



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**MÉTODO DE INTERRUPCIÓN (QUÍMICO O ROLADO) DE CULTIVOS DE
COBERTURA Y LA INFLUENCIA EN LA DINÁMICA DEL AGUA, NITRATOS Y
MALEZAS**

ING. AGR. TOMAS BAIGORRIA

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES**

DIRECTOR: Ing. Agr. Msc. Dr. Cristian Álvarez (INTA – Agencia General Pico)

CO- DIRECTOR: Lic. Biología Daniel Tuesca (UNR)

AÑO: 2022

**MÉTODO DE INTERRUPCIÓN (QUÍMICO O ROLADO) DE CULTIVOS DE
COBERTURA Y LA INFLUENCIA EN LA DINÁMICA DEL AGUA, NITRATOS Y
MALEZAS**

Tomas Baigorria

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Rosario

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo, durante el período comprendido entre Abril de 2012 y Marzo de 2015, bajo la dirección del Dr. Cristian Álvarez y la co-dirección del Lic. Biología Daniel Tuesca.

Nombre y firma del Maestrando

Tomas Baigorria

Nombre y firma del Director

Dr. Cristian Álvarez

Nombre y firma del Co - Director

Lic. Biología Daniel Tuesca

Defendida:de
20__.

AGRADECIMIENTOS

A mi director Cristian Álvarez y mi codirector Daniel Tuesca por sus correcciones, aportes y sugerencias durante el desarrollo de esta tesis.

A Alberto Quiroga, Romina Fernández, Carlos Scianca, Mirian Barraco por su constante asesoramiento y ser fuente de motivación para el desarrollo de esta investigación.

A Silvina Panique y a sus angelitos que me brindan mucho cariño y paciencia.

A mis compañeros del Área de Suelos del INTA Marcos Juárez, Cristian Cazorla, Monica Bocolini, Pablo Belluccini, Carlos Galarza, Vicente Gudelj, Olga Gudelj, Vanesa Pegoraro, Jimena Ortiz, Valeria Faggioli, Bethania Aimetta, Emilia Balbi, Georgina Velez, Mariana Maury, Claudio Lorenzon, Rubén Seravalle, Patricio Marelli, Elvecia Arce, Alvaro Andreucci, Juan Arce, Edgardo Weir, Alejandro Nuevas, Domingo Villarruel, Luciano Pereyra, Jorge Pereyra por su compañía y ayuda brindada durante todo este tiempo. Especialmente a Pedro Vallone quien no está más entre nosotros y contribuyó con fondos para la adquisición del rolo involucrado en esta investigación.

A los integrantes del Área de Trigo del INTA Marcos Juárez, Dionisio Gómez, Carlos Bainotti, Guillermo Donaire, Enrique Alberione, María Formica, Leonardo David Arce y Carlos Leonardo Rosso por brindar información y ayuda en las actividades de campo.

A Carlos Dante Baleani por su contribución en las actividades de campo.

A Belén Conde por su colaboración para el diseño de los experimentos y los análisis estadísticos.

A Jorgelina Montoya por suministrar información útil para el análisis de impacto ambiental.

A Lucas Ludueña de la empresa JLS por ayudarnos a desarrollar el rolo para el secado de los cultivos de cobertura.

A Andrés del Pino y Alejandro De Angelis por ayudar a difundir los resultados que se obtuvieron en esta investigación.

A José Gaiero por brindarnos su ayuda para realizar el convenio con la empresa JLS.

A la Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez.

Al INTA por el financiamiento del presente trabajo.

A Profesores y personal no docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR.

Sin su desinteresado aporte y su valiosa colaboración no hubiese sido posible la realización el presente trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, Mercedes Raquel Núñez y Carlos Alberto Baigorria.

A mis hermanos Alfonso Baigorria y Leopoldo Baigorria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo general.....	7
1.2.1 Objetivo Principal Capitulo 2.....	7
1.2.2 Objetivo Principal Capitulo 3.....	7
1.2.3 Objetivo Principal Capitulo 4.....	7
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DEL CICLO EN TRITICALE UTILIZADO COMO CULTIVO DE COBERTURA.....	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Objetivos específicos.....	9
2.3 Hipótesis.....	9
2.4 Materiales y métodos.....	9
2.4.1 Sitio Experimental.....	9
2.4.2 Diseño experimental y manejo agronómico.....	11
2.5 Resultados.....	15
2.5.1 Agua útil en el suelo.....	15
2.5.2 Producción de materia seca, uso consuntivo y eficiencia del uso del agua del cultivo de cobertura.....	16
2.5.3 Captura de nitrógeno edáfico.....	17
2.5.4 Rendimiento de soja.....	17
2.5.5 Composición y biomasa de malezas a la cosecha del cultivo de la soja.....	18
2.5.6 Evaluación de impacto ambiental.....	20
2.6 Discusión.....	20
2.6.1 Agua útil en el suelo.....	20
2.6.2 Producción de materia seca, uso consuntivo y eficiencia del uso del agua del cultivo de cobertura.....	21
2.6.3 Captura de nitrógeno edáfico.....	21
2.6.4 Rendimiento de soja.....	22
2.6.5 Composición y biomasa de malezas a la cosecha del cultivo de la soja.....	22
2.6.6 Evaluación de impacto ambiental.....	22
2.7 Conclusiones.....	23
CAPÍTULO 3. EFECTOS DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DEL CICLO EN DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA, CAPTURA DE NITRÓGENO EDÁFICO, IMPACTO AMBIENTAL Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA.....	24

3.1	Introducción.....	24
3.2	Objetivos específicos.....	25
3.3	Hipótesis.....	25
3.4	Materiales y métodos.....	25
3.4.1	Sitio experimental.....	25
3.4.2	Diseño experimental y manejo agronómico.....	26
3.5	Resultados.....	28
3.5.1	Agua útil en el suelo.....	28
3.5.2	Producción de materia seca, uso consuntivo, eficiencia del uso del agua, costo hídrico y eficiencia de barbecho de los cultivos de cobertura.....	30
3.5.3	Rendimiento de soja.....	32
3.5.4	Evaluación de impacto ambiental.....	33
3.6	Discusión.....	33
3.6.1	Agua útil en el suelo.....	33
3.6.2	Producción de materia seca, uso consuntivo, eficiencia del uso del agua, costo hídrico y eficiencia de barbecho del cultivo de cobertura.....	34
3.6.3	Rendimiento de soja.....	36
3.6.4	Evaluación de impacto ambiental.....	36
3.7	Conclusiones.....	37
CAPÍTULO 4. EFECTO DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN EN DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA Y ESTRATEGIAS DE CONTROL QUÍMICO EN EL CULTIVO DE SOJA SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MALEZAS		38
4.1	Introducción.....	38
4.2	Objetivos específicos.....	39
4.3	Hipótesis.....	39
4.4	Materiales y métodos.....	39
4.4.1	Sitio experimental.....	39
4.4.2	Diseño experimental y manejo agronómico.....	39
4.5	Resultados.....	41
4.5.1	Radiación interceptada.....	41
4.5.2	Temperatura del suelo.....	42
4.5.3	Captura de nitrógeno edáfico.....	42
4.5.4	Dinámica de emergencia de malezas.....	43
4.5.4.1	Malezas (Otoño – Invernales).....	43

