en este experimento no se evidenciaron efectos relevantes sobre la germinación de *L.satíva*. No obstante, ello no implica ausencia o baja especificidad de los metabolitos, sino que la germinación no siempre constituye un indicador sensible de actividad alelopática. Tal como se señala en la literatura, estos efectos suelen manifestarse con mayor claridad en la inhibición del crecimiento radicular, más que en la emergencia de plántulas.

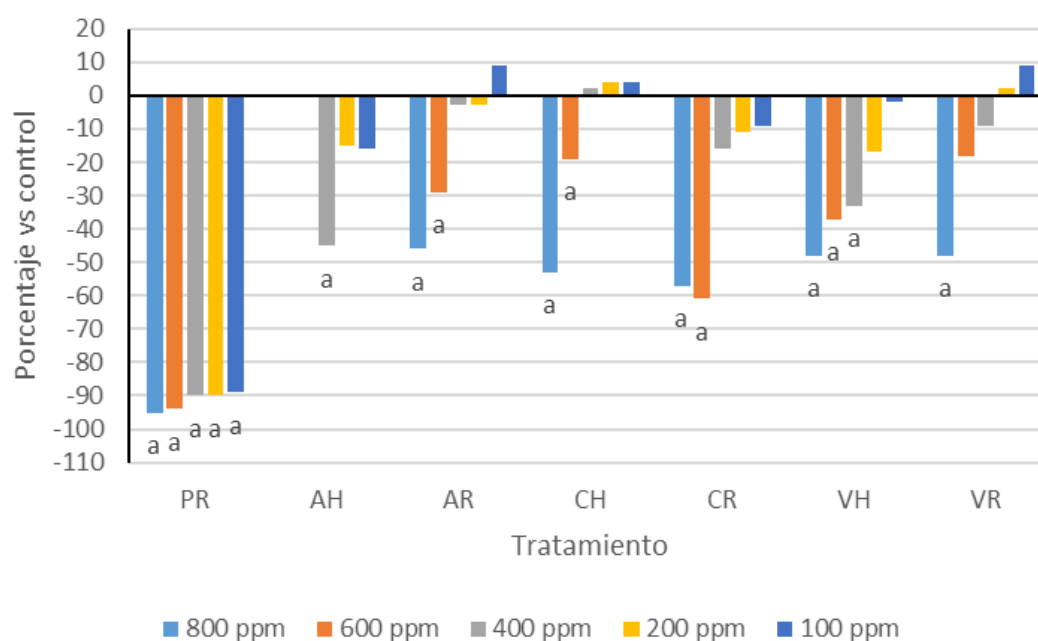
Este resultado es coherente con lo señalado en la revisión bibliográfica acerca de la metodología, donde los ensayos de germinación suelen ser menos sensibles para determinar efectos alelopáticos en comparación con otras variables como la longitud de la radícula (Cope, 1982, Pederson, 1986, como se citan en Inderjit & Dakshini, 1995).

4.1.2. Efecto de los rastros sobre la longitud de la radícula de *Lactuca sativa*

Al evaluar la variable longitud radicular, la exposición de las semillas de *L. sativa* a los extractos de rastrojo generó una marcada reducción en el desarrollo de las plántulas de esta especie. Todos los tratamientos evaluados provocaron inhibiciones significativas respecto al control negativo en al menos una de las concentraciones analizadas (p valor $\leq 0,01$), con reducciones que oscilaron entre leves (10%) hasta severas (60%).

Figura 2

*Reducción de la longitud radicular de *Lactuca sativa* respecto al control por extractos de rastrojo*



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

El tratamiento Control herbicida (PR), como era de esperar, generó la mayor inhibición, con reducciones cercanas al 100% en todas las concentraciones evaluadas.

Entre los extractos de rastrojo, los extractos radiculares de centeno (CR) destacaron por su fuerte efecto inhibitorio, alcanzando reducciones cercanas al 70% en

concentraciones de 800 y 600 ppm ($p < 0,01$). Si bien no se trata de una inhibición total, una reducción del 70% en la elongación radicular puede considerarse un nivel de control biológicamente relevante, cercano a lo esperado para un herbicida eficaz. Este resultado es consistente con los antecedentes que señalan que el centeno contiene metabolitos secundarios con potencial alelopático, por lo cual, es de esperar que durante la descomposición del rastrojo, pueden liberarse al suelo e interferir con la germinación y el desarrollo inicial de otras especies (Blanco, 2006; Tabaglio et al., 2013).

Por otra parte, el extracto aéreo (CH) también mostró reducciones importantes, de hasta un 50%. El hecho de que se observe un mayor efecto en los extractos radiculares de centeno que en los extractos aéreos resulta particularmente relevante. Los compuestos presentes en las raíces, al encontrarse en contacto directo con el suelo, tienen una mayor probabilidad de liberarse rápidamente durante la descomposición y quedar disponibles en el entorno inmediato donde ocurre la germinación de las semillas. Además, la acción conjunta de los microorganismos descomponedores y los procesos de lixiviación favorecen que estos metabolitos pasen más pronto a la solución del suelo, aumentando así sus posibilidades de interactuar con el banco de semillas.

Este aspecto es crucial, ya que lo que se evalúa en el bioensayo (el efecto pre emergente sobre la germinación y la elongación radicular) refleja un escenario muy cercano al que podría ocurrir en el campo, donde la liberación temprana de estos compuestos desde el rastrojo radicular podría contribuir de manera efectiva a la supresión de plántulas competidoras.

