

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVALUACIÓN DEL USO DEL CENTENO (*SECALE CEREALE* L.) COMO
CULTIVO DE COBERTURA PARA REDUCIR MALEZAS EN EL CULTIVO DE
POROTO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.).**

POR

SEBASTIÁN ESTEBAN CONTRERAS QUIJADA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2026**

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DEL USO DEL CENTENO (*SECALE CEREALE* L.) COMO
CULTIVO DE COBERTURA PARA REDUCIR MALEZAS EN EL CULTIVO DE
POROTO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.)**

POR

SEBASTIÁN ESTEBAN CONTRERAS QUIJADA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2026**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Nelson Zapata S.

Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

Guía

Investigador Asociado, Lorenzo León G.

Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Guía Externo

Profesor Asistente, Abdelhalim Khaled E.

Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

Asesor

Profesor Asistente, Miguel Garriga C.

Biólogo, Dr. Cs.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.

Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

| | Página |
|------------------------------|---------------|
| Resumen | 1 |
| Summary | 1 |
| Introducción | 2 |
| Materiales y Métodos | 6 |
| Resultados y Discusión | 9 |
| Conclusiones | 20 |
| Referencias | 21 |
| Apéndices | 25 |
| Anexos | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1 Densidad de plantas de poroto transcurridos 53 días desde su establecimiento según tratamiento..... | 14 |
| Figura 2 Contenido de clorofila en poroto a distintos días después de la siembra (DDS) según tratamiento..... | 16 |
| Figura 3 Evolución del contenido volumétrico de agua del suelo según el tratamiento..... | 17 |
| Figura 4 Rendimiento y componentes de rendimiento del poroto según tratamiento..... | 19 |
| Tabla 1 Densidad y peso seco de malezas por morfotipo según el tratamiento..... | 9 |
| Tabla 2 Densidad de malezas por especie según tratamiento..... | 11 |
| Tabla 3 Peso seco de malezas por especie según tratamiento..... | 13 |

ÍNDICE DE APÉNDICES Y ANEXOS

| | Página |
|---|---------------|
| Apéndice 1 Rastrojo de centeno post - rolado (roller crimper), condición del residuo antes de la siembra del poroto | 25 |
| Apéndice 2 Separación botánica de malezas, cuadrante de 25 × 25 cm y clasificación por morfotipo..... | 26 |
| Anexo 1 Análisis químico del suelo del sitio experimental (0 - 20 cm), INIA Santa Rosa, Ñuble..... | 26 |

EVALUACIÓN DEL USO DEL CENTENO (*SECALE CEREALE* L.) COMO CULTIVO DE COBERTURA PARA REDUCIR MALEZAS EN EL CULTIVO DE POROTO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.).

EVALUATION OF RYE (*SECALE CEREALE* L.) AS A COVER CROP FOR WEED SUPPRESSION IN COMMON BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.)

Palabras clave: Control de malezas, cultivos anuales, leguminosas de grano, manejo integrado de malezas.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del centeno (*Secale cereale* L.) como cultivo de cobertura previo al poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) durante la temporada 2024 - 2025. El ensayo incluyó seis tratamientos con distintas dosis de siembra (80 - 220 kg ha⁻¹), con y sin herbicida preemergente y un control sin cobertura. Se midieron densidad y composición de malezas a los 53 días después de la siembra (DDS), contenido volumétrico de agua del suelo entre 40 y 83 DDS, contenido de clorofila de hoja (SPAD) entre 41 y 103 DDS y rendimiento y sus componentes a cosecha. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en densidad ni en biomasa total de malezas; no obstante, los tratamientos con centeno o con herbicida preemergente mostraron una tendencia a menor presión respecto del control. La cobertura disminuyó rábano entre hileras, mientras que las variaciones sobre hilera se asociaron a vacíos de establecimiento. El contenido de agua fue mayor a 69 DDS en tratamientos con cobertura y herbicida. El SPAD superó al control solo a 103 DDS. En rendimiento, la dosis más alta (220 kg ha⁻¹) superó al control y a la dosis más baja, mientras que las dosis intermedias resultaron equivalentes. Se concluye que lograr una cobertura efectiva, finalizar oportunamente y asegurar una siembra uniforme es más relevante que aumentar la dosis, permitiendo suprimir malezas, mejorar la humedad del suelo y sostener la productividad del cultivo.

SUMMARY

The effect of rye (*Secale cereale* L.) as a cover crop preceding common bean

(*Phaseolus vulgaris* L.) was evaluated during the 2024 - 2025 season. The trial included six treatments with different seeding rates (80 - 220 kg ha⁻¹), with and without a pre - emergent herbicide, plus a no-cover control. Weed density and species composition were assessed 53 days after sowing (DAS), soil volumetric water content between 40 and 83 DAS, leaf chlorophyll (SPAD) between 41 and 103 DAS, and yield and its components at harvest. No statistically significant differences were detected in weed density or total weed biomass; nevertheless, treatments with rye or with a pre-emergent herbicide showed a trend toward lower weed pressure compared with the control. Rye cover reduced wild radish between rows, whereas on-row variation was associated with establishment gaps. Soil water content was higher at 69 DAS in treatments with cover and herbicide. SPAD values exceeded the control only at 103 DAS. Regarding yield, the highest seeding rate (220 kg ha⁻¹) outperformed both the control and the lowest rate, whereas intermediate rates were similar. We conclude that achieving effective cover, timely termination, and uniform sowing are more important than increasing seeding rate, enabling weed suppression, improved soil moisture, and sustained crop productivity.

INTRODUCCIÓN

El poroto común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo relevante en los sistemas agrícolas de clima mediterráneo por su aporte a la seguridad alimentaria, la diversificación de rotaciones y la generación de ingresos para la pequeña y mediana agricultura. La interferencia de malezas en las fases iniciales reduce el rendimiento, incrementa los costos y refuerza la dependencia de los herbicidas. Se define maleza como “una planta que ocasiona un perjuicio económico o ecológico, representa un riesgo para la salud de las personas o de los animales, o se considera indeseable en su lugar de crecimiento” (WSSA, 2016). En este contexto, surge interés por estrategias que disminuyan la presión de selección de resistencia y la carga total de herbicidas, entre ellas el uso de cultivos de cobertura (CC) como herramienta del manejo integrado de malezas.

Entre los CC de invierno, el centeno (*Secale cereale* L.) destaca por su alta producción de biomasa, rusticidad, tolerancia a bajas temperaturas y capacidad

para establecerse en siembras tempranas de otoño. Revisiones y estudios recientes indican que el centeno es particularmente eficaz para suprimir malezas, con un nivel de control que depende en gran medida del manejo (momento de siembra y de terminación, densidad y fertilidad) y del ambiente (clima y régimen de precipitaciones) (Osipitan *et al.*, 2019; Silva y Bagavathiannan, 2023). La supresión se explica por mecanismos complementarios: el rastrojo superficial reduce la luz incidente y amortigua la amplitud térmica; se modifica el ambiente lumínico en el estrato basal (menor PAR y menor relación rojo / rojo lejano, R:FR), lo que desfavorece la emergencia; se genera competencia temprana por espacio, agua y nutrientes; y se suman efectos alelopáticos de compuestos benzoxazinoides (BX) liberados desde tejido fresco y residuos (Rice *et al.*, 2012; Schulz *et al.*, 2013; Hazrati *et al.*, 2020; Silva y Bagavathiannan, 2023).

Un hallazgo consistente en la literatura es que la biomasa del CC determina en gran medida el grado de supresión: mayor cantidad de rastrojo implica mayor persistencia, menor transmisión de luz y menor éxito de emergencia (Osipitan *et al.*, 2019). En inviernos templados, alcanzar una alta biomasa suele requerir una terminación más tardía (cercana a la antesis), lo que maximiza el efecto físico del residuo. Estudios multiambiente reportan que terminar el centeno en la siembra o poco antes rara vez reduce el rendimiento del cultivo siguiente cuando el manejo es adecuado (Silva *et al.*, 2024), y que, cuando se emplean programas de herbicidas bien estructurados, las diferencias de control pueden ser pequeñas si se consigue suficiente rastrojo (Godar *et al.*, 2024). La biomasa del centeno responde fuertemente a la suma térmica (GDD) y a la precipitación; por lo tanto, la dosis de siembra por sí sola no garantiza diferencias relevantes cuando el clima y la fecha de terminación son similares (Crespo *et al.*, 2024).