4.5.4.2 Malezas (Primavero – Estivales)	45
4.5.5 Riqueza.....	49
4.5.6 Composición y biomasa de malezas totales a la cosecha del cultivo de soja.....	50
4.6 Discusión.....	51
4.6.1 Radiación interceptada.....	51
4.6.2 Temperatura del suelo.....	51
4.6.3 Captura de nitrógeno edáfico.....	52
4.6.4 Dinámica de emergencia de malezas.....	52
4.6.4.1 Malezas (otoño – Invernales)	52
4.6.4.2 Malezas (primavero – estivales)	53
4.6.5 Riqueza.....	55
4.6.6 Composición y biomasa de malezas totales a la cosecha del cultivo de soja.....	55
4.7 Conclusiones.....	56
CAPÍTULO 5. INTEGRADOR.....	57
5.1 Caracterización de las lluvias.....	57
5.2 Gestión del agua.....	58
5.3 Captura de nitrógeno edáfico.....	59
5.4 Control de malezas.....	60
5.5 Rendimientos de soja.....	61
CONSIDERACIONES FINALES 6.....	63
BIBLIOGRAFÍA 7.....	64
ANEXOS 8.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características edáficas (0-20 cm de profundidad) del suelo donde se realizó el experimento. Materia orgánica del suelo (MOS), limo + arcilla (L+A), índice de materia orgánica del suelo (IMO), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), pH y conductividad eléctrica.....	10
Tabla 2. Descripción de los tratamientos, manejo agronómico y precipitaciones del experimento.....	11
Tabla 3. Fecha de aplicación y dosis de los herbicidas utilizados en los diferentes tratamientos	14
Tabla 4. Contenidos de agua útil en el suelo (0 a 60 cm de profundidad), en los diferentes tratamientos para inicio del experimento (I), secado del CC (SeCC), siembra de la soja (SSj) y cosecha de la soja (SjR8).....	16
Tabla 5. Precipitaciones en el ciclo del cultivo de cobertura (Pp CC), producción de materia seca (MS) del triticale al momento de secado, rebrote seis semanas posterior al secado (6SPS) en los tratamientos triticale secado con rolo (TR) y triticale secado con herbicida (TH), uso consuntivo del agua (UC) y eficiencia del uso del agua (EUA) para las tres campañas evaluadas.....	17
Tabla 6. Contenidos de nitrógeno de nitratos en el suelo (profundidad 0–20, 20–40, 40–60 y 0–60 cm), en barbecho y triticale al momento de secado de los CC para las tres campañas evaluadas	17
Tabla 7. Cultivos de cobertura, métodos de interrupción y momento de la aplicación de los herbicidas en los diferentes tratamientos.....	26
Tabla 8. Manejo agronómico y precipitaciones del experimento.....	27
Tabla 9. Valores medios de producción de materia seca (MS), uso consuntivo de agua (UC) eficiencia de uso agua (EUA) y costo hídrico (CoH) de centeno, triticale y vicia villosa.....	31
Tabla 10. Emergencia de <i>Eleusine indica</i> L. desde mediados de septiembre hasta fines de enero bajo diferentes tratamientos	47
Tabla 11. Emergencia de <i>Digitaria sanguinalis</i> L. desde mediados de septiembre hasta fines de enero bajo diferentes tratamientos	48
Tabla 12. Efecto de los CC en el número de especies de malezas.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Precipitaciones mensuales históricas serie Marcos Juárez (1960-2019) y ocurridas durante el desarrollo de los experimentos.....	10
Figura 2. Rolado de triticale, las flechas indican la dirección de las labores.....	12
Figura 3. Rendimiento del cultivo de soja (kg ha^{-1}) para los tratamientos triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH) y barbecho (B) en las tres campañas evaluadas.....	18
Figura 4. Postcosecha de soja, campaña 2013/2014. (a) Tratamiento B con abundante presencia de perejilillo y ortiga mansa. (b) Tratamiento TR con escasa presencia de malezas.....	19
Figura 5. Biomasa total de las malezas a la cosecha de la soja (g m^{-2}) en triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH) y barbecho (B).....	19
Figura 6. Coeficiente de Impacto Medio Ambiental (EIQ) de campo para los herbicidas utilizados en cada campaña para los diferentes tratamientos.....	20
Figura 7. Agua útil acumulada a 60 cm (a) y a 150 cm (b) de profundidad para barbecho con glifosato (BH), centeno, triticale y Vicia villosa en los diferentes momentos de muestreo.....	30
Figura 8. Eficiencia de barbecho (EB) de barbecho con glifosato (BH), triticale, centeno y vicia villosa.....	32
Figura 9. Efecto del antecesor y el método de interrupción en el rendimiento de soja.....	32
Figura 10. Coeficiente de impacto ambiental (EIQ de campo) en barbecho, centeno, triticale y Vicia villosa en HM: con herbicidas residuales, H: secado con herbicida y R: secado mediante el rolado.....	33
Figura 11. Porcentaje de radiación interceptada (PRI %) en función del tiempo térmico ($Tt \text{ } ^\circ\text{Cd}$) desde la siembra hasta el secado de los cultivos de cobertura.....	41
Figura 12. Temperatura del suelo ($^\circ\text{C}$) a 3 cm de profundidad en función del tiempo desde la siembra los CC hasta inicio de floración de la soja (R2).....	42
Figura 13. Contenidos de N NO_3^- (kg ha^{-1}) en el suelo (profundidad 0-20, 20-40 y 40-60 cm), en barbecho con glifosato (BH), Vicia villosa, centeno y triticale al momento de secado de los CC.....	43
Figura 14. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) del total de malezas de ciclo otoño invernal periodo agosto a diciembre.....	44
Figura 15. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) de <i>Conyza</i> spp. periodo agosto a diciembre.....	44
Figura 16. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) de <i>Gamochaeta spicata</i> (Lam.) periodo agosto a diciembre.....	45
Figura 17. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) del total de malezas de ciclo primavero-estival periodo septiembre a enero.....	46

Figura 18. Emergencia acumulada (plantas m ⁻²) de <i>Amaranthus hybridus</i> L. periodo septiembre a enero	46
Figura 19. Emergencia acumulada (plantas m ⁻²) de plantas de <i>Conyza spp.</i> periodo septiembre a enero	47
Figura 20. Triticale voluntario (plantas m ⁻²) al inicio de floración de la soja (R1) en los diferentes tratamientos	49
Figura 21. Biomasa total de las malezas a la cosecha de soja (g m ⁻²) en BH (barbecho con glifosato), BHM (barbecho con herbicidas residuales), CH (centeno secado con herbicida), CR (centeno secado con rolo), TH (triticale secado con herbicida), TR (triticale secado con rolo), VH (vicia secada con herbicida) y VR (vicia secada con rolo).....	50
Figura 22. Distribución probabilística de lluvias en (mm) por periodos de octubre a marzo y de abril a setiembre para la región de Marcos Juárez.....	57
Figura 23. Relación entre agua útil al secado de los CC y agua útil a la siembra de los CC + precipitaciones.....	58
Figura 24. Usos consuntivos para barbecho (B) y CC para las tres campañas evaluadas	59
Figura 25. Materia seca al momento de secado de los CC en función del contenido de N NO ₃ ⁻ a la profundidad 0 – 60 cm.....	60
Figura 26. Número de malezas totales al momento de secado de los CC en función de los volúmenes de materia seca aportados por los mismos.....	61
Figura 27. Número de malezas totales al inicio de floración de la soja en función de los volúmenes de materia seca aportados por los CC.....	61
Figura 28. Rendimiento del cultivo de soja sobre barbecho (B) y CC para las diferentes campañas evaluadas.....	62