Los extractos de vicia (VR y VH) presentaron inhibiciones intermedias, de aproximadamente 40 y 50 % en las concentraciones más altas, con diferencias significativas en algunos casos. Si bien estos valores son menores que los alcanzados por el centeno, resulta especialmente relevante que la inhibición en vicia se mantuvo estadísticamente significativa hasta la tercera concentración (400 ppm), siendo el único tratamiento, además del control herbicida, que logró este nivel de respuesta a concentraciones más bajas. Este comportamiento sugiere que los compuestos liberados por los rastrojos de vicia podrían ejercer efectos alelopáticos efectivos incluso en condiciones donde la concentración de los compuestos en el suelo se vea reducida.

En contraste, los extractos de avena (AH y AR) provocaron reducciones más moderadas (10 y 40 %), sin superar inhibiciones del 50 % en ninguna concentración. No obstante, este resultado no es concluyente, ya que en el caso del extracto aéreo de

avena (AH) se perdieron las placas correspondientes a las concentraciones más altas (600 y 800 ppm) debido al desarrollo de hongos, lo que obligó a descartar esos datos.

Aun así, el hecho de que el extracto aéreo mostrara inhibiciones significativas desde la tercera concentración (400 ppm) sugiere que es posible que en las concentraciones superiores se hubieran alcanzado reducciones mayores, lo que limita la interpretación final pero deja abierta la posibilidad de un efecto alelopático más marcado del que los datos actuales reflejan.

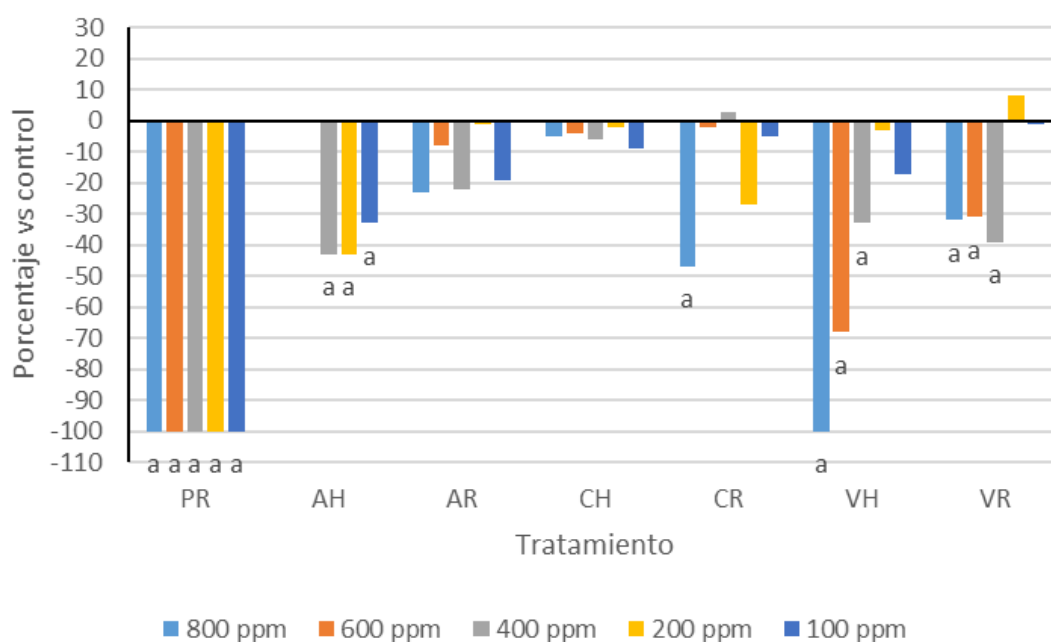
Los resultados indican que los rastrojos de centeno tuvieron el mayor impacto inhibitorio sobre el crecimiento radicular, seguidos por los de vicia, mientras que los de avena mostraron efectos más limitados.

4.1.3. Efecto de los rastrojos sobre la longitud de hipocótilo de *Lactuca sativa*

Al evaluar la variable longitud de hipocótilo, los resultados de inhibición se vieron muy dependientes de cada tratamiento, siendo los extractos de avena rastrojo parte aérea (AH), Centeno rastrojo radicular (CR) y vicia en ambas partes (VH y VR), los tratamientos que mostraron mayor inhibición (Figura 3).

Figura 3

Reducción de longitud del hipocótilo de Lactuca sativa respecto al control por extractos de rastrojo



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

Los extractos de vicia (VR y VH) presentaron las mayores inhibiciones. En el caso de la parte aérea de este rastrojo de vicia, las reducciones alcanzadas fueron de 100%, 70% y 30% para concentraciones de 800 ppm, 600 ppm y 400 ppm respectivamente, donde la máxima concentración alcanzó lo mismos valores de control que el control positivo con herbicida. En el caso del rastrojo radicular de vicia los valores de inhibición resultaron un poco menores a los anteriores, alcanzando inhibiciones entre 30% y 40%, igualmente significativas en los tres tratamientos más concentrados. Estos resultados tienen sentido con lo obtenido al evaluar largo radicular, donde los resultados siguen un mismo patrón.

El rastrojo de avena aérea (AH) presenta reducciones significativas respecto al control negativo en todas las diluciones utilizadas, a pesar de que las concentraciones más altas no pudieron ser evaluadas debido a la pérdida por hongos. A diferencia de

estos resultados, los extractos del rastrojo radicular de avena (AR), no provocaron reducciones significativas en ninguna de las concentraciones evaluadas.

En centeno, cuando se evaluó el extracto de rastrojo radicular, la concentración máxima (800 ppm) fue la única que alcanzó diferencias significativas. Por otra parte, ninguna de las concentraciones en las que se evaluó los extractos del rastrojo de centeno parte aérea (CH), generaron inhibición de la longitud del hipocótilo.