Además de los efectos físicos sobre la luz y la temperatura, las propiedades alelopáticas del centeno refuerzan la supresión de malezas. Esta especie acumula y libera benzoxazinoides (BX), como DIBOA y DIMBOA, y sus productos de degradación (BOA, MBOA y APO), que inhiben la germinación y el crecimiento inicial de diversas arvenses. La magnitud del efecto depende del estado fenológico al momento de la terminación, de la cantidad y manejo del residuo y de condiciones

edáficas que modulan su persistencia (Rice *et al.*, 2012; Schulz *et al.*, 2013). Los BX también pueden exudarse por las raíces y ser absorbidos por plantas vecinas, aportando un componente rizosférico al efecto (Hazrati *et al.*, 2020). Incluso se ha propuesto una alelopatía inducida: en cocultivo, el centeno puede aumentar la síntesis de BX frente a *Amaranthus* spp., intensificando la supresión (Mushtaq *et al.*, 2024). En Chile, el potencial alelopático del centeno ha sido documentado en materiales locales (Mellado *et al.*, 2008), lo que refuerza su interés como cultivo de cobertura.

En poroto para grano, estos mecanismos se han traducido en reducciones importantes de malezas. En Manitoba (Canadá), integrar centeno otoñal mitigó la presión de malezas e influyó en la productividad en cuatro sitios durante cuatro años; en ausencia de herbicidas, las reducciones oscilaron entre 44 y 72 % para hojas anchas y entre 43 y 88 % para gramíneas al inicio del ciclo (Flood y Entz, 2019). En climas templado - semiáridos, trabajos recientes reportan reducciones de 14 - 80 % en la biomasa de malezas a las ocho semanas posteriores a la siembra cuando se combinan cereales de invierno con programas herbicidas, con variación según el sitio (Bhattarai *et al.*, 2025). Estos resultados muestran que el beneficio neto del CC depende del ambiente, de la biomasa lograda, del momento de terminación y de la estrategia herbicida del sistema.

Desde el punto de vista del manejo, combinar centeno con herbicidas residuales en preemergencia y/o con programas de dos aplicaciones puede disminuir la presión de selección sobre sitios de acción específicos y ayudar a controlar cohortes tempranas que suelen escapar al control mecánico. La efectividad conjunta depende de la persistencia del rastrojo (biomasa y descomposición), de la sincronía entre liberación de BX, liberación de nitrógeno y picos de emergencia de malezas, y de la compatibilidad entre herbicidas residuales y cobertura superficial para asegurar que el ingrediente activo (i.a.) alcance el suelo (Osipitan *et al.*, 2019; Silva y Bagavathiannan, 2023; Godar *et al.*, 2024). En este contexto, definir umbrales prácticos de biomasa de centeno es una pregunta central para productores que buscan reducir el uso de herbicidas sin comprometer la implantación y el rendimiento del poroto.

En Chile, las leguminosas desempeñan un papel relevante en el panorama hortícola. En 2024, la superficie nacional de poroto alcanzó 9.965 ha, con mayor concentración en las regiones de Maule y del Biobío (ODEPA, 2025). Bajo condiciones mediterráneas del centro - sur, con precipitaciones invernales y veranos secos, el uso de centeno como cultivo de cobertura previo al poroto ofrece oportunidades y compromisos: por un lado, el alto potencial de biomasa otoño - invernal puede reducir la aparición de malezas de hoja ancha y gramíneas al inicio de la temporada; por otro, una terminación demasiado tardía podría agotar la humedad del suelo, dificultar la siembra sobre rastrojo y, en última instancia, afectar la densidad de plantas si no se ajustan adecuadamente la dosis, el equipamiento y el calendario de labores.

Respecto del balance hídrico, el rastrojo de centeno puede reducir la evaporación y amortiguar las oscilaciones térmicas superficiales, con efectos positivos en la conservación de agua tras la terminación. La literatura reciente sobre coberturas y mulching indica reducciones consistentes en las tasas de evaporación y una estabilización del ambiente del suelo, con un efecto que depende del material, del grado de cobertura y del contexto edafoclimático (Wang *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2024). En regiones semiáridas, aunque los CC consumen agua durante su crecimiento, la cobertura resultante tiende a compensar ese consumo en el cultivo comercial al disminuir las pérdidas por evaporación y mejorar la infiltración; el efecto neto sobre la humedad puede ser neutro o positivo si existe recarga invernal suficiente (Basche y DeLonge, 2017).

A nivel ecofisiológico, una mayor supresión de malezas mediada por el centeno debiera traducirse en menor competencia por recursos y en condiciones más favorables para el dosel del poroto, lo que puede evidenciarse en indicadores como el contenido relativo de clorofila (SPAD) y en variaciones del contenido volumétrico de agua en la capa superficial del suelo. Cuando la precipitación invernal permite recargar el perfil antes de la terminación, el rastrojo puede ayudar a mantener una franja de humedad más estable durante el establecimiento del cultivo; en cambio, con recarga limitada, prolongar demasiado el ciclo del centeno podría restringir el agua disponible para la siembra. Por ello, la decisión de manejo debe equilibrar el

beneficio del control de malezas con el riesgo asociado al uso de agua.

El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes dosis de siembra de centeno como cultivo de cobertura previo al establecimiento del poroto, analizando su efecto sobre la supresión de malezas, la humedad del suelo y la productividad del cultivo destinado a grano seco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio experimental y el manejo agronómico: el estudio se realizó durante la temporada 2024 - 2025 en el Campo Experimental INIA Santa Rosa (36°32' S, 71°55' O; 220 m s. n. m.), Región de Ñuble, Chile. El clima corresponde al tipo mediterráneo templado, con precipitaciones concentradas en invierno y veranos secos. Según la cartografía edafológica regional, el suelo pertenece al orden Andisol, serie Diguillín, caracterizado por su origen volcánico, alta profundidad y elevado contenido de materia orgánica. En el horizonte 0 - 20 cm, el suelo presentó textura franca (Anexo 1).

Diseño experimental y tratamientos: el diseño experimental fue de bloques completos al azar, con seis bloques y seis tratamientos, totalizando 36 unidades experimentales. Cada parcela midió 6 × 6 m (36 m²). La separación entre parcelas dentro de cada bloque fue de 1 m y entre bloques de 3 m. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T1, control sin cultivo de cobertura (sin siembra de centeno); T2, centeno sembrado a dosis de 80 kg ha⁻¹; T3, centeno sembrado a dosis de 120 kg ha⁻¹; T4, centeno sembrado a dosis de 160 kg ha⁻¹; T5, centeno sembrado a dosis de 160 kg ha⁻¹ más aplicación de herbicida preemergente a la siembra (13 de julio de 2024) con Bacara Forte 360 SC (Bayer; flufenacet 120 g L⁻¹ + flurtamone 120 g L⁻¹ + diflufenican 120 g L⁻¹; SC) a 0,8 L ha⁻¹ en 180 L ha⁻¹ de agua (96 g i.a. ha⁻¹ de cada ingrediente activo); y T6, centeno sembrado a dosis de 220 kg ha⁻¹.

Establecimiento y manejo del cultivo de cobertura: la preparación del suelo incluyó aradura, rastraje y surcado. El cultivo de cobertura correspondió a centeno (*Secale cereale* L.) 'Quicen 02', sembrado manualmente el 13 de julio de 2024 en hileras separadas a 20 cm. Se aplicó fertilización de establecimiento con NPK 9 -

41 - 12 (500 kg ha⁻¹) y nitrógeno como urea (100 kg N ha⁻¹), fraccionado en dos aplicaciones (12 y 26 de septiembre). La semilla se trató con PODIO 200 FS (ANASAC; triticonazol 200 g L⁻¹, formulación FS) a una dosis de 120 mL por 100 kg de semilla. El centeno fue rolado el 18 de noviembre de 2024 mediante rodillo acamador (roller - crimper) y se complementó con Rango Full (ANASAC; glifosato sal potásica 662 g L⁻¹, 540 g e.a. L⁻¹) a 3,0 L ha⁻¹ en 180 L ha⁻¹ de agua.

Establecimiento y manejo del cultivo de poroto: para el presente estudio se empleó poroto común (*Phaseolus vulgaris* L.) 'Zorzal INIA', destinado a la producción de grano seco. La siembra se efectuó el 7 de diciembre de 2024, con 12 hileras por parcela y 0,50 m entre hileras. La dosis de siembra fue de 120 kg ha⁻¹. Previo a la siembra, la semilla se desinfectó con CELEST XL 035 FS (Syngenta; fludioxonil 25 g L⁻¹ + metalaxil-M 10 g L⁻¹, formulación FS) a 150 mL por 100 kg de semilla. La siembra se realizó manualmente en surcos previamente realizados con un surcador de tiro tractor. La fertilización se basó en el análisis de suelo (Anexo 1) y consistió en 175 kg ha⁻¹ de superfosfato triple (80 kg P₂O₅ ha⁻¹), aplicados a la siembra, y 40 kg N ha⁻¹ como urea, fraccionados en 20 kg N ha⁻¹ a la siembra y 20 kg N ha⁻¹ en floración temprana. No se aplicó potasio adicional. El riego fue por aspersión en el establecimiento y luego por tendido cada 10 días. La cosecha se realizó el 16 de abril de 2025, considerando como parcela útil las 4 hileras centrales × 1 m (2,0 m²).