ABREVIATURAS

AAPRESID	Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa
Argenbio	Consejo argentino para la información y el desarrollo de la biotecnología
AU	Agua Útil
AUT	Agua Útil Total
B	Barbecho
BH	Barbecho con glifosato
BHM	Barbecho con herbicidas residuales
cc	Capacidad de campo
CC	Cultivos de cobertura
CE	Conductividad eléctrica
CH	Centeno secado con herbicida
CHM	Centeno secado con herbicida más un herbicida residual
CoH	Costo hídrico
C/N	Relación carbono/nitrógeno
CR	Centeno secado con rolo
CRA	Capacidad de retención de agua
DAS	Días antes del secado
EB	Eficiencia de barbecho
EIQ	Coefficiente de impacto ambiental
EUA	Eficiencia de uso del agua
G	Glifosato
g i.a ha ⁻¹	Gramos de ingrediente activo por hectárea
H	Herbicidas
HM	Herbicidas residuales
ID	Identificación de los tratamientos
IMO	Índice de materia orgánica
Kg ha ⁻¹	Kilogramos por hectárea
kg MS ha ⁻¹	Kilogramos de materia seca por hectárea
kg N ha ⁻¹	Kilogramos de nitrógeno por hectárea
kg Ms mm ⁻¹ ha ⁻¹	Kilogramos de materia seca por milímetro por hectárea
kg p.f. ha ⁻¹	Kilogramos de producto formulado por hectárea
kg i.a. ha ⁻¹	Kilogramos de ingrediente activo por hectárea

MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
MM	Metsulfuron Metil
MOS	Materia orgánica del suelo
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
N NO ₃ ⁻	Nitrógeno de nitratos
P	Fosforo disponible
PIR %	Porcentaje de intercepción de la radiación
Pp CC	Precipitaciones en el ciclo del cultivo de cobertura
PMP	Punto de marchites permanente
RADinc	Radiación incidente en la parte superior del cultivo
RADs	Radiación incidente en la parte inferior del cultivo
ReTAA	Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada
R	Rolado
SCC	Siembra del cultivo de cobertura
SM	S-Metolacloro
SPS	Semanas posteriores al secado
SjR8	Soja en R8
SSj	Siembra de soja
T	Triticale
TH	Triticale secado con herbicida
THM	Triticale secado con herbicida más un herbicida residual
Tt	Tiempo térmico
TR	Triticale secado con rolo
UC	Uso consuntivo
VH	Vicia secada con herbicida
VHM	Vicia secada con herbicidas más un herbicida residual
VR	Vicia secada con rolo
%	Porcentaje

RESUMEN

La masiva adopción del sistema de siembra directa y la utilización de cultivares de soja tolerantes a glifosato, generó una alta dependencia de herbicidas de amplio espectro para el control de malezas. Los cultivos de cobertura (CC) constituyen una práctica con potencial para reducir el uso de herbicidas en postemergencia de soja y a su vez minimizar el impacto ambiental.

Se evaluó el efecto del método de secado en CC de invierno sobre la composición y dinámica de la comunidad de malezas, la dinámica del agua, el impacto ambiental y la productividad del cultivo de soja en el Departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba. Se establecieron dos experimentos, en el primero se estudiaron durante tres campañas el efecto del método de secado (químico vs rolado) en triticale (*x Tritico secale* Wittm. ex A. Camus) utilizado como CC sobre la dinámica del agua útil (AU) disponible en el suelo, la supresión de malezas a la cosecha del cultivo de la soja y la productividad de la misma y el efecto sobre el impacto ambiental de los diferentes manejos a través del coeficiente de impacto ambiental (EIQ). Los tratamientos fueron triticale secado con rolo (TR) y secado con herbicida (TH), vs un tratamiento barbecho (B) sin CC.

En el segundo experimento se evaluó el efecto de triticale, centeno (*Secale cereale* (L.) y vicia (*Vicia villosa* Roth) utilizados como CC, dos métodos de secado y diferentes estrategias de control químico de malezas sobre la dinámica del agua y los nitratos, la dinámica poblacional de las malezas, impacto ambiental y la productividad del cultivo de soja. Los tratamientos fueron: secado mediante el rolado (R), secado con herbicida (H) y secado con herbicida más un herbicida residual (HM). Paralelamente a cada repetición se agregó una parcela principal, barbecho sin CC (B) con dos programas de manejo de malezas, con glifosato solo (BH) y con herbicidas residuales (BHM). Además, la dinámica poblacional de malezas de estos tratamientos se comparó con un testigo sin CC y sin herbicidas.

En el primer experimento, en el tratamiento B, el AU en todos los momentos de muestreo y en las tres campañas se diferenció significativamente de los CC. El método de secado de los CC no mostró influencia significativa en el AU, esto implica que el rebrote de TR las dos primeras campañas no disminuyó el AU al momento de la siembra de soja.

Tanto en el análisis por campaña como en el conjunto, los CC presentaron valores significativamente menores de MS de malezas a la cosecha de la soja respecto al tratamiento B, mientras que el método de secado no tuvo incidencia. Al analizarlos en

forma conjunta se observa que en los tratamientos con CC hay una tendencia a reducir el número de aplicaciones y la cantidad de principio activo comparado con el tratamiento B. No se comprobaron diferencias significativas en el rendimiento de la soja por utilizar CC y método de secado comparado con el tratamiento B. Los valores de EIQ presentaron la misma tendencia en las tres campañas TR<TH<B. En el promedio de las tres campañas el EIQ en TR se redujo 55,9% respecto a B mientras que en TH la reducción fue de 32,9%, respectivamente.

En el segundo experimento al momento de secado los CC tuvieron un 35% menos de AU, mientras que a la siembra de la soja el contenido de AU fue un 16% mayor respecto de BH. La reducción de la densidad de malezas otoño-invernales como *Conyza* spp. y *Gamochaeta spicata* fue superior al 90% en los CC con respecto a los barbechos.

En cuanto a las malezas primavera-estivales en la mayor parte del periodo considerado, la densidad total de malezas fue mayor en el tratamiento testigo. En todos los censos realizados la densidad en ambos tratamientos de barbecho fue significativamente mayor que la observada en los CC. En BH la emergencia fue siempre mayor o igual a BHM durante todo el ciclo. En los tratamientos con CC la emergencia de las malezas se retrasó aproximadamente 60 días respecto a los tratamientos de barbecho. Del grupo de las malezas primavera-estivales la especie más abundante en el tratamiento testigo fue *Amaranthus hybridus* L. La reducción en la emergencia de yuyo colorado en los CC fue del 98,8% con respecto al testigo y del 93,9% con respecto a los barbechos.