Se observa mayor variación en los resultados del análisis de longitud de hipocótilo, con respuestas erráticas. Esto demuestra que este indicador no es tan certero como la longitud de radícula. Cabe aclarar que por más que los resultados no sean lo esperado esto no implica que no exista potencial alelopático.

4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS DE CS SOBRE *AMARANTHUS PALMERI*

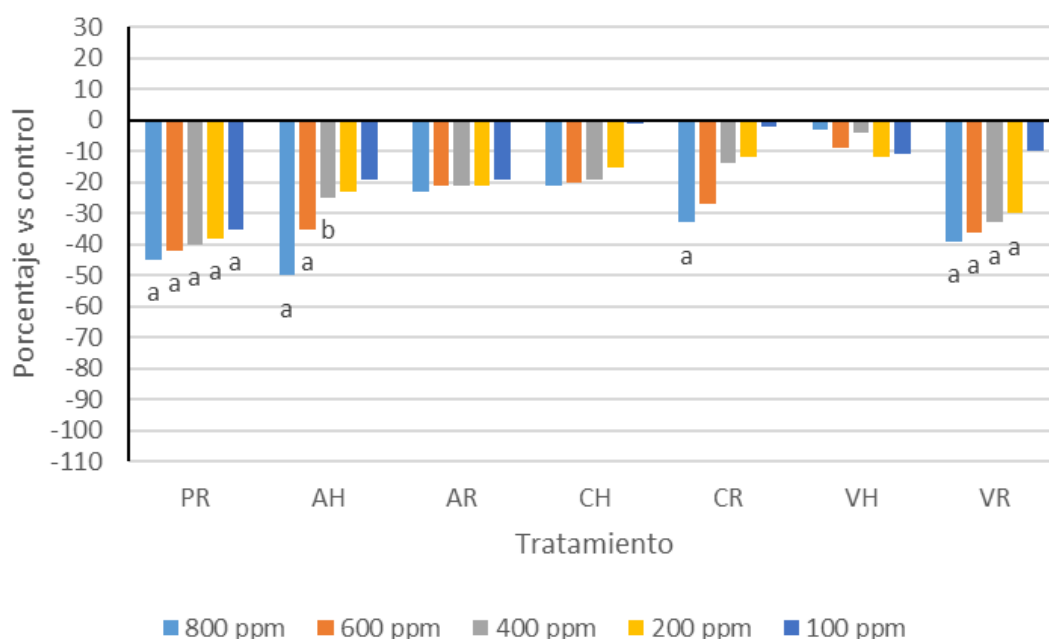
Como las semillas fueron pre germinadas, la variable efecto en la germinación no fue evaluada para yuyo colorado.

4.2.1. Efectos de los rastrojos sobre la longitud de radícula de *Amaranthus palmeri*

Al evaluar la variable longitud radicular de *A. palmeri*, todos los tratamientos mostraron una tendencia general a reducir el desarrollo radicular. Los tratamientos que provocaron la mayor inhibición fueron avena rastrojo parte aérea (AH), centeno rastrojo parte radicular (CR) y vicia rastrojo parte radicular (VR).

Figura 4

*Reducción de radícula de *Amaranthus palmeri* respecto al control por exposición a extractos de rastrojo*



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

Entre los extractos evaluados, el rastrojo aéreo de avena (AH) y el rastrojo radicular de vicia (VR) fueron los que provocaron las mayores reducciones en la longitud radicular, mostrando efectos muy similares a los del control positivo con herbicida.

El rastrojo aéreo de avena a 800 ppm fue el tratamiento que produjo la mayor reducción significativa en la longitud radicular de *Amaranthus* ($p < 0,01$), superando incluso numéricamente al control positivo con herbicida (PR). La exposición a este extracto alcanzó una reducción del 50% en comparación con el 40% por parte del herbicida. A una concentración de 600 ppm, la reducción radicular mostró menor significancia ($0,01 \leq p \leq 0,05$), aunque con un efecto muy similar al control positivo con herbicida (PR), cerca del 40%.

El extracto de rastrojo radicular de vicia logró inhibiciones significativas de 40% en la mayor concentración evaluada, manteniendo reducciones similares hasta la cuarta concentración analizada (200 ppm). Este efecto sostenido a lo largo de la disminución de la concentración, sugiere una estabilidad en la actividad del extracto y una funcionalidad que se mantiene incluso a concentraciones mucho más diluidas.

El resto de tratamientos (AR, CH y VH) tendieron a inhibir la longitud de radícula pero no superaron una reducción del 20%, excepto el extracto de rastrojo radicular de centeno a 600 ppm, que alcanzó casi un 30% de inhibición. A pesar de esto, ninguno de los mencionados alcanza a lograr reducciones significativas en la longitud de radícula de *Amaranthus*.

Estos resultados sugieren que avena y vicia podrían lograr efectos alelopático reales sobre *Amaranthus palmeri* a nivel de campo, incluso si la producción de biomasa de estos cultivos no es elevada, o si las condiciones ambientales o de suelo reducen la concentración de los compuestos liberados por sus rastrojos, a diferencia de otros cultivos como Centeno. Aunque la avena mostró valores numéricamente un poco más altos que vicia, ambos tratamientos presentaron diferencias significativas incluso a concentraciones bajas. Por otro lado, considerando que en vicia los buenos resultados se obtuvieron de la raíz y en avena de la parte aérea, podría plantearse la hipótesis de que los compuestos presentes en la raíces de vicia estarían disponibles de una forma más rápida que los de avena, aunque esto debería confirmarse en estudios futuros.