Separación botánica de malezas: la población de malezas se evaluó 53 días después de la siembra (DDS) del poroto. En cada parcela se lanzó al azar un cuadrante de 25 × 25 cm; dentro de este se contó el número de individuos por especie, se identificó la composición específica y se clasificó por morfotipo (hoja ancha / hoja angosta). Luego, las plantas se cortaron a ras de suelo, se pesaron en fresco y se secaron en estufa a 65 °C durante 48 h, hasta peso constante. Con estos datos se obtuvo, por parcela, la biomasa seca por especie y el total de la comunidad, dado que el área del cuadrante fue de 0,0625 m² (25 × 25 cm), los conteos y pesos se extrapolaron a m² y la biomasa seca por especie (g m⁻²).

La densidad y la biomasa por morfotipo (hoja ancha / hoja angosta) se obtuvieron sumando los valores por especie de cada grupo, mientras que la

densidad y la biomasa totales de la comunidad correspondieron a la suma de todas las especies presentes en el cuadrante. El procedimiento de muestreo y un ejemplo de la clasificación por morfotipo se presentan en el Apéndice 2.

Componentes de rendimiento: las evaluaciones agronómicas a la cosecha se realizaron en las parcelas previamente descritas. Se determinó rendimiento (kg ha^{-1}), número de vainas por planta y peso de 100 granos. El rendimiento se calculó a partir de la masa cosechada en el área útil ($2,0 \text{ m}^2$), de acuerdo con:

$$\text{Kg ha}^{-1} = \text{Gramos cosechados} \times 5$$

Todos los pesos se registraron en gramos y los rendimientos se expresaron en base a grano seco. Los granos se ajustaron a la humedad base estándar del laboratorio ($\approx 14 \%$) antes del cálculo final.

Contenido de clorofila del poroto (SPAD): el contenido de clorofila foliar se monitoreó a 41, 58, 73, 86 y 103 DDS, utilizando un medidor Hansatech CL - 01 (Hansatech Instruments, Reino Unido). En cada fecha se registraron 10 lecturas en plantas diferentes por parcela, y se promediaron para obtener un valor representativo de la parcela. Las mediciones se realizaron sobre la tercera hoja trifoliada completamente expandida desde el ápice; cuando esta no estuvo disponible en la primera medición, se utilizó la segunda hoja trifoliada completamente expandida.

Contenido volumétrico de agua en los distintos tratamientos: la humedad del suelo (contenido volumétrico de agua, VWC, %) se midió con un sensor HydroSense II (Campbell Scientific, EE. UU.) utilizando varillas de 20 cm. Las lecturas se efectuaron en el centro de cada parcela, en la entrehilera del cultivo de poroto, a una profundidad efectiva de 0 - 20 cm. Las mediciones se realizaron a 40, 48, 55, 62, 69, 76 y 83 DDS, con una lectura por parcela en cada fecha. Para la estimación del VWC se utilizó la calibración de fábrica del equipo.

Análisis estadístico: el efecto de los tratamientos se evaluó mediante análisis de varianza (ANDEVA), usando un modelo lineal general (GLM) en IBM SPSS Statistics 23 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.), acorde con el diseño en bloques completos al azar. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro - Wilk y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene.

La separación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$). Para SPAD y VWC se aplicó ANDEVA de medidas repetidas; cuando la interacción tratamiento \times fecha fue significativa ($P \leq 0,05$), las comparaciones se efectuaron por fecha con la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$). Las figuras se elaboraron en Microsoft Excel 365.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Separación botánica de malezas: la comunidad de malezas estuvo dominada por especies de hoja ancha en todos los tratamientos (Tabla 1). El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre tratamientos para la densidad ni para el peso seco de malezas, tanto en hoja ancha como en hoja angosta.

Tabla 1. Densidad y peso seco de malezas por morfotipo según tratamiento.

| Tratamientos | Densidad (plantas m ⁻²) | | Peso Seco (g m ⁻²) | |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| | Hoja Ancha | Hoja Angosta | Hoja Ancha | Hoja Angosta |
| T1 | 48,0 \pm 4,6 | 15,1 \pm 8,5 | 71,0 \pm 4,3 | 21,8 \pm 15,4 |
| T2 | 42,0 \pm 9,4 | 7,7 \pm 14,2 | 66,7 \pm 4,8 | 6,6 \pm 10,7 |
| T3 | 37,4 \pm 4,3 | 10,3 \pm 10,5 | 63,8 \pm 4,0 | 15,6 \pm 12,4 |
| T4 | 42,1 \pm 6,7 | 9,8 \pm 9,5 | 65,7 \pm 6,2 | 13,0 \pm 12,2 |
| T5 | 39,9 \pm 4,4 | 6,6 \pm 7,6 | 64,2 \pm 5,9 | 8,0 \pm 9,5 |
| T6 | 44,5 \pm 9,8 | 9,2 \pm 8,4 | 67,2 \pm 5,5 | 10,3 \pm 11,3 |
| ANDEVA | <i>P</i> – valor | | | |
| Repeticiones | 0,16 | 0,12 | 0,69 | 0,13 |
| Tratamientos | 0,13 | 0,70 | 0,25 | 0,23 |

Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno, con valores de tratamiento que representan la media de seis repeticiones (n = 6) acompañadas de la desviación estándar.

En conjunto, los tratamientos que incluyeron centeno como cultivo de cobertura (80 - 220 kg ha⁻¹), así como la combinación con herbicida preemergente (T5), tendieron a reducir la presión de malezas respecto del control (T1), aunque sin alcanzar significancia estadística a los 53 días después de la siembra. Este comportamiento

coincide con lo reportado para cereales de invierno, donde la eficacia del centeno para suprimir malezas depende principalmente de la biomasa de rastrojo lograda y del manejo (fecha de rolado e integración con herbicidas), más que de la dosis de siembra por sí sola (Mirsky *et al.*, 2011; Ryan *et al.*, 2011a, 2011b; Osipitan *et al.*, 2019). Desde un punto de vista mecanístico, la supresión asociada al centeno se explica por procesos complementarios: (i) la cobertura de rastrojo disminuye la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que alcanza el suelo; (ii) la luz filtrada a través del residuo presenta una relación rojo / rojo lejano más baja, lo que dificulta la germinación y el crecimiento de plántulas (Rajcan *et al.*, 2004); (iii) las propiedades alelopáticas del centeno, ligadas a benzoxazinoides, influyen en la germinación y el crecimiento inicial; y (iv) existe competencia temprana por agua y nutrientes (Rice *et al.*, 2012; Schulz *et al.*, 2013; Silva y Bagavathiannan, 2023). En leguminosas de grano, la eficacia de estos mecanismos depende especialmente de la acumulación de biomasa hasta la madurez del centeno (Flood y Entz, 2019), por lo que diferencias en dosis de siembra no se traducen necesariamente en contrastes marcados si la biomasa efectiva y la fecha de terminación son similares (Mirsky *et al.*, 2011; Ryan *et al.*, 2011a, 2011b).

La integración del centeno con herbicidas residuales en preemergencia, como en T5, puede generar efectos aditivos en la fase inicial, aunque su eficacia está condicionada por la cantidad de rastrojo y por el momento de aplicación: cuando los niveles de residuos son elevados, una fracción del ingrediente activo puede ser interceptada por el rastrojo superficial, lo que obliga a ajustar las prácticas al contexto local (Whalen *et al.*, 2020). En este estudio, el predominio de malezas de hoja ancha y la tendencia a una menor presión en los tratamientos con centeno y herbicida preemergente refuerzan el consenso de que la supresión efectiva depende de la biomasa alcanzada y del manejo estratégico del cultivo de cobertura, más que de diferencias puntuales en la dosis de siembra.

Composición específica de malezas y densidad de plantas de poroto: a los 53 días después de la siembra (DDS), la comunidad de malezas estuvo dominada por especies de hoja ancha, destacando el rábano (*Raphanus raphanistrum* L.) como la especie más abundante, seguido por ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia* L.) y

quinhuilla (*Chenopodium album* L.). El análisis de varianza mostró un efecto de tratamientos únicamente para la densidad de rábano y chamico (*Datura stramonium* L.), mientras que para el resto de las especies no se detectaron diferencias significativas (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad de malezas por especie según tratamiento.