Considerando las tres especies utilizadas como CC, la biomasa total de malezas fue, en promedio, 0,8 g MS m⁻², mientras que en los barbechos fue, en promedio, 47,6 g MS m⁻² esto representa una reducción del 98% asociada con la presencia de los CC. Por la inclusión de CC y el secado mediante el rolado el valor de EIQ se redujo más de un 70% respecto del barbecho sin reducir el rendimiento de soja.

El sistema de CC y secado mecánico mediante rolado, permiten reducir considerablemente las dosis y el número de aplicaciones de herbicidas, sin afectar la disponibilidad hídrica ni el rendimiento del cultivo de soja. Este tipo de práctica se constituye en una herramienta promisoriosa para áreas con restricciones en la aplicación de herbicidas.

ABSTRACT

The massive adoption of the direct seeding system and the use of glyphosate-tolerant soybean cultivars, caused a high dependence on broad-spectrum herbicides for weed control. Cover crops (CC) are a practice with potential to reduce the use of herbicides in post-emergence of soybean crop and at the same time to minimize environmental impact.

The effect of the termination method in winter CC on the composition and dynamics of the weed community, water dynamics, environmental impact and productivity of soybean cultivation were evaluated in the Marcos Juárez Department, Córdoba province. Two experiments were established, in the first one, was studied during three farm years the effect of the termination method (chemical vs rolling) in triticale (x *Triticum secale* Wittm. ex A. Camus) used as CC on the dynamics of the available water (AU) in the soil, the suppression of weeds at the soybean harvest time and the productivity of the same and the effect on the environmental impact of the different management through the coefficient of environmental impact (EIQ). The treatments were: triticale with roller crimper termination (TR) and herbicide termination (TH), vs a fallow treatment (B) without CC.

The second experiment evaluated the effect of triticale, rye (*Secale cereale* (L.) and (*Vicia villosa* Roth) used as CC, two termination methods and different strategies of chemical weed control on water dynamics, weed population dynamics and nitrates, environmental impact and soybean productivity. The treatments were roller crimper termination (R), herbicide termination (H) and herbicide termination plus a residual herbicide (HM). Parallel to each repetition was added a main plot, fallow without CC (B) with two weed management programs, with glyphosate alone (BH) and with residual herbicides (BHM). In addition, the weed population dynamics of these treatments were compared with a control without CC and without herbicides.

In the first experiment, in the B treatment, available water (UA) at all sampling times and in the three farm years differed significantly from the CC. The termination method of the CC did not showed significant influence on the UA, this implies that the regrowth of TR the first two seasons did not decrease the UA at the time of soybean sowing.

Both in the analysis by farm year and in the whole, the CC showed significantly lower values of MS of weeds at soybean harvest with respect to treatment B, while the termination method had no incidence. When analyzing them together, it is observed that in treatments with CC there is a tendency to reduce the number of sprays and the amount of active ingredient compared to treatment B. No significant differences were found in the yield of soybean by using CC and termination method compared with B. EIQ values showed the same trend in the three farm years $TR < TH < B$. In the average of the three farm years EIQ in TR was reduced 55,9% compared to B while in TH the reduction was 32,9% respectively.

In the second experiment at the time of termination the CC had 35% less AU, while at the time of soybean sowing the AU content was 16% higher than BH. The autumn-winter weeds density reduction such as *Conyza* spp. and *Gamochaeta spicata* was higher than 90% in CC with respect to fallow.

For spring-summer weeds most of the period considered, the total density of weeds was higher in the control treatment. In all the censuses performed the density in both fallow treatments was significantly higher than that observed in the CC. In BH the emergency was always greater than or equal to BHM throughout the cycle. In CC treatments the emergence of weeds was delayed by about 60 days with respect to fallow treatments. From the group of spring-summer weeds the most abundant species in the control treatment was the *Amaranthus hybridus* L. The reduction in the emergency of smooth pigweed in the CC was 98,8% with respect to the control and 93,9% with respect to fallows.

Considering the three species used as CC, the total weed biomass was, on average, 0,8 g MS m⁻², while in fallow plots it was, on average, 47,6 g MS m⁻² this represents a reduction of 98% associated with the presence of CC. Due to the inclusion of CC and roller-crimper termination the EIQ value was reduced by more than 70% compared to fallow plot without reducing soybean yield.

The CC system and the mechanical termination by roller-crimper, can considerably reduce the doses and the number of herbicide sprays, without affecting the water availability or the yield of soybean crop. This type of practice is a promising tool for areas with restrictions on the sprays of herbicides.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Caracterización del sistema productivo

La frecuencia de oleaginosas en los sistemas de producción actuales es muy alta. Entre estos cultivos se destaca la soja por su importancia en la Argentina, tanto en superficie implantada como en producción. Los cultivares de soja (*Glycine max* L. Merr) tolerantes a glifosato constituyen el 98% del total de la superficie sembrada con este cultivo en Argentina (Argenbio, 2017). En la campaña 2019/2020 se sembraron 14,9 millones de hectáreas y se produjeron 48,7 millones de toneladas, valor que corresponde al 95% de la producción total de oleaginosas (MAGyP, 2021). En la región sudeste de la provincia de Córdoba el 95% de la superficie cultivada con soja, se implanta en siembra directa (AAPRESID, 2012). El promedio de las últimas cuatro campañas (2016/2017 al 2019/2020), la soja de primera época de siembra fue el cultivo predominante en la región, ocupando el 52,7 % de la superficie agrícola, mientras que el 20,1 % correspondió a la soja de segunda (MAGyP, 2021).

Implicancias del sistema productivo

La gran adopción que tiene la siembra directa y la utilización de cultivares de soja resistentes a glifosato, generó que el sistema productivo sea cada vez más dependiente de la utilización de herbicidas de amplio espectro (ej: glifosato). A su vez en los sistemas agrícolas y mixtos agrícolas se han incrementado las dosis y frecuencias de aplicaciones en los últimos 10 años (Benbrook, 2005). La principal causa de esto es atribuida a la aparición de tolerancia y resistencia de ciertas malezas al glifosato (Rainero, 2008). El incremento en los costos de los herbicidas, sumado al impacto negativo sobre el ambiente (Andrade, 2020), impulsa la necesidad de encontrar alternativas que reduzcan el uso de los mismos.

Impacto ambiental

Para aumentar la sostenibilidad de las estrategias de manejo de malezas, el proceso de toma de decisiones debe incorporar una evaluación del impacto ambiental (Stewart et al., 2011). El Coeficiente de Impacto Ambiental EIQ (sigla en inglés) puede ser usado para comparar diferentes plaguicidas o bien diferentes programas de manejo de malezas de forma de obtener el programa o herbicida que presente un menor impacto medio ambiental. Este coeficiente no sólo considera algunas propiedades físicas y químicas de

los plaguicidas sino también aspectos relacionados con la ecotoxicología y efectos sobre la salud humana de cada uno de los plaguicidas en forma específica (Kovach et al., 1992).

CULTIVOS DE COBERTURA

Control de malezas

Los cultivos de cobertura (CC) representan una práctica con potencial para, entre otros objetivos, reducir el uso de herbicidas en postemergencia de soja (Reddy, 2003).