En este caso se analizó la respuesta de una maleza problemática en lugar de un cultivo sensible indicador como *L. sativa* frente a los extractos de rastrojo de las especies evaluadas. Era esperable que las reducciones fueran menores, lo que también se refleja en el control positivo. Esto puede explicarse porque los efectos alelopáticos dependen de la especie objetivo: mientras que en *L. sativa* el centeno mostró un alto potencial de inhibición, en *Amaranthus* los efectos fueron más limitados, observándose reducciones solo a concentraciones elevadas. En cambio, avena y vicia se perfilan como candidatos más prometedores para el control de esta maleza.

Aunque la información sobre la supresión de *Amaranthus palmeri* mediante cultivos de servicio (CS) en fase de barbecho es limitada, y considerando que los efectos supresores de los CS son altamente específicos de cada especie, de forma orientativa puede compararse con el manejo de otras malezas latifoliadas con flujos de emergencia primavera-estivales similares, como *Conyza* sp. Según Fernández (2019), durante el barbecho posterior a CS, la cobertura de malezas latifoliadas disminuyó en todas las

parcelas con rastrojo de CS en comparación con el testigo sin cobertura, aunque con magnitudes variables según la especie de CS. Entre los CS gramíneos evaluados, el rastrojo de avena mostró mayor capacidad de supresión de nuevas malezas latifoliadas que el de centeno, probablemente debido a la mayor cantidad de rastrojo que dejaba. Este efecto también se observó a los 25 días post-siembra de soja, cuando la yerba carnícera apareció solo en parcelas testigo, sugiriendo un efecto supresor residual del rastrojo que puede estar potenciado por la acción alelopática de avena y centeno.

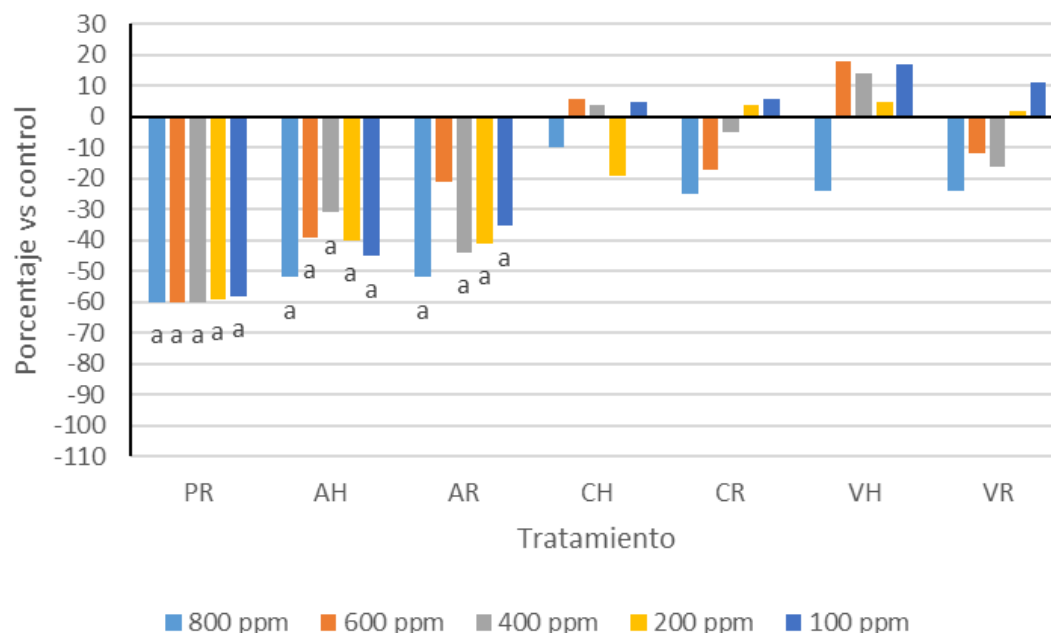
Azcoitía y Giudice (2024) observaron reducción del enmalezamiento por vicia y avena negra, siendo esta última más efectiva. En consecuencia, se podría esperar un efecto similar sobre *Amaranthus palmeri*, que comparte características de germinación y fisiología con la carnícera.

4.2.2 Efectos de los rastrojos sobre la longitud de hipocótilo de *Amaranthus palmeri*

Al evaluar la variable largo de hipocótilo, la magnitud de la inhibición resultó dependiente del tipo de tratamiento. Entre los distintos extractos evaluados, los procedentes de avena, tanto de rastrojo de la parte aérea (AH), como de rastrojo radicular (AR), mostraron la mayor capacidad de inhibición, alcanzando niveles comparables al del control herbicida.

Figura 5

*Reducción de longitud del hipocótilo de *Amaranthus palmeri* respecto al control por extractos de rastrojo*



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

Los extractos de rastrojo de avena evidenciaron un efecto alelopático sobre el desarrollo del hipocótilo, ya que todas las diluciones redujeron significativamente su longitud. Sin embargo, no se observó una tendencia clara de disminución en la magnitud de este efecto a medida que se redujo la concentración del extracto.

Considerando tanto los resultados obtenidos en este estudio como los registrados para la variable longitud de radícula de *Amaranthus*, el cultivo de avena se perfila como el cultivo con mayor potencial alelopático sobre esta maleza.

En los tratamientos con centeno y vicia no se registraron reducciones significativas en la longitud del tallo. Algunas concentraciones incluso promovieron el crecimiento, mientras que otras lo redujeron sin un patrón consistente, aunque ninguno de estos efectos fue estadísticamente significativo. Si bien la longitud del hipocótilo no

es un indicador óptimo de actividad alelopática, su presencia indica que la planta pudo continuar su desarrollo tras el contacto de la radícula con el extracto.