| Especie | Número de plantas m ⁻² | | | | | | ANDEVA | |
|---|-----------------------------------|-------|------|-------|------|-------|----------------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | P – valor R | T |
| Chepica (<i>Cynodon dactylon</i> L) | 5,3 | 0,0 | 2,7 | 2,7 | 0,0 | 2,7 | 0,17 | 0,74 |
| Hualcacho (<i>Echinochloa colona</i> L) | 10,7 | 5,3 | 0,0 | 13,3 | 5,3 | 10,7 | 0,54 | 0,60 |
| Pasto miel (<i>Holcus lanatus</i> L) | 8,0 | 16,0 | 5,3 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 0,63 | 0,63 |
| Maicillo (<i>Sorghum halepense</i> L) | 0,0 | 0,0 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,44 | 0,44 |
| Chufa (<i>Cyperus esculentus</i> L) | 5,3 | 2,7 | 10,7 | 0,0 | 5,3 | 2,7 | 0,33 | 0,81 |
| Ambrosia (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L) | 93,3 | 122,7 | 74,7 | 88,0 | 82,7 | 120,0 | 0,06 | 0,77 |
| Quinhuilla (<i>Chenopodium album</i> L) | 29,3 | 37,3 | 18,7 | 26,7 | 21,3 | 40,0 | 0,24 | 0,87 |
| Correhuela (<i>Convolvulus arvensis</i> L) | 5,3 | 5,3 | 0,0 | 2,7 | 0,0 | 2,7 | 0,23 | 0,44 |
| Chamico (<i>Datura stramonium</i> L) | 29,3 | 2,7 | 8,0 | 10,7 | 5,3 | 2,7 | 0,13 | 0,01 |
| Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i> L) | 2,7 | 0,0 | 2,7 | 0,0 | 5,3 | 10,7 | 0,36 | 0,26 |
| Rábano (<i>Raphanus raphanistrum</i> L) | 170,7 | 72,0 | 53,3 | 104,0 | 72,0 | 98,7 | 0,86 | 0,02 |
| Tomatillo (<i>Solanum nigrum</i> L) | 10,7 | 5,3 | 2,7 | 0,0 | 2,7 | 0,0 | 0,38 | 0,38 |

Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno, con valores de tratamiento que representan la media de seis repeticiones (n = 6) acompañadas de la desviación estándar. Los números en negrita indican una diferencia significativa en el tratamiento en comparación con los demás según la prueba de Duncan (P ≤ 0,05). R, repeticiones; y T, tratamientos.

En rábano, el control sin cultivo de cobertura (T1) presentó la mayor densidad (170,7 plantas m⁻²), diferenciándose del conjunto de tratamientos con centeno (T2 - T6:

53,3 - 104,0 plantas m^{-2}), que se agruparon con valores menores según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$). En chamico, T1 (29,3 plantas m^{-2}) también fue superior al resto de los tratamientos (T2 - T6: 2,7 - 10,7 plantas m^{-2}), mostrando una respuesta similar, en la que la presencia de centeno se asoció con una menor abundancia de esta especie. Para ambrosia, quihuilla, correhuella, chufa, hualcacho, pasto miel, maicillo, verdolaga y tomatillo, los valores de P de los tratamientos fueron mayores que 0,05, lo que confirma la ausencia de diferencias en densidad a esta fecha.

En peso seco por especie no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3). Rábano concentró la mayor biomasa de la comunidad ($\approx 675 - 975 \text{ g } m^{-2}$ según el tratamiento), pero la variación entre tratamientos no fue estadísticamente significativa. En chamico se observó una tendencia a una mayor biomasa en el control (T1: 69,6 $g m^{-2}$) en comparación con los tratamientos con centeno (T2 - T6: 0,8 - 29,1 $g m^{-2}$), sin alcanzar significancia estadística.

El patrón conjunto, caracterizado por reducciones claras en la densidad de rábano y chamico en presencia de centeno, pero sin diferencias en la biomasa seca por especie a esta fecha, es consistente con un efecto de supresión temprano centrado en la fase de emergencia. Dado que la evaluación se realizó en una etapa aún temprana, los individuos establecidos pudieron presentar tamaños similares entre tratamientos, limitando la expresión de diferencias en biomasa. En consecuencia, la biomasa total respondió más a la distribución espacial que al efecto del manejo. Es probable que las plantas que escaparon a la cobertura aún no hubieran divergido lo suficiente en crecimiento como para expresar contrastes en masa seca. Además, el rábano se distribuyó de forma despareja en el sitio, con manchones o sectores de alta densidad, lo que aumenta la variabilidad entre parcelas y tiende a enmascarar las diferencias entre tratamientos en biomasa. Este tipo de respuesta es habitual cuando el cultivo de cobertura actúa principalmente sobre las primeras emergencias de malezas, mientras las plantas que logran establecerse todavía se encuentran en etapas iniciales de desarrollo.

Respecto del cultivo, la densidad de plantas de poroto difirió entre tratamientos (Figura 1). El tratamiento con 160 $kg ha^{-1}$ de centeno (T4) presentó la mayor densidad establecida, el control sin cobertura (T1), la menor, y T2, T3, T5 y T6 se

ubicaron en un grupo intermedio, sin diferencias entre sí, de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Tabla 3. Peso seco de malezas por especie según tratamiento.

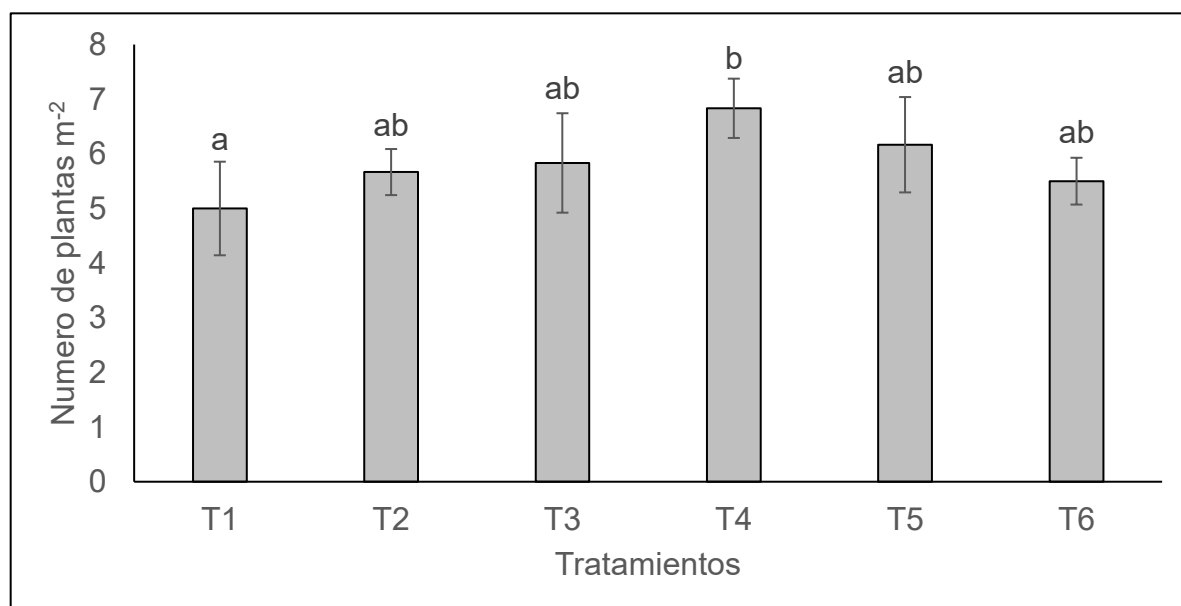
| Especie | g m ⁻² | | | | | | ANDEVA | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | P - valor R | T |
| Chepica (<i>Cynodon dactylon</i> L) | 31,5 | 0,0 | 12,3 | 6,9 | 0,0 | 4,0 | 0,36 | 0,61 |
| Hualcacho (<i>Echinochloa colona</i> L.) | 28,5 | 12,3 | 0,0 | 15,5 | 12,3 | 12,0 | 0,71 | 0,66 |
| Pasto miel (<i>Holcus lanatus</i> L) | 8,5 | 0,8 | 10,1 | 6,9 | 0,0 | 0,0 | 0,24 | 0,58 |
| Maicillo (<i>Sorghum halepense</i> L) | 0,0 | 0,0 | 5,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,44 | 0,44 |
| Chufa (<i>Cyperus esculentus</i> L) | 4,5 | 0,8 | 8,0 | 0,0 | 2,4 | 6,7 | 0,37 | 0,80 |
| Ambrosia (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L) | 169,6 | 116,0 | 83,2 | 92,3 | 141,6 | 122,4 | 0,41 | 0,73 |
| Quinhuilla (<i>Chenopodium album</i> L) | 99,5 | 78,4 | 40,3 | 27,5 | 16,8 | 127,7 | 0,30 | 0,64 |
| Correhuela (<i>Convolvulus arvensis</i> L) | 10,1 | 5,6 | 0,0 | 15,2 | 0,0 | 3,5 | 0,21 | 0,62 |
| Chamico (<i>Datura stramonium</i> L) | 69,6 | 0,8 | 15,5 | 29,1 | 9,9 | 7,5 | 0,53 | 0,08 |
| Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i> L) | 9,6 | 0,0 | 53,1 | 0,0 | 17,3 | 17,1 | 0,63 | 0,63 |
| Rábano (<i>Raphanus raphanistrum</i> L) | 974,7 | 848,5 | 674,9 | 850,4 | 721,1 | 820,5 | 0,45 | 0,76 |
| Tomatillo (<i>Solanum nigrum</i> L) | 25,6 | 1,3 | 1,9 | 0,0 | 5,3 | 0,0 | 0,50 | 0,23 |

Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno, con valores de tratamiento que representan la media de seis repeticiones (n = 6) acompañadas de la desviación estándar. R, repeticiones; y T, tratamientos.