Los mecanismos principales por los cuales los residuos de CC como centeno (*Secale cereale* (L.) o vicia inhiben la germinación y emergencia de las malezas anuales son: (1) la atenuación de las señales del medio ambiente (luz, temperatura, precipitaciones, oxígeno) que rompen la latencia de las semillas, (2) interferencia física con el proceso de emergencia de la plántula y (3) liberación de compuestos fitotóxicos (Mirsky et al., 2013). Teasdale y Mohler (1993) encontraron que los residuos de centeno y *Vicia villosa* pueden limitar la luz y las señales térmicas requeridas para que las semillas de las malezas comiencen a germinar.

Experimentos realizados por Teasdale y Mohler (2000) con diferentes rangos de residuo en superficie de centeno y *Vicia villosa*, muestran que el mismo debe estar presente en cantidades cercanas a los 8000 kg ha⁻¹ para suprimir eficazmente las malezas anuales. Las semillas que germinan bajo niveles altos de residuos (8.000 kg ha⁻¹) se inhiben principalmente por interferencia física del mantillo en superficie, sumado a la baja penetración de la luz, las plántulas agotan las reservas de nutrientes de las semillas, antes de alcanzar la superficie para su establecimiento. Estos datos fueron obtenidos en laboratorio a partir de bancos de semillas artificiales.

Factores que afectan la producción de materia seca

Teniendo en cuenta que la producción de materia seca (MS) del CC es un factor importante en la supresión de las malezas, investigaciones realizadas en Argentina con centeno, muestran que la producción de MS en antesis sin fertilización es aproximadamente de 2500 a 4000 kg ha⁻¹, mientras que con fertilización la producción aumenta a rangos entre 5500 y 11000 kg.ha⁻¹ (Baigorria y Cazorla, 2010; Quiroga et al., 2007; Bertolla et al., 2012). A pesar de los resultados contradictorios en términos de rendimiento en grano, gran parte de la literatura señala que el cultivo de invierno triticale (*Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) produce más MS en antesis que otros cereales (Sutton y Dubbelde, 1980; López-Castañeda y Richards, 1994), aunque otros autores (Giunta y Motzo, 2005) encuentran resultados diferentes.

Trabajos realizados con triticale como CC en la región sudeste de la provincia de Córdoba en suelos Argiudoles típicos, mostraron que la producción de MS es variable según el año y manejo aplicado. Por ejemplo, en años con un adecuado perfil de humedad (entre 80 y 100% de la capacidad de campo) y aplicación de 100 kg N ha⁻¹ en forma de urea se alcanzaron producciones de MS de 15940 kg ha⁻¹ (Bertolla et al., 2012), mientras que en años con contenidos de humedad (inferiores al 50% de capacidad de campo) a la siembra se lograron producciones de 5560 kg ha⁻¹ (Baigorria y Cazorla, 2010). Dentro de las leguminosas, *Vicia villosa* es una especie con buen comportamiento a las bajas temperaturas, aporte de N y control de malezas (Ebelhar et al., 1984; Clark et al., 1995; Renzi et al., 2008; Vanzolini et al., 2012), con producciones de MS que van de los 3000 a 8000 kg ha⁻¹ (Capurro et al., 2012; Rillo et al., 2012; Baigorria et al., 2011; Vanzolini et al., 2012). Estos datos, muestran que el manejo y los ambientes influyen en la producción de MS del CC (gramíneas y leguminosas), lo cual puede producir diferentes resultados en el grado de supresión de las malezas según la situación de análisis.

Impacto en el nitrógeno disponible del suelo

Otro aspecto importante, es el impacto de los CC en la disponibilidad de N inorgánico del suelo y los efectos posteriores sobre las malezas, los cuales todavía no han sido claramente explicados. Los altos niveles de MS y la calidad del residuo (alta relación carbono/nitrógeno C/N 27–44 (Wagger, 1989; Clark et al., 1997)), el contenido de lignina y de hemicelulosa del centeno en estados fenológicos avanzados, dan como resultado valores muy bajos de N inorgánico liberado al suelo durante la descomposición de los residuos y podría contribuir de manera significativa a la supresión de malezas.

La mayoría de las malezas no leguminosas, son sensibles a la falta de N (Blackshaw et al., 2004; Henson y Jordan, 1982; Tungate et al., 2006), por lo tanto la reducción en los niveles de N inorgánico del suelo podría constituir una táctica para disminuir la competencia de malezas en una rotación centeno (CC)/ soja. En relación a este objetivo, (Restovich et al., 2012) observaron reducciones mayores al 90% en el contenido de N-NO₃⁻ del suelo, bajo CC (gramíneas) respecto a un barbecho desnudo. Similares resultados fueron obtenidos por (Álvarez et al., 2006) quienes trabajando sobre Haplustoles, reportaron reducciones mayores al 70% en el contenido de N-NO₃⁻ del suelo, utilizando diferentes verdeos de invierno como CC.

Dado que las especies de vicia se caracterizan por la baja relación C/N (media 13/1) (Ranells y Wagger, 1996; Aita y Giacomini, 2003), a través de esta información es posible inferir que la mineralización superará a la inmovilización del N. Este es un

aspecto interesante, ya que posterior al secado de estas especies, el N liberado del residuo podría activar la germinación de las malezas, siendo importante en este caso el uso de leguminosas para el control por interferencia física y atenuación de las señales del medio.

En función de los antecedentes citados anteriormente, la supresión de malezas anuales primavera-estivales está relacionada positivamente con la producción de MS del CC, mientras que con malezas perennes no existe tal relación o la supresión resulta inconsistente (Mirsky et al., 2011). Es por esto que, adoptar sistemas de rotación con CC, implicaría tener en cuenta la fertilidad del suelo y la fecha de siembra, factores que inciden en la producción de MS del CC (Smith et al., 2011).

Gestión del agua

Si bien es necesario lograr elevadas producciones de MS del CC, las mismas pueden reducir el agua almacenada en el suelo para el cultivo de soja, pudiendo afectar de esta manera al rendimiento del mismo (Ruffo, 2003; Coll et al., 2011). En efecto (Caviglia et al., 2007), encontraron una relación negativa entre la lámina de agua hasta 1 m de profundidad y la producción de MS de los CC al momento de secado, mientras que otros autores (Álvarez y Scianca, 2006; Rillo et al., 2012 y Carfagno et al., 2013) trabajando en zonas subhúmedas y semiáridas no encontraron diferencias en el agua disponible entre testigos y centeno como CC.

Una de las posibilidades de manejo frente a esta variable que puede condicionar la disponibilidad de agua es la interrupción del ciclo de los CC anticipadamente permitiendo la recomposición de la disponibilidad de agua en el perfil al momento de la siembra de la soja (Ruffo, 2003). Sin embargo, en algunos ambientes el agua consumida durante el desarrollo y crecimiento de los CC no condicionaría el contenido de humedad al suspender el crecimiento, además el mayor nivel de MS generada genera una mayor eficiencia en la captación del agua de lluvia de la primavera, reduciendo las diferencias entre el barbecho desnudo y el barbecho más corto con cobertura (Cordone y Hansen, 1986; Álvarez et al., 2014).