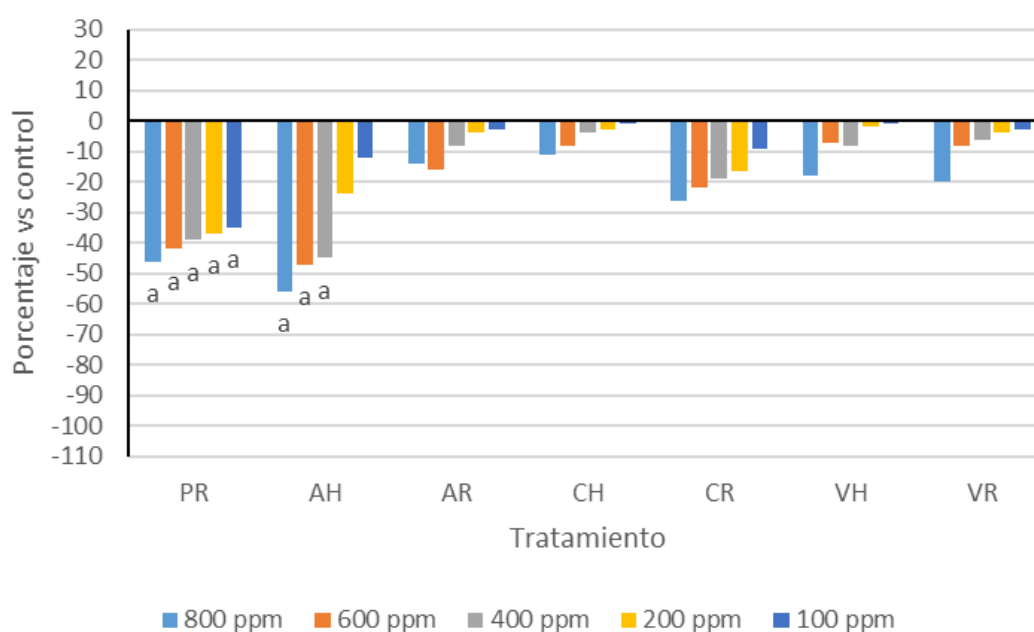
4.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE DISTINTOS RASTROJOS SOBRE *ECHINOCHLOA COLONA*

4.3.1 Efectos de los rastros sobre largo de radícula de *Echinochloa colona*

En relación con la longitud de radícula, todos los tratamientos mostraron una tendencia a reducir este parámetro. No obstante, únicamente el extracto de rastrojo aéreo de avena (AH) produjo una disminución significativa (Figura 6).

Figura 6

Reducción de radícula de Echinochloa colona respecto al control por exposición a extractos de rastrojo



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia. Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

El extracto de rastrojo aéreo de avena (AH) fue el único capaz en reducir significativamente la longitud de radícula de *Echinochloa colona*, con efectos

consistentes hasta la concentración de 400 ppm (p valor $< 0,01$). Además, AH fue capaz de reducir la longitud incluso en mayor magnitud (45 a 50%) que el control positivo con herbicida (30 a 45%). Este resultado posiciona a la avena como un cultivo con potencial alelopático frente a *Echinochloa colona*.

El resto de tratamientos lograron reducciones menores a 20% pero en ningún caso resultaron significativas, lo cual podría explicarse por especificidad de los compuestos alelopáticos de estos cultivos.

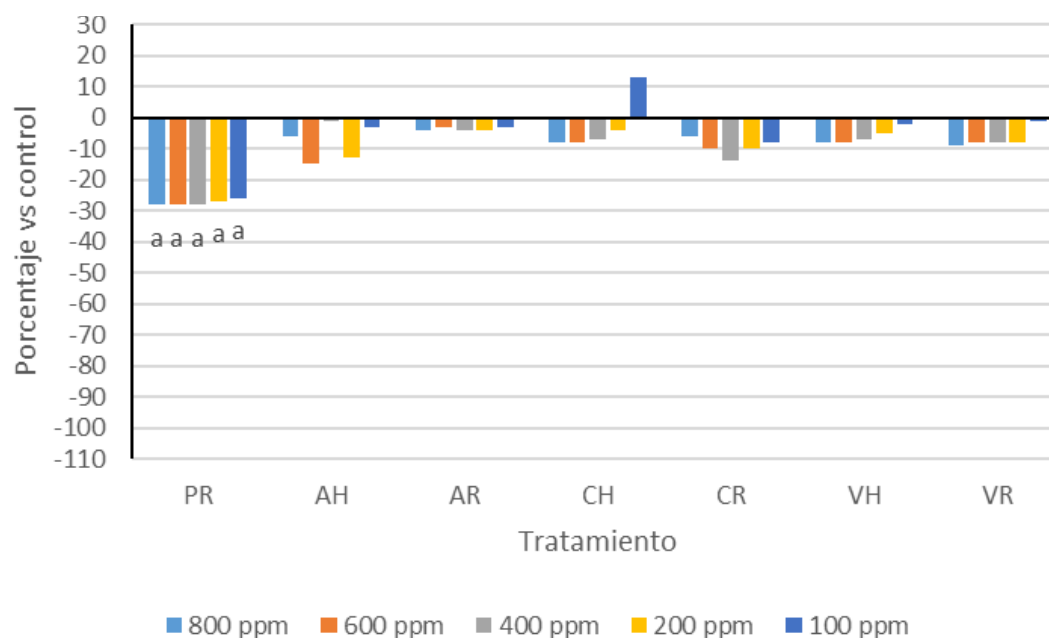
Al comparar estos resultados con lo reportado por Fernández (2019) en ensayos a campo con la introducción de cultivos de servicio (CS), se observa una coincidencia en las tendencias. En la etapa de barbecho, luego de la desecación química de los CS, el rastreo de avena negra, tanto en forma pura como en mezcla con vicia, logró reducir significativamente el enmalezamiento gramíneo (principalmente *Echinochloa colona* y *Digitaria sanguinalis*) en relación con el testigo que había permanecido en barbecho durante el invierno anterior. Este efecto, según el mismo informe, se extendió también al cultivo siguiente: en soja, las parcelas que habían tenido avena negra el invierno previo presentaron un enmalezamiento de *E. colona* significativamente menor que el testigo sin cobertura e incluso que otros CS. Si bien dicha reducción se explicó principalmente por la elevada acumulación de rastreo, que actuó como barrera física al limitar la radiación necesaria para gatillar la germinación de las malezas, los resultados permiten plantear la hipótesis de que este efecto de cobertura podría complementarse con un potencial alelopático de las hojas de avena. Dado su lenta degradación en el suelo, estas hojas aportarían efectos residuales que se extienden dentro del cultivo y hasta el invierno siguiente, como demostraron Azcoitia y Giúdice (2024).