El mayor establecimiento del poroto en T4 y el menor en T1 apoyan la idea de que una cobertura continua de rastrojo y un rolado oportuno favorecen la implantación al reducir la interferencia inicial de malezas y mejorar las condiciones físicas de la línea de siembra. Esto coincide con antecedentes que vinculan residuos bien manejados con mejoras en la emergencia del cultivo, sin penalizar su desarrollo

cuando la siembra a través del rastrojo se realiza de forma adecuada. Además, los vacíos de establecimiento observados sobre hilera podrían estar asociados a una menor uniformidad en la deposición de semilla y al contacto semilla - suelo al sembrar sobre rastrojo, más que a la dosis de siembra del centeno. En conjunto, la disminución de rábano y chamico y la mayor densidad de plantas de poroto en tratamientos con centeno indican que el cultivo de cobertura contribuyó a reducir la presión de malezas clave y a favorecer el establecimiento del cultivo comercial, coherente con la evidencia que atribuye a la biomasa del rastrojo y al momento de terminación un rol más determinante que la dosis de siembra en la supresión de malezas y en la implantación (Mirsky *et al.*, 2011; Ryan *et al.*, 2011a, 2011b; Silva y Bagavathiannan, 2023).

Figura 1. Densidad de plantas de poroto transcurridos 53 días desde su establecimiento según tratamiento.



Las letras indican la clasificación de las medias según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$). Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno, con valores de tratamiento que representan la media de seis repeticiones ($n = 6$) acompañado de la desviación estándar.

Contenido de clorofila: el contenido relativo de clorofila se evaluó a 41, 58, 73, 86 y 103 días después de la siembra (DDS). En todos los tratamientos se observó un patrón similar: valores altos a 41 DDS (19 - 21 unidades SPAD), una disminución

marcada a 58 DDS (11 - 12 unidades SPAD) y una estabilización entre 73 y 86 DDS (12 - 13 unidades SPAD).

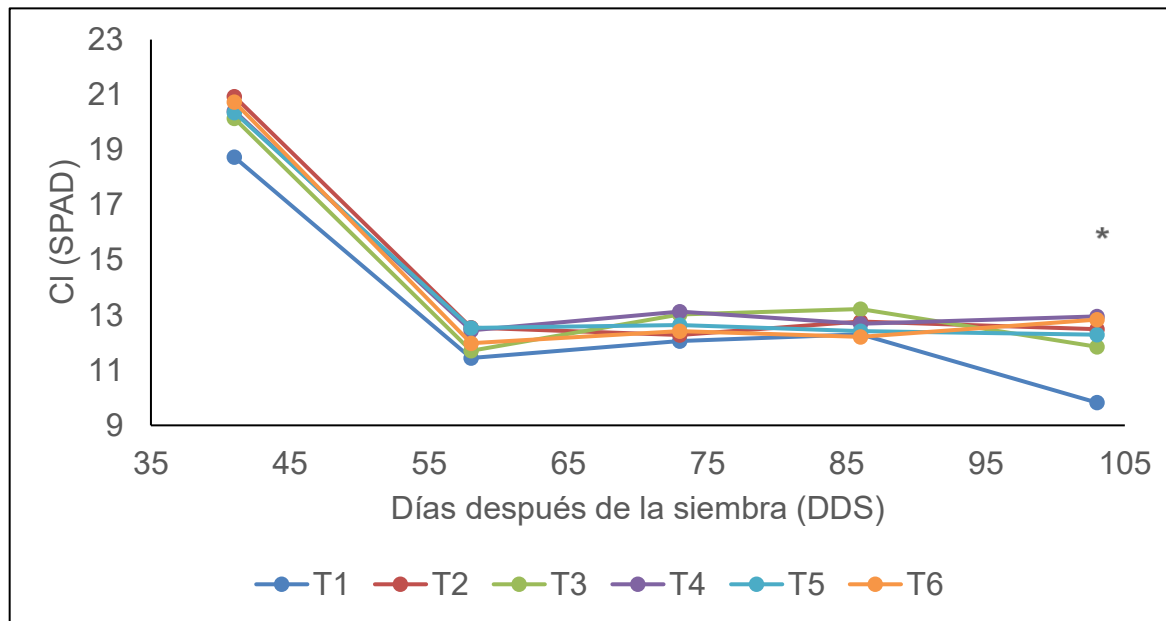
El ANDEVA de medidas repetidas indicó diferencias entre tratamientos únicamente en 103 DDS ($P \leq 0,05$). En esa fecha, el control sin cultivo de cobertura (T1) presentó el valor más bajo (9,83), mientras que los tratamientos con centeno (T2 - T4, T6) y el tratamiento con centeno más herbicida preemergente (T5) mostraron valores superiores y similares entre sí (11,85 - 12,95 SPAD), sin mostrar un aumento o disminución consistente en función de la dosis de siembra (80 - 220 kg ha⁻¹). En las demás fechas (41, 58, 73 y 86 DDS) no se detectaron diferencias significativas (Figura 2).

La disminución del SPAD hacia 58 - 60 DDS, seguida de una recuperación parcial, coincide con la trayectoria del contenido volumétrico de agua del suelo (% VWC) y con el ajuste fisiológico del cultivo al ambiente, especialmente en etapas críticas. La divergencia observada a 103 DDS sugiere que la presencia de rastrojo de centeno contribuyó a atenuar el estrés hídrico en las parcelas con cobertura, en concordancia con los mayores valores de % VWC registrados a 69 DDS (Figura 3). Este comportamiento es coherente con lo reportado para sistemas con centeno como cultivo de cobertura (Basche *et al.*, 2016; Acharya *et al.*, 2019; Hashimi *et al.*, 2023).

Estudios en soja han demostrado que los cultivos de cobertura pueden modificar la temperatura y la humedad del suelo, influyendo en el contenido de clorofila, sin garantizar variaciones consistentes en el rendimiento, que depende de las condiciones anuales y del manejo (Gross *et al.*, 2022; Overmyer *et al.*, 2023). Desde un punto de vista fisiológico, el SPAD es un indicador sensible del estado de nitrógeno y del nivel de estrés en el dosel (Xiong *et al.*, 2015); por ello, las diferencias tardías observadas son coherentes con un entorno menos estresante bajo cobertura, respaldadas por los mayores valores de % VWC y por los rendimientos superiores en algunos tratamientos con centeno. La ausencia de una relación entre la dosis y la respuesta marcada (80 - 220 kg ha⁻¹) coincide con lo reportado por Crespo *et al.* (2024), quienes señalan que la biomasa efectiva del centeno y el momento de su terminación son factores más determinantes que la dosis de

siembra para influir en el ambiente del cultivo y, en consecuencia, en el SPAD.

Figura 2. Contenido de clorofila en poroto a distintos días después de la siembra (DDS) según el tratamiento.



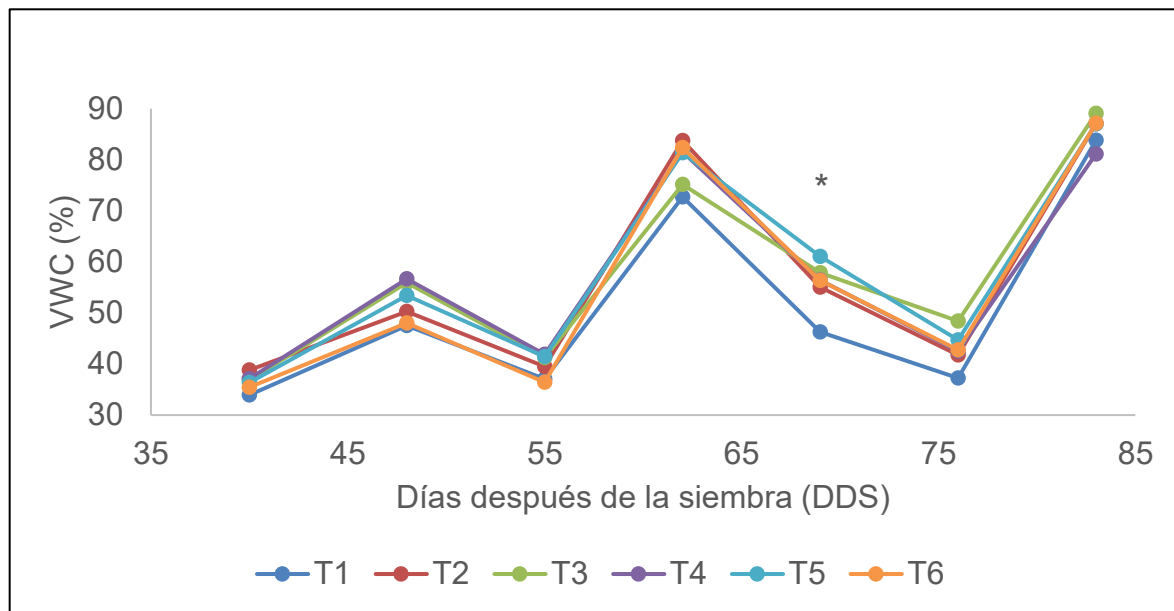
Contenido relativo de clorofila (SPAD). Los puntos corresponden al promedio de seis repeticiones por tratamiento ($n = 6$) para cada fecha de evaluación. El asterisco (*) indica diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento T1 y el resto de los tratamientos a 103 días después de la siembra (DDS). Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4, 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno.