Algunos investigadores han intentado mejorar la eficiencia de uso de agua (EUA) a través de diferentes especies, manejo de fecha de siembra, fertilización, etc. Así, por ejemplo, Neal et al. (2011) propusieron que especies de rápido crecimiento mejoran la EUA, ya que cubren el suelo rápidamente, evitando pérdidas de agua por evaporación directa desde el suelo. Por lo tanto, sería importante elegir especies que tengan la mayor producción de MS con el menor consumo de agua, es decir con alta eficiencia en el uso del agua. Así, los CC que consiguen producir mayor cantidad de MS en forma anticipada,

permiten adelantar su secado, lo que beneficia a los cultivos estivales, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones que ocurren al principio de la primavera (Fernández et al., 2005).

Evaluaciones realizadas en Marcos Juárez sobre Argiudoles típicos, muestran que el triticale presenta valores de EUA entre 38 y 81 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹, en centeno entre 16 a 50 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹ mientras que en *Vicia villosa* varía entre 28 a 43 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹ (Baigorria y Cazorla, 2010; Bertolla et al., 2012). Scianca (2010), trabajando con centeno utilizado como CC en un suelo Argiudol típico, halló valores de EUA entre 37 y 54 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹, mientras que Rillo et al. (2012) en un Hapludol éntico evaluando *Vicia villosa* como CC con secado temprano y tardío obtuvieron valores de 9 a 18 kg MS mm⁻¹ ha⁻¹. Fernández et al. (2012) obtuvieron altas EUA de los CC sobre Haplustoles énticos en la región semiárida, se atribuyeron a valores bajos en el uso consuntivo (UC) con rangos de 73 a 97 mm. En la región semiárida pampeana, Scianca (2010) trabajando en centeno como CC encontró un valor similar (88 mm), mientras que, en la misma zona y el mismo cultivo, Fernández et al. (2007) cuantificaron 150 mm de UC. Baigorria y Cazorla (2010) como también Bertolla et al. (2012) realizando experiencias en Argiudoles típicos de Marcos Juárez obtuvieron valores de UC en triticale entre 92 a 305 mm, en centeno de 41 a 249 mm y en *Vicia villosa* de 248 a 253 mm. De esta información se puede inferir que los resultados de incluir CC pueden ser muy diferentes entre sitios como lo menciona Unger y Vigil (1998) y esto estaría asociado con la cantidad de factores involucrados (clima, suelo, manejo) y la fuerte interacción entre ellos durante el ciclo del CC y el barbecho posterior (Galantini, 2008).

Momento y método de interrupción del ciclo de los cultivos de cobertura

Dependiendo de las necesidades de manejo del cultivo, los CC suelen secarse con cierta antelación a la siembra del próximo cultivo. Álvarez y Scianca (2006), Fernández et al. (2007) y Scianca (2010) han encontrado rendimientos de cultivos de maíz y soja, iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores, mientras que Álvarez y Scianca et al. (2006) en Hapludoles típicos del noroeste bonaerense no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos.

Dentro de los factores de manejo, el momento de secado de los CC, debe adecuarse siguiendo dos criterios: (a) lograr una acumulación de biomasa que garantice una importante cobertura y aportes de carbono y (b), ajustarse zonalmente a las

precipitaciones de cada región para asegurar la recarga del perfil con las lluvias de primavera (Ruffo, 2003).

El secado de los CC aplicando un herbicida es la práctica más utilizada por los productores de la región pampeana y extra-pampeana. Existe otra alternativa poco conocida por los productores agrícolas de la región pampeana Argentina que es el control mecánico de los CC a través del rolado. Esta técnica se ha utilizado durante décadas en Brasil y Paraguay, mejorando el manejo de los cultivos de cobertura y sus residuos (Derpsch et al., 1991; Ashford y Reeves, 2003). Con este implemento, el residuo del CC se deposita uniformemente sobre la superficie del suelo, persistiendo durante un largo período, mejorando así la supresión de malezas, la retención de humedad y la conservación del suelo (Creamer y Dabney, 2002; Morse, 2001). El rolo para CC puede ser utilizado para interrumpir el ciclo de gramíneas anuales como, centeno, trigo, avena, y cebada, como así también el de algunas leguminosas anuales como *Vicia villosa*, *Trifolium incarnatum*, *Pisum sativum* y otras especies. La mayor parte de las investigaciones utilizando rolos se ha realizado en gramíneas anuales de invierno, aunque también se han evaluado leguminosas como *Vicia villosa*, arveja, y trébol encarnado. La susceptibilidad al rolado de una gramínea es dependiente de su estado fenológico, siendo mayor mientras más avanzado esté el ciclo (Creamer y Dabney, 2002), aunque el período más recomendado para el secado es en antesis ya que se minimiza de esta manera los riesgos de rebrote (Mirsky et al., 2009).

En *Vicia villosa* se encontraron controles consistentes al estado de floración con vainas pequeñas visibles (estadío 6-7 según la escala fenológica propuesta por Mischler et al. (2010). A su vez, se han comprobado buenos resultados, rolando antes de estos estadios, pero con posibilidad de rebrote y competencia con el cultivo posterior (Curran et al., 2010).

La formación de semillas es otro de los problemas asociados con el rebrote, ya que luego éstas pueden transformarse en malezas de invierno en el cultivo de trigo (Curran et al., 2010). En cambio, con coberturas mixtas (gramínea–leguminosa), se debe esperar a que madure la especie más tardía para aplicar el control mecánico. Cultivos como alfalfa, trébol rojo, canola, raigrás anual, son algunas de las especies que no se adaptan al uso de esta alternativa.

Si bien la utilización de los CC y su secado a través del rolado son herramientas muy difundidas en los sistemas de siembra directa de agricultura orgánicos de EE.UU.

(Mischler et al., 2010; Curran et al., 2010), en Argentina es escasa a nula la información existente en especies gramíneas y leguminosas.

Por otro lado, el enfoque simplificado del sistema de producción actual refleja la necesidad de desarrollar esquemas de producción con una visión sistémica, por lo tanto, mediante la utilización de CC se podría optimizar la eficiencia del uso del agua, reducir la utilización de herbicidas mediante el rolado de los CC minimizando el impacto ambiental sin descuidar los aspectos productivos de los cultivos de renta.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del método de interrupción en cultivos de cobertura de invierno sobre la composición y dinámica de la comunidad de malezas, la dinámica del agua y la productividad del cultivo de soja en el Departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba.

1.2.1 Objetivo Principal Capítulo 2

Evaluar el efecto de diferentes métodos de interrupción de triticale utilizado como CC sobre la dinámica del agua, el contenido de nitratos del suelo al momento de secado, composición de las malezas, impacto ambiental y productividad del cultivo de soja.

1.2.2 Objetivo Principal Capítulo 3

Cuantificar los efectos de los métodos de interrupción en diferentes CC en la disponibilidad de agua útil, impacto ambiental y productividad del cultivo de soja

1.2.3 Objetivo Principal Capítulo 4

Determinar el efecto de diferentes CC sobre la radiación incidente, la temperatura del suelo y el contenido de nitratos del suelo al momento de secado. Evaluar el efecto de los CC utilizados, los métodos de interrupción (rolado vs químico) y estrategias de control químico de malezas sobre la composición y fluctuación poblacional de las mismas.