4.3.2 Efectos de los rastreos sobre el largo de coleoptile de *Echinochloa colona*

Para la variable longitud del coleoptile, si bien todos los tratamientos tendieron a reducir la longitud del mismo, ningún extracto de rastreo logró reducciones significativas respecto al control sin herbicida.

Figura 7

Reducción de longitud del coleptile de Echinochloa colona respecto al control por extractos de rastrojo



Nota. PR = Control Herbicida. AH = Rastrojo parte aérea avena. AR = Rastrojo parte radicular avena. CH = Rastrojo parte aérea centeno. CR = Rastrojo parte radicular Centeno. VH = Rastrojo parte aérea vicia. VR = Rastrojo parte radicular vicia.

Porcentajes de reducción con una letra **a** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con un p valor $\leq 0,01$. Porcentajes de reducción con una letra **b** indican que el resultado es significativamente diferente al control negativo con $0,01 \leq p$ valor $\leq 0,05$.

La única reducción significativa, con alta significancia estadística ($p < 0,01$), se registró en el control con herbicida (PR) para todas las concentraciones, alcanzando un 30%. Este efecto fue menor en comparación con el logrado en la longitud de radícula, donde las reducciones variaron entre 30 a 45%. En contraste, los tratamientos con extractos de rastrojo no superaron el 15% de reducción de crecimiento y ninguno resultó significativo. En general, todos tendieron a reducir el crecimiento a excepción del extracto de rastrojo aéreo de centeno (CH), que promovió el crecimiento a un 10% sin ser significativo.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo cumplió con el objetivo de evaluar el potencial alelopático de rastros de *Avena strigosa* (avena negra), *Vicia villosa* (vicia) y *Secale cereale* (centeno) en la supresión de *Amaranthus palmeri* (yuyo colorado) y *Echinochloa colona* (capín).

Los resultados obtenidos permiten concluir que la avena fue la especie con mayor capacidad inhibitoria sobre *Amaranthus palmeri* y *Echinochloa colona*, evidenciando efectos consistentes y en algunos casos superiores a los alcanzados por el control herbicida. En particular, los extractos de la parte aérea redujeron significativamente la longitud radicular de *A. palmeri* y *E. colona*, y también mostraron un efecto claro sobre el hipocótilo de *Amaranthus*, lo que refuerza la relevancia de esta especie como cultivo de servicio con potencial para el manejo de malezas problemáticas.

La vicia también mostró un efecto destacado en la reducción del crecimiento radicular, aunque con un comportamiento más específico que la avena. Mientras esta última inhibió de forma consistente a ambas malezas, la vicia generó reducciones claras y significativas únicamente en *Amaranthus palmeri*, especialmente a partir de los extractos radiculares. Lo relevante es que este efecto se mantuvo incluso en concentraciones bajas, lo que sugiere la presencia de compuestos con alta eficacia y estabilidad en el suelo, capaces de complementar el rol de otros cultivos de servicio en la supresión de malezas.

En contraste, el centeno mostró un fuerte potencial alelopático sobre la especie indicadora *Lactuca sativa*, particularmente en los extractos radiculares, que alcanzaron reducciones cercanas al 70% en la elongación radicular. Sin embargo, este efecto no se trasladó con la misma intensidad a las malezas objetivo, donde las reducciones fueron limitadas y en la mayoría de los casos no alcanzaron significancia estadística. Esto indica que el centeno puede contener metabolitos con alta actividad biológica, pero con una especificidad de acción que no necesariamente se expresa frente a *Amaranthus palmeri* o *Echinochloa colona*.