Contenido volumétrico de agua en los distintos tratamientos: el contenido volumétrico de agua se registró a 40, 48, 55, 62, 69, 76 y 83 DDS, mostrando un patrón común en todos los tratamientos. Entre 40 y 48 DDS, los valores aumentaron de aproximadamente 34 - 39 % a 48 - 57 %; a 55 DDS se observó un descenso transitorio (36 - 42 %); a 62 DDS se alcanzó el máximo del período (73 - 84 %); entre 69 y 76 DDS ocurrió una caída general (37 - 61 %); y a 83 DDS se registró una recuperación (81 - 89 %).

El ANDEVA de medidas repetidas indicó diferencias entre tratamientos solo en 69 DDS ($P \leq 0,05$). En esa fecha, el control sin cobertura (T1) presentó el menor % VWC (46 %), mientras que T5 (centeno + herbicida preemergente) y los tratamientos con centeno (T2 - T4 y T6) mostraron valores mayores y similares entre sí (55 - 61 %). En las demás fechas no se detectaron diferencias significativas entre

tratamientos ni una relación evidente con la dosis de siembra (Figura 3).

Figura 3. Evolución del contenido volumétrico de agua del suelo según el tratamiento.



VWC, contenido volumétrico de agua del suelo (%). Los puntos corresponden al promedio de seis repeticiones por tratamiento ($n = 6$) en cada fecha de evaluación. El asterisco (*) indica diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento T1 y el resto de los tratamientos a 69 días después de la siembra (DDS). Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno.

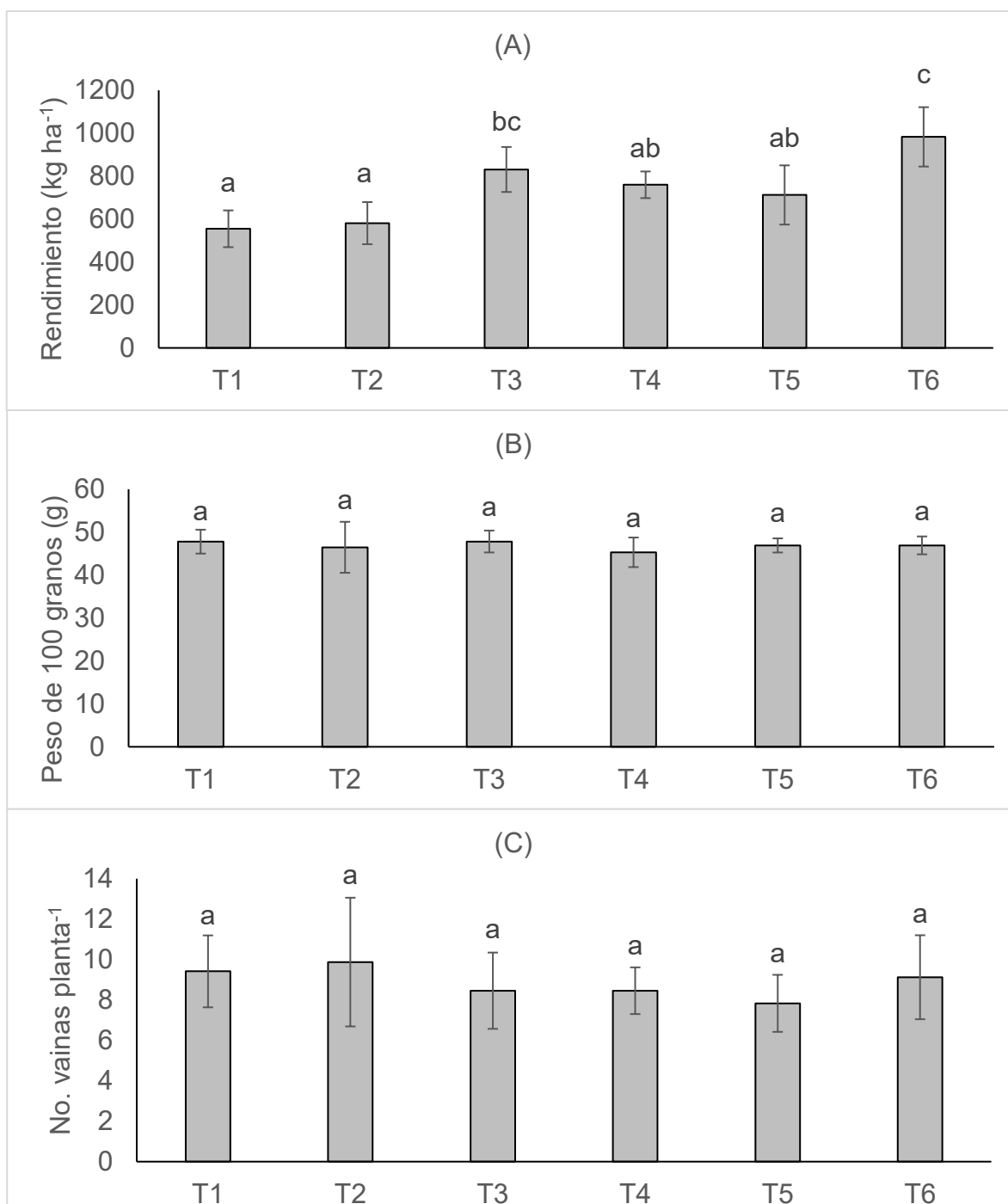
La variación detectada a 69 DDS se alinea con la influencia del rastrojo de centeno en la dinámica hídrica del suelo: la cobertura superficial mejora la infiltración y reduce la evaporación, lo que favorece la retención de humedad (Basche *et al.*, 2016; Basche y DeLonge, 2017, 2019). En sistemas de siembra directa con centeno se han documentado mejoras en la retención de agua asociadas a incrementos en carbono orgánico y cambios en la estructura del suelo (Acharya *et al.*, 2019; Hashimi *et al.*, 2023), lo que concuerda con los valores intermedios observados en los tratamientos con cobertura frente al mínimo del control (T1) y al máximo registrado en T5. El hecho de que, entre 80 y 220 kg ha⁻¹ de semilla, no se observaran diferencias marcadas indica que el principal determinante del % VWC fue la biomasa efectiva de los residuos y su temporalidad (momento de terminación,

condiciones climáticas), más que la dosis de siembra en sí misma (Crespo *et al.*, 2024; Huddell *et al.*, 2024). Este hallazgo coincide con estudios que reportan efectos positivos o neutros de los cultivos de cobertura sobre la humedad del suelo, según la fecha de finalización y el año (Overmyer *et al.*, 2023). Además, ciertas mejoras en la condición hídrica pueden persistir una vez establecido el cultivo comercial (Haruna *et al.*, 2023), lo que vincula funcionalmente estos resultados con las diferencias observadas en SPAD y en el rendimiento en los tratamientos con centeno. A nivel de procesos, la mejora de la estructura del suelo y el aumento de la conductividad hidráulica bajo gramíneas explican la conservación hídrica en la capa 0 - 20 cm (Koudahe *et al.*, 2022).

Componentes de rendimiento: para el rendimiento de grano (Figura 4A) se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$). El valor más alto correspondió a la dosis de 220 kg ha⁻¹ de centeno (T6: 983 ± 138 kg ha⁻¹), seguido por 120 kg ha⁻¹ (T3: 831 ± 105 kg ha⁻¹). Los tratamientos con 160 kg ha⁻¹ de centeno más herbicida preemergente (T5: 713 ± 138 kg ha⁻¹) y con 160 kg ha⁻¹ de centeno sin herbicida (T4: 760 ± 62 kg ha⁻¹), se ubicaron en un nivel intermedio, mientras que 80 kg ha⁻¹ (T2: 581 ± 98 kg ha⁻¹) y el control sin cobertura (T1: 555 ± 86 kg ha⁻¹) presentaron los rendimientos más bajos. Para el peso de 100 granos (Figura 4B) no se observaron diferencias significativas, con medias entre 44 y 48 g. De igual forma, el número de vainas por planta (Figura 4C) no difirió entre los tratamientos, con valores medios entre 8 y 9. Esto indica que las diferencias en el rendimiento se asociaron principalmente al número de plantas establecidas por unidad de superficie y no a variaciones en los componentes individuales.