CAPITULO 2

ANÁLISIS DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DEL CICLO EN TRITICALE UTILIZADO COMO CULTIVO DE COBERTURA

2.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas en el periodo otoño-invierno del departamento Marcos Juárez, permiten la inclusión de un CC entre los cultivos estivales de renta. Dentro de las gramíneas el triticale presenta como característica una alta producción de biomasa en relación a otros cereales invernales (López-Castañeda y Richards, 1994), además cuenta con ventajas en sanidad y tolerancia al frío comparado con especies avena, característica muy importante en zonas con inviernos secos y fríos (Bianchi et al., 2013).

Las estrategias de manejo de triticale a tener en cuenta son: fecha de siembra, variedad, densidad de siembra y fertilización. Las fechas de siembra tempranas permiten un mayor aprovechamiento de los excedentes de agua no utilizados por los cultivos estivales, como así también un mayor aprovechamiento de las temperaturas de comienzos de otoño. Las variedades de triticale de ciclo corto producen altas tasas de crecimiento y son más aptas para fechas de secado temprano, mientras que variedades de ciclo intermedio o largo generan mayores volúmenes de materia seca, pero es necesario un periodo de crecimiento más prolongado, retrasando la fecha de secado.

En cuanto a las densidades de siembra optimas en la región sudeste de la provincia de Córdoba, no se encontraron diferencias significativas en la producción de MS utilizando densidades de 150 o 250 plantas m^{-2} (Cagliero, 2011). La fertilización del cultivo produce incrementos importantes en la producción de materia seca y la magnitud de la respuesta dependerá del cultivo estival antecesor y de las condiciones climáticas. En la región sudeste de Córdoba, en experimentos con triticale como CC antecesor de cultivos estivales, la respuesta a la fertilización de nitrógeno más fosforo, fue de 749 kg MS ha^{-1} , en el año 2010 (Baigorria y Cazorla, 2010) mientras que, al año siguiente, con mayores precipitaciones durante el ciclo del cultivo la respuesta fue de 2460 kg MS ha^{-1} (Baigorria et al., 2012).

Además de las características de triticale antes mencionadas, esta especie cuenta con una aptitud muy importante, que es la posibilidad de ser secada en forma mecánica a través del rolado. En Argentina el triticale utilizado como CC secado mecánicamente (rolado) no tiene muchos antecedentes, y constituye una de las mejores opciones frente a otras gramíneas, debido al elevado nivel de producción de biomasa aérea (Baigorria y

Cazorla, 2010) y a la gran altura que alcanza la planta en antesis (Donaire et al., 2019), características que mejoran la performance del secado mecánico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar el contenido de agua útil y de nitratos en la secuencia CC/soja y barbecho/soja.
2. Determinar el efecto de diferentes métodos de interrupción del ciclo (químico vs rolado) de triticale en la materia seca remanente posterior al tratamiento.
3. Determinar el efecto de los diferentes métodos de interrupción (químico vs rolado) sobre la productividad del cultivo de soja.
4. Cuantificar el efecto de los diferentes métodos de interrupción (químico vs rolado) sobre la materia seca de las malezas presentes a la cosecha del cultivo soja.
5. Determinar el índice de impacto ambiental (EIQ) asociado a los diferentes métodos de interrupción de los CC.

2.3 HIPÓTESIS

1. La incorporación de CC no produce disminuciones en el contenido de agua útil al momento de interrupción de los mismos independientemente de los métodos de control (químico vs rolado).
2. Los CC al momento de interrupción de ciclo producen disminuciones del contenido de nitratos del suelo con respecto al manejo tradicional sin CC.
3. En antesis el control de los CC mediante el rolado es menos eficiente ya que la materia seca remanente es mayor respecto del tratamiento con herbicida.
4. La interrupción del ciclo de los CC tanto en forma mecánica como química no afecta negativamente el rendimiento del cultivo respecto a un manejo tradicional sin CC.
5. Los CC disminuyen tanto la composición específica de la comunidad de malezas como la biomasa de las especies predominantes, independientemente del método de interrupción de los mismos.
6. La utilización de CC y la interrupción mecánica de los mismos disminuyen el índice de impacto ambiental (EIQ) respecto a un manejo tradicional sin CC.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Sitio experimental

Los experimentos se desarrollaron en la Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez (32°42'44.65''S, 62°05'46.07''O). Sobre un suelo clasificado como Argiudol típico, perteneciente a la serie Marcos Juárez, que posee capacidad de uso 1, cuyas características se presentan en la Tabla 1. Es un suelo oscuro, profundo y bien

drenado de lomas casi planas (INTA, 1978). El clima es templado húmedo, con una temperatura media anual de 17,6°C y precipitaciones que se han incrementado en los últimos años con un promedio anual de 900 a 1000 mm (Andreucci et al., 2016). En la Figura 1 se presentan de las precipitaciones mensuales producidas en el periodo en que se desarrollaron los experimentos y el promedio de la serie histórica Marcos Juárez (1960-2019).

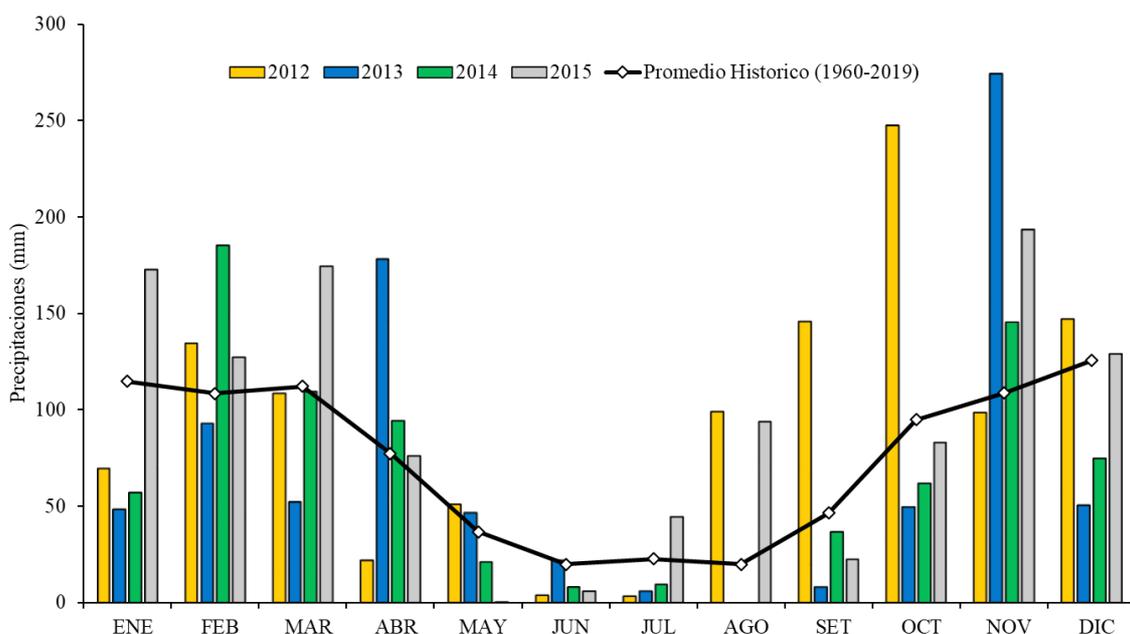


Figura 1. Precipitaciones mensuales históricas serie Marcos Juárez (1960-2019) y ocurridas durante el desarrollo de los experimentos.