En conjunto, los resultados respaldan la hipótesis de que ciertos cultivos de servicio, en particular avena y vicia, poseen un potencial alelopático que podría contribuir a la supresión de malezas. Este potencial se expresa en la capacidad de liberar metabolitos secundarios con acción inhibitoria, lo que otorga un valor agregado a estas especies dentro de estrategias de manejo integrado de malezas, especialmente

frente a problemáticas como *Amaranthus palmeri* y *Echinochloa colona*. No obstante, dado que los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas, estos resultados no permiten afirmar que el mismo efecto se exprese en campo, por lo que futuros estudios deberían validar esta hipótesis en sistemas productivos reales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adhikari, L., Mohseni-Moghadam, M., & Missaoui, A. (2018). Allelopathic effects of cereal rye on weed suppression and forage yield in alfalfa. *American Journal of Plant Sciences*, 9(4), 685-700. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.94054>
- Álvarez, S., Siri-Prieto, G., Rey, L., Abbate, S., Ernst, O., Piñeiro, G., & Dabalá, L. (2023). *Agricultura: Diversidad planificada*. INIA. https://ausid.com.uy/wp-content/uploads/2024/02/Revista_FPTA_2da_Edicion-2.pdf
- Amat Jiménez, P. J. (2022). *Caracterización morfológica de las malezas del género Echinochloa* [Trabajo final de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Babahoyo. <https://dspace.utb.edu.ec/items/9c1409a3-b3e2-4eee-aa5a-0cdf36a3d116>
- Azcoitía, A., & Giudice, M. (2024). *Efecto residual de distintos cultivos de servicio sobre el enmalezamiento invernal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/50197>
- Baigorria, T., Gómez, D., Cazorla, C., Lardone, A., Bojanich, M., Aimetta, B., Bertolla, A., Cagliero, M., Vilches, D., Rinaudo, D., & Canale, A. (2011). *Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/232-vicia.pdf
- Bàrberi, P. (2004). Métodos preventivos y culturales para el manejo de malezas. En R. Labrada (Ed.), *Manejo de malezas para países en desarrollo: Addendum I*. FAO. <https://www.fao.org/4/y5031s/y5031s0e.htm>
- Barnes, J. P., & Putnam, A. R. (1986). Evidence for allelopathy by residues and aqueous extracts of rye (*Secale cereale*). *Weed Science*, 34(3), 384-390. <https://doi.org/10.1017/S0043174500067035>
- Bastos, M., Feller, D., & Ingold, J. (2007). *Efectos del cultivo de cobertura y grupo de madurez en el contenido de agua del suelo y rendimiento de soja* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/33602>

- Bensch, E., Schälchli, H., Jobet, C., Seemann, P., & Fuentes, R. (2009). Potencial alelopático diferencial de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) chileno sobre algunas malezas asociadas al cultivo en el sur de Chile. *Idesia*, 27(3), 77-88.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292009000300010>
- Besozzi, J. A., & Soñora, M. (2020). *Control químico de Amaranthus palmeri* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/31376>
- Blanco, Y. (2006). La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 5-16.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825001.pdf>
- Capurro, J., Dickie, M. J., Surjack, J., Monti, J., Ninfi, D., Zazzarini, A., Tosi, E., Andriani, J., & González, M. C. (2024). Cultivos de cobertura en el sur de la provincia de Santa Fe. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 92-104). INTA.
https://www.researchgate.net/publication/380889553_Contribuciones_de_los_cultivos_de_cobertura_a_la_sostenibilidad_de_los_sistemas_de_produccion
- Capurro, P., & Sotelo, E. (2010). *Interferencia alelopática de cultivares de cebada sobre Lolium multiflorum* L. [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/23530>
- Collares, M. (2018). *Factores suelo y planta en la expresión de la actividad alelopática en cultivares de cebada* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29474>
- Dahiya, S., Kumar, S., Singh Khedwal, R., & Ram Jakhar, S. (2017). Allelopathy for sustainable weed management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(SP1), 832-837.
<https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6S/PartT/SP-6-6-200.pdf>
- Dos Santos, J., & Etchegoimberry, P. (2016). *Evaluación de tratamientos herbicidas de pre y postemergencia para el control de capín (Echinochloa colona) en soja* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/19718>

- Ducca, F., & Zonetti, P. (2008). Efeito alelopático do extrato aquoso de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) na germinação e desenvolvimento de soja (*Glycine max* L. Merril). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 1(1), 101-109.
<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/510/368>
- Fernández, G. (2019). *Informe final: Etapa 2*. Universidad de la República.
https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/CdA_2_FAGRO_Informe_Final.pdf
- Garay, J. A. (2018). Los cultivos de cobertura como una estrategia de control de malezas con menor impacto ambiental. *Horizonte A*, 14(110), 47-51.
https://issuu.com/horizonteadigital/docs/ha_110_digital/46
- Geddes, C. M., Cavalieri, A., Daayf, F., & Gulden, R. H. (2015). The allelopathic potential of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) mulch. *American Journal of Plant Sciences*, 6(16), 2651-2663.
https://www.researchgate.net/publication/283344789_The_Allelopathic_Potential_of_Hairy_Vetch_Vicia_villosa_Roth_Mulch
- Gilsanz, J. (2008). *Jornada abonos verdes: Jardín de abonos verdes de invierno: Día de campo*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/537/1/18429261108095122.pdf#page=4.08>
- Inderjit, & Dakshini, K. M. M. (1995). On laboratory bioassays in allelopathy. *The Botanical Review*, 61(1), 28-44.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02897150>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2017, 10 de octubre). *Alerta Amaranthus*. <https://inia.uy/noticias/alerta-amaranthus>
- Instituto Nacional de Semillas. (s.f.). *RNC-RPC: Evaluación y registro de cultivares*.
<https://www.inase.uy/EvaluacionRegistro/RNC-RPC.aspx?v=y>
- Kahl, M. B., & Ecclesia, R. P. (2023). Control de malezas por cultivos de servicio previo a maíz temprano. *Serie de extension INTA Paraná*, (90), 29-36.
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/14980>
- Kahl, M. B., Ecclesia, R. P., Marnetto, M. J., & Maydana, H. C. (2020). Supresión de malezas por los cultivos de servicio. *Serie de extension INTA Paraná*, (88), 36-46. <https://files.core.ac.uk/download/479928727.pdf>