La superioridad de T6, con componentes de rendimiento constantes (peso de 100 granos y número de vainas por planta), sugiere que la ganancia provino de un mejor establecimiento (mayor densidad de plantas), menor interferencia de malezas y condiciones menos estresantes durante el ciclo del cultivo. Esta tendencia coincide con la evidencia de que los impactos de los cultivos de cobertura sobre el rendimiento de las leguminosas suelen ser mínimos o variables según el año y el manejo (Gross *et al.*, 2022) y es coherente con análisis que, en promedio, reportan efectos positivos o neutros sobre el rendimiento del cultivo (Peng *et al.*, 2024).

Figura 4. Rendimiento y componentes de rendimiento del poroto según el tratamiento.



Rendimiento (kg ha⁻¹), (B) Peso de 100 granos (g) y (C) Número de vainas por planta. Las barras representan la media (n = 6). Letras distintas dentro de cada panel indican diferencias significativas entre tratamientos según ANDEVA y Duncan (P ≤ 0,05). Tratamientos: T1, control sin cultivo de cobertura; T2, 80 kg ha⁻¹ de centeno; T3, 120 kg ha⁻¹ de centeno; T4 160 kg ha⁻¹ de centeno; T5, 160 kg ha⁻¹ de centeno combinados con un herbicida preemergente; T6 220 kg ha⁻¹ de centeno, los valores de los tratamientos son el promedio de 6 repeticiones (n=6) seguidos por la desviación estándar.

Estos resultados coinciden con estudios multiambientales que muestran que, en la mayoría de las combinaciones de sitio y año, terminar el centeno al momento o después de la siembra no reduce el rendimiento del cultivo siguiente (Silva *et al.*, 2024), aunque la respuesta puede variar según la fecha de terminación y las condiciones del año (Essman *et al.*, 2023; Overmyer *et al.*, 2023). La siembra demasiado temprana después del centeno puede generar penalizaciones cuando aún hay una gran cantidad de rastrojo en superficie (Kannberg *et al.*, 2024). A nivel de sistema, la integración del centeno no solo tiende a no disminuir el rendimiento, sino que también contribuye a mitigar la lixiviación de NO_3^- (Tahir *et al.*, 2025). En este contexto, el rango de dosis 80 - 220 kg ha⁻¹ no mostró un patrón lineal claro en rendimiento, aunque T6 presentó los valores de rendimiento más altos cuando se logró una siembra uniforme y una terminación oportuna.

Este comportamiento es consistente con la idea de que la cantidad de rastrojo de centeno sobre el suelo y el momento de su terminación (tiempo térmico acumulado y régimen de precipitaciones) pesan más que la dosis de siembra (Crespo *et al.*, 2024). En el caso de leguminosas y, en particular, del poroto, se han documentado disminuciones de rendimiento cuando los residuos de centeno inmovilizan nitrógeno o compiten por agua bajo determinados esquemas de manejo (Evans *et al.*, 2016; Hill *et al.*, 2016); por lo tanto, resulta clave mantener una fertilidad adecuada del suelo y respetar un protocolo de terminación oportuno para evitar efectos negativos sobre el cultivo comercial.

CONCLUSIONES

En conjunto, los resultados confirman que el centeno (*Secale cereale* L.) es una alternativa viable como cultivo de cobertura previo al poroto (*Phaseolus vulgaris* L.), capaz de contribuir a la supresión de malezas y a mantener el rendimiento del cultivo comercial. Dentro del rango evaluado (80 - 220 kg ha⁻¹), la respuesta no mostró una relación clara con la dosis de siembra, y la cobertura efectiva y el momento de terminación influyeron más que el aumento de la dosis de siembra.

1. Supresión de malezas: el uso de centeno como cultivo de cobertura previo al poroto redujo la presión de malezas de hoja ancha, especialmente de rábano

y chamico, en comparación con el control sin cobertura. Dentro del rango de dosis evaluado no se observó un patrón claro de cambio al aumentar la dosis de siembra; la supresión se asoció principalmente a la presencia de rastrojo de centeno, más que al incremento de la dosis de siembra.

2. Productividad del poroto y ambiente de cultivo: el centeno, como cultivo de cobertura, no disminuyó el rendimiento del poroto. Las dosis medias y altas se vincularon con rendimientos iguales o superiores al del control, sin diferencias en el peso de 100 granos ni en el número de vainas por planta. Las variaciones en el rendimiento se explican por un mejor establecimiento del cultivo (mayor densidad de plantas) y por condiciones menos estresantes, lo que se refleja en mayores valores de SPAD y en un contenido volumétrico de agua superior en momentos críticos del ciclo.

REFERENCIAS

1. Acharya, J., S. Dodla, L. Gaston, M. Darapuneni, J.J. Wang, S. Sepat y H. Bohara. 2019. Cover crops, fertility, and infiltration tradeoffs: A long-term field study. *Soil Tillage Res.* 195:104430. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430>
2. Basche, A.D., T.C. Kaspar, S.V. Archontoulis, D.B. Jaynes, T.J. Sauer, T.B. Parkin y F.E. Miguez. 2016. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop *Agric Water Manag.* 172:40–50. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.006>
3. Basche, A.D. y M.S. DeLonge. 2017. The impact of continuous living cover on soil hydrologic properties: A meta-analysis. *Soil Sci Soc Am J.* 81(5):1179–1190. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.03.0077>
4. Basche, A.D. y M.S. DeLonge. 2019. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *PLoS One* 14(9):e0215702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
5. Bhattarai, P., K. Khadka, P.L. Hatzenbuehler y A.T. Adjesiwor. 2025. Integrating fall-planted cereal cover crops with herbicides for weed control in dry edible beans. *Agron J.* 117:e70125. <https://doi.org/10.1002/agj2.70125>
6. Crespo, C., P.L. O'Brien, S.J. Ruis, J.L. Kovar y T.C. Kaspar. 2024. Thermal time and precipitation dictate cereal rye shoot biomass production. *Field Crops Res.* 315:109473. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109473>

7. Evans, R.G., P.R. Miller, A.L. Black y D.C. Zimmerman. 2016. Fall-seeded cereal cover crops differ in ability to facilitate dry bean performance in western Canada. *Field Crops Res.* 191,91-100. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.020>
8. Essman, A.I., M.M. Loux, A.J. Lindsey y A.F. Dobbels. 2023. Effects of cereal rye cover crop seeding rate, termination timing, and herbicide inputs on weed control and soybean yield. *Weed Sci.* 71(4):387–394. <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.33>
9. Flood, H.E. y M.H. Entz. 2019. Effects of a fall rye cover crop on weeds and productivity of Phaseolus beans. *Can J Plant Sci.* 99(1):22–33. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2018-0161>
10. Godar, A.S., J.K. Norsworthy y L.T. Barber. 2024. Effect of cereal rye cover crop termination timings on weed control and corn yield under a two-pass herbicide program. *Front Agron.* 6:1419228. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1419228>
11. Gross, M.R., R.A. Vann, A.L. Woodley y D. Jordan. 2022. Winter crops modify soil microclimate and chlorophyll in soybean with variable yield outcomes. *Agron J.* 114(6):4058–4072. <https://doi.org/10.1002/agj2.21133>
12. Haruna, S.I., R. Chlapecka, J. Mosley y S. Kresovich. 2023. Persistence of hydraulic improvements after cover crop termination. *Soil Use Manag.* 39(1):218–231. <https://doi.org/10.1111/sum.12803>
13. Hashimi, R., Q. Huang, R.K. Dewi, J. Nishiwaki y M. Komatsuzaki. 2023. No-tillage and rye cover crop systems improve soil water retention by increasing soil organic carbon in Andosols under humid subtropical climate. *Soil Tillage Res.* 234:105861. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105861>
14. Hazrati, H., I.S. Fomsgaard y P. Kudsk. 2020. Root-exuded benzoxazinoids: Uptake and translocation in neighboring plants. *J Agric Food Chem.* 68(38):10609–10617. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04245>
15. Hill, E.C., M. Ngouajio y M.G. Nair. 2016. Rye residue, inorganic N, and yield in organic dry bean. *Agron J.* 108(6):2365–2377. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0160>
16. Huddell, A.M., Thapa, R., Marcillo, G.S. et al. U.S. cereal rye winter cover crop growth database. *Sci Data* 11, 200 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41597-024-02996-9>