- Kamo, T., Endo, M., Sato, M., Kasahara, R., Yamaya, H., Hiradate, S., Fujii, Y., Hirai, N., & Hirota, M. (2008). Limited distribution of natural cyanamide in higher plants: Occurrence in *Vicia villosa* subsp. *varia*, *V. cracca*, and *Robinia pseudo-acacia*. *Phytochemistry*, 69(5), 1166-1172.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.11.004>
- Kaspary, T., García, A., Jorajuría, P., & Cabrera, M. (2020). Uso de avena negra y rolado en el manejo de malezas. *Revista INIA*, (61), 47-51.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-61-Junio-2020.pdf>
- Kaspary, T., García, A., Marques, S., Cabrera, M., García, E., & García, R. (2020). Identificación de ocurrencia y manejo de yuyos colorados (*Amaranthus* spp.) resistentes a herbicidas en Uruguay. *Revista INIA*, (62), 50-54.
<https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-62-Setiembre-2020-p-50-54.pdf>
- Kaspary, T., García, M., & Cabrera, M. (2022). *Criterios para implantación de cultivos de servicio gramíneos con foco en el manejo de malezas*. INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16372/1/Cartilla-INIA-98-2022.pdf>
- Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., & Kropff, M. J. (2009). Cover crop residue management for optimizing weed control. *Plant and Soil*, 318(1-2), 169-184.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-008-9827-6#citeas>
- Kruidhof, H. M., Gallandt, E. R., Haramoto, E. R., & Bastiaans, L. (2011). Selective weed suppression by cover crop residues: Effects of seed mass and timing of species' sensitivity. *Weed Research*, 51(2), 177-186.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3180.2010.00825.x>
- Ley n° 18.564: *Regulación del uso y manejo de las aguas y el suelo. Sanciones por incumplimiento*. (2009). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18564-2009/2>
- Liebl, R., & Worsham, A. D. (1987). Interference of italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, 35(6), 819-823.
<https://doi.org/10.1017/S0043174500079406>
- Marchesi, C. (2021). *Capines resistentes a herbicidas... ¡a no descuidarse! Arroz*, 21(103), 62-66. <https://www.aca.com.uy/revista-no-103/>

- Osipitan, O. A., Dille, J. A., Assefa, Y., & Knezevic, S. Z. (2018). Cover crop for early season weed suppression in crops: Systematic review and meta-analysis. *Agronomy Journal*, 110(6), 2211-2221.
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.12.0752>
- Rampoldi, A., Metzler, M., Re, A., & Urretabizkaya, N. (2016) *Emergencia de Echinochloa spp. en el centro-este de Entre Ríos*.
<https://malezascrea.org.ar/wp-content/uploads/2018/10/Emergencia-de-Echinochloa-spp.-en-el-centro-este-de-Entre-R%C3%ADos-A.-Rampoldi-M.-Metzler-y-N.-Urretabizkaya.pdf>
- Red de manejo de plagas de AAPRESID. (s.f.). *Dinámica de emergencias*.
<https://www.aapresid.org.ar/rem-malezas/mapa-malezas/emergencias>
- Sampietro, D. A. (2003). *Alelopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/19-alelopatia.pdf
- Sawchik, J., Siri, G., Ayala, W., Barrios, E., Bustamante, M., Ceriani, M., Gutiérrez, F., Mosqueira, J., Otaño, C., Pérez, M., Piñeiro, G., Pinto, P., Terra, J., & Zarza, R. (2015). El sistema agrícola bajo amenaza: ¿Qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas? En A. Ribeiro & M. Barbazán (Eds.), *IV Simposio Nacional de Agricultura: Buscando el camino para la intensificación sostenible para la agricultura* (pp. 149-167). Universidad de la República.
- Scavo, A., & Mauromicale, G. (2021). Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: Knowing the present with a view to the future. *Agronomy*, 11(11), Artículo e2104. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/11/2104>
- Spara, A. F., & Vernengo, E. A. (2023). *Especies invernales utilizadas como verdeos de Invierno: Generalidades y datos de producción para la zona de influencia de la UNLu*. EdUNLu. https://www.researchgate.net/publication/376407036_Especies_Invernales_utilizadas_como_Verdeos_de_Invierno_Generalidades_y_datos_de_produccion_para_la_zona_de_influencia_de_la_UNLu

- Sun, W., Yang, C., Shan, X., An, M., & Wang, X. (2022). Allelopathic toxicity of cyanamide could control Amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.) in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Field. *Molecules*, 27(21), Artículo e7347. <https://doi.org/10.3390/molecules27217347>
- Tabaglio, V., Morocco, A., & Schulz, M. (2013). Allelopathic cover crop of rye for integrated weed control in sustainable agroecosystems. *Italian Journal of Agronomy*, 8(1), 35-40. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e5>
- Teasdale, J. R. (1993). Interaction of light, soil moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Science*, 41(1), 46-51. <https://doi.org/10.1017/S0043174500057568>
- Vail, G. D., & Oliver, L. R. (1993). Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) interference in soybeans (*Glycine max*). *Weed Technology*, 7(1), 220-225.
- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D., Haig, T., & An, M. (2001). Screening methods for the evaluation of crop allelopathic potential. *The Botanical Review*, 67(3), 403-415. <https://doi.org/10.1007/BF02858100>
- Zhang, Z., Liu, Y., Yuan, L., Weber, E., & van Kleunen, M. (2021). Effect of allelopathy on plant performance: A meta-analysis. *Ecology letters*, 24(2), 348-362. <https://doi.org/10.1111%2Fele.13627>