17. Tay, J. 2020. Zorzal INIA: características de la variedad de poroto para grano seco más demandada en Chile [en línea]. Informativo INIA Quilamapu N°155. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4039>
18. Kannberg, S., A.J. Lindsey, M.B. Chiavegato y L.E. Lindsey. 2024. Effect of ultra-early, early, and normal soybean planting dates and rye cover crop on soybean grain yield. *Agron J.* 116:1321–1330. <https://doi.org/10.1002/agj2.21550>
19. Koudahe, K., S.C. Allen y K. Djaman. 2022. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *Int Soil Water Conserv Res.* 10(3):343–354. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>
20. Lu, P., B. Jiang y J. Weiner. 2020. Crop spatial uniformity and within-row weed escapes. *Adv Agron.* 161:117–178. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.12.003>
21. Mellado Z., M., I. Matus T. y R. Madariaga B. 2008. Antecedentes sobre el centeno en Chile y otros países [en línea]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7243>
22. Mirsky, S.B., W.S. Curran, D.A. Mortensen, M.R. Ryan y D.L. Shumway. 2011. Timing of cover-crop management effects on weed suppression in no-till soybean with a roller-crimper. *Weed Sci.* 59(3):380–389. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00101.1>
23. Mushtaq, W., Q. Ain, M.B. Siddiqui y K.R. Hakeem. 2024. Assessment of induced allelopathy in crop–weed co-culture with rye–pigweed model. *Sci Rep.* 14:10203. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60663-w>
24. ODEPA (Chile). 2025. Estadísticas productivas [en línea]. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>
25. Osipitan, O.A., J.A. Dille, Y. Assefa, E. Radicetti, A. Ayeni y S.Z. Knezevic. 2019. Impact of cover crop management on level of weed suppression: A meta-analysis. *Crop Sci.* 59(3):833–842. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589>
26. Overmyer, K., W. Looker, A.E. Dorrance y L.E. Lindsey. 2023. Influence of rye/oat cover crop in a two-year soybean production system. *Agron J.* 115(1):303–313. <https://doi.org/10.1002/agj2.21244>

27. Peng, Y., L. Wang y W. Ren. 2024. Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. *Field Crops Res.* 310:109343. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>
28. Rajcan, I., K.J. Chandler y C.J. Swanton. 2004. Red–far-red ratio of reflected light: Why early-season weed control matters. *Weed Sci.* 52(5):774–778. <https://doi.org/10.1614/WS-03-158R>
29. Ramos, T.B., H. Darouich y L.S. Pereira. 2024. Mulching effects on soil evaporation, crop evapotranspiration and crop coefficients: A review aimed at improved irrigation management. *Irrig Sci.* 42(3):525–539. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00924-8>
30. Rice, C.P., G. Cai y J.R. Teasdale. 2012. Concentrations and allelopathic effects of benzoxazinoid compounds in soil treated with rye cover crop. *J Agric Food Chem.* 60(18):4471–4479. <https://doi.org/10.1021/jf300431r>
31. Ryan, M.R., D.A. Mortensen, J.R. Teasdale, W.S. Curran y S.B. Mirsky. 2011a. Potential synergistic effects of cereal rye biomass and soybean planting density on weed suppression. *Weed Sci.* 59(2):238–246. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00110.1>
32. Ryan, M.R., D.A. Mortensen, J.R. Teasdale, W.S. Curran y S.B. Mirsky. 2011b. Effects of seeding rate and poultry litter on weed suppression from a rolled rye cover crop. *Weed Sci.* 59(3):438–444. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00180.1>
33. Schulz, M., A. Marocco, V. Tabaglio, F.A. Macías y J.M.G. Molinillo. 2013. Benzoxazinoids in rye allelopathy—From discovery to application in sustainable weed control and organic farming. *J Chem Ecol.* 39(2):154–174. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0235-x>
34. Silva, T.S. y M.V. Bagavathiannan. 2023. Mechanisms of weed suppression by cereal rye cover crop: A review. *Agron J.* 115(3):1266–1288. <https://doi.org/10.1002/agj2.21347>
35. Silva, T.S., S. Mourtzinis, A.J. McMechan, G.I. Carmona, B.D. Potter, K.J. Tilmon, L.S. Hesler, N.J. Seiter, R. Wright, S.L. Osborne, T.E. Hunt y S.P. Conley. 2024. Cereal rye cover crop termination at or before soybean planting has minimal effect on soybean yield across the Midwestern US. *Field Crops Res.* 312:109393. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109393>

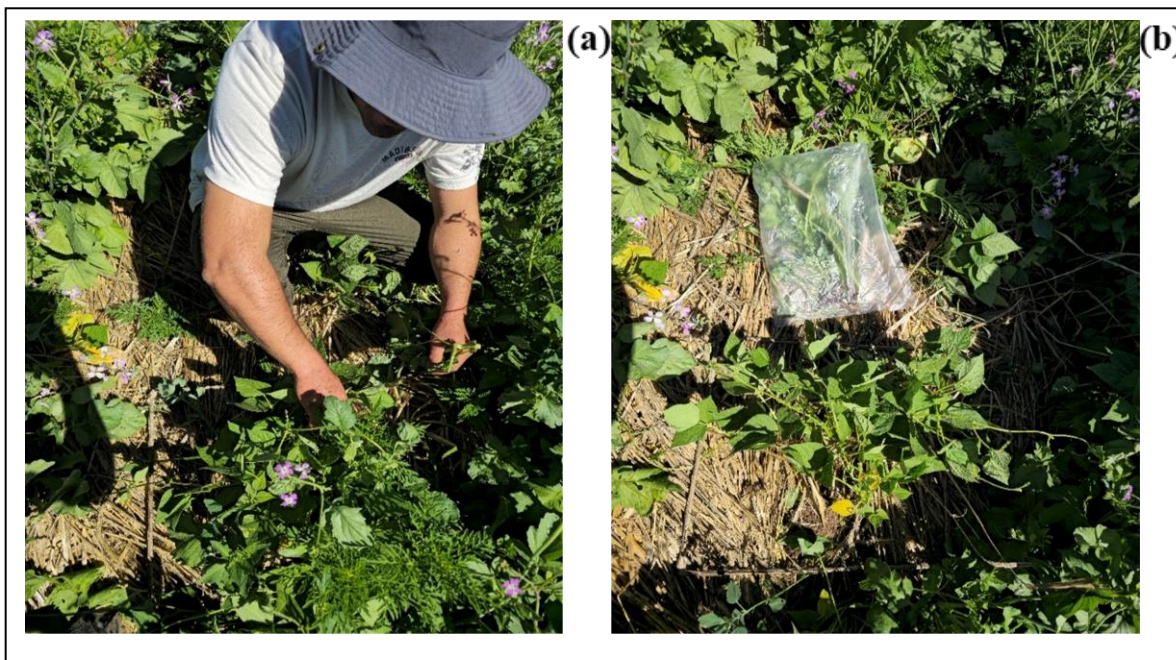
36. Tahir, M., F.G. Fernández, N. Ricks y D.J. Mulla. 2025. EPIC model prediction of winter rye cover crop effects on crop yield and nitrate-N leaching in Minnesota. *Agron J.* 117:e70065. <https://doi.org/10.1002/agj2.70065>
37. Wang, Z., R. Thapa, D.J. Timlin, S. Li, W. Sun, S. Beegum, D.H. Fleisher, S.B. Mirsky, M. Cabrera, T.J. Sauer, V.R. Reddy, R. Horton y K. Tully. 2021. Simulations of water and thermal dynamics for soil surfaces with residue mulch and surface runoff. *Water Resour Res.* 57(11):e2021WR030431. <https://doi.org/10.1029/2021WR030431>
38. Whalen, D.M., L.S. Shergill, L.P. Kinne, M.D. Bish y K.W. Bradley. 2020. Influence of residual herbicides and cereal rye termination strategies on weed control and soybean yield. *Weed Technol.* 34(1):11–18. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.111>
39. Weed Science Society of America (WSSA) (USA). 2016. Weed Science Definitions [en línea]. Weed Science Society of America. <https://wssa.net/wp-content/uploads/WSSA-Weed-Science-Definitions.pdf>
40. Xiong, D., J. Chen, T. Yu, W. Gao, X. Ling, Y. Li, S. Peng y J. Huang. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Sci Rep.* 5:13389. <https://doi.org/10.1038/srep13389>

APÉNDICES

Apéndice 1. Rastrojo de centeno post - rolado (roller crimper), condición del residuo antes de la siembra del poroto.



Apéndice 2. Separación botánica de malezas, cuadrante 25 × 25 cm y clasificación por morfotipo.



(a): Foto del cuadrante y ejemplo de separación (hoja ancha / angosta) y (b) muestra de la separación botánica realizada en el ensayo.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico del suelo del sitio experimental (0 - 20 cm) en INIA Santa Rosa, Ñuble.

| Propiedades del suelo | Valor |
|--|--------|
| pH (H ₂ O) | 5,83 |
| Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE, cmol (+) kg ⁻¹) | 8,31 |
| Materia orgánica (%) | 7,65 |
| N total del suelo (mg kg ⁻¹) | 139 |
| P extraíble, método Olsen (mg kg ⁻¹) | 4,88 |
| K intercambiable (mg kg ⁻¹) | 147,84 |
| S - SO ₄ ²⁻ (mg kg ⁻¹) | 14,18 |
| N - NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) | 136,74 |
| N - NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹) | 2,68 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 5,82 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 48,63 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 1,65 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 9,79 |
| B (mg kg ⁻¹) | 0,36 |

*Análisis realizado en el laboratorio de suelos del INIA Quilamapu sobre una muestra compuesta de 0 - 20 cm del sitio experimental.