En la Tabla 1 se presentan las características más relevantes para el estudio de variables de suelo. El índice de materia orgánica (IMO) relaciona los contenidos de materia orgánica del suelo con los de arcilla más limo. El valor es bajo, si consideramos los trabajos realizados por Quiroga et al., 2019, donde citan valores de 4,5 para mantener nivel de estructura y captura de agua normales a buenos. Mientras que los niveles de N total, fósforo disponible y pH son valores medios a altos, la CE (conductividad eléctrica) en extracto es normal.

Tabla 1. Características edáficas (0-20 cm de profundidad) del suelo donde se realizó el experimento. Materia orgánica del suelo (MOS), limo + arcilla (L+A), índice de materia orgánica del suelo (IMO), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), pH y conductividad eléctrica.

MOS (g kg ⁻¹)	L+A (g kg ⁻¹)	IMO ^(*)	N total (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	pH	CE (dS m ⁻¹)
24,8	927	2,7	1,2	27	6,2	0,08

(*) IMO = (MOS/L+A*100)

2.4.2 Diseño experimental y manejo agronómico

Los experimentos se desarrollaron durante las campañas 2012/2013, 2013/2014 y 2014/2015. En todos los años los experimentos se instalaron en lotes cuyo cultivo antecesor fue soja, posteriormente se sembró triticale como CC. El diseño experimental fue de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos fueron dos métodos de interrupción del CC: triticale secado con rolo (TR) y triticale secado con herbicida (TH). Paralelamente a cada repetición se agregó una parcela denominada barbecho sin CC (B) (Tabla 2). Tanto el rolado como la aplicación del herbicida se realizaron en antesis, (anteras amarillas visibles en 50% de las espigas), 6.5 de la escala fenológica de Zadoks (Zadoks et al., 1974). El tamaño de la parcela principal fue de 40 m x 12 m, y para la subparcela 20 m x 12 m. El cultivar de triticale seleccionado fue INTA Espinillo (ciclo intermedio) y la densidad de siembra del CC fue de 50 kg ha⁻¹ (150 plantas m⁻²), con un distanciamiento entre surcos de 17,5cm. A la siembra se realizó una fertilización nitrogenada con urea, aplicada al voleo (60 kgNha⁻¹).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos, manejo agronómico y precipitaciones del experimento.

Campaña	Tratamientos	Fecha de siembra CC	Fecha de secado CC(*)	Fecha de siembra soja	Precipitaciones acumuladas (mm)		
					20 DAS(+)	SCC-SSj(++)	SSj-SjR8(#)
2012/2013	TH-TR	16/4/2012	11/10/2012	27/12/2012	91,5	815	371,5
	B			27/12/2012		815	371,5
2013/2014	TH-TR	9/5/2013	15/10/2013	19/11/2013	30,5	540,2	471,2
	B			19/11/2013		540,2	471,2
2014/2015	TH-TR	24/6/2014	31/10/2014	6/12/2014	4	284,9	545,8
	B			6/12/2014		284,9	545,8

(+) DAS: Días antes del secado.

(++) SCC-SSj: período desde siembra CC a siembra de cultivo de soja.

(#) SSJ-SjR8: período desde siembra de soja a cosecha de soja.

El rolo utilizado en este experimento es de la marca JLS, con un ancho de labor de 2 m y un diámetro de 0.5m (Figura 2). Posee cuchillas dispuestas en forma recta (sin filo) y un peso lleno con agua de 880 kg.



Figura 2. Rolado de triticale, las flechas indican la dirección de las labores.

El tratamiento barbecho (testigo) se mantuvo libre de malezas durante toda la duración del mismo con la aplicación de herbicidas.

Posterior al rolado de los CC, todas las parcelas incluidas las del tratamiento testigo, se sembraron con soja sin fertilizar. En la campaña 2012/2013 y 2013/2014 la soja utilizada fue la variedad DM 3810 (Don Mario) mientras que la campaña 2014/2015 se sembró soja variedad LDC 4.7 (Louis Dreyfus Company). La densidad de siembra empleada fue de 30 semillas m^{-2} y la distancia entre hileras de 52 cm.

La producción de materia seca ($kg\ MS\ ha^{-1}$) al momento de secado del triticale, se calculó realizando muestreos de biomasa aérea cortando las plantas de un metro lineal, al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas. Las muestras de biomasa se secaron en estufa con ventilación forzada a $60\ ^\circ C$ hasta peso constante. A los 40 días después de la aplicación de los tratamientos de secado se cosecharon tres muestras de biomasa aérea de $0.125\ m^2$ de cada parcela para estimar la eficacia de los métodos de secado mediante el rebrote, expresando los resultados como materia seca en ($kg\ MS\ ha^{-1}$). Las muestras se secaron en estufa con ventilación forzada a $60\ ^\circ C$ hasta peso constante.

La humedad del suelo se determinó gravimétricamente en cuatro momentos: siembra y secado del CC, siembra y cosecha de soja. Las determinaciones se hicieron en los intervalos de profundidad: 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 cm considerando la densidad aparente y las constantes hídricas (PMP y cc) para cada estrato.

El agua útil total (AUT) del suelo se calculó como la sumatoria de AU de todas las profundidades consideradas, determinada de la siguiente forma:

$$AUT(mm) = \sum AU \quad Ec.1$$

$$AU(mm) = Lamact - Lamín \quad Ec.2$$

$$Lamact(mm) = Hv * Prof(m) \quad Ec.3$$

$$Lammín(mm) = Hvpmp * Prof(m) \quad \text{Ec.4}$$

$$Hv(cm3) = Hg(g) * Dap(tn.m3) \quad \text{Ec.5}$$

$$Hg(g) = \frac{(Ph-Ps)}{Ps} \quad \text{Ec.6}$$

Dónde: *Lam act* es la lámina actual (mm); *Lam mín* es la lámina mínima (mm); *Hv* es la humedad volumétrica (cm³); *Hg* es la humedad gravimétrica (g); *Dap* es la densidad aparente del suelo (tn m⁻³); *prof* es la profundidad (m); % *hmp* es el porcentaje de humedad en el punto de marchitez permanente; *Ph* es el peso húmedo de la muestra (g) y *Ps* es el peso seco de la muestra (g).

Se calculó el uso consuntivo (UC) de los CC, mediante la suma del contenido hídrico del suelo (150 cm) al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del CC, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el ciclo de los CC.

El uso consuntivo (UC) del agua consumida por los cultivos se calculó de la siguiente manera:

$$UC = \left(AU \text{ siembra CCI} + \begin{matrix} \text{precipitaciones} \\ \text{durante el ciclo} \end{matrix} \right) - AU \text{ secado CC} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde *UC* es el uso consuntivo del agua consumida por el cultivo (mm) y *AU* es el agua útil a la siembra de los cultivos y al momento de secado (mm).

Se calculó la eficiencia en la utilización del agua (EUA, kg MS mm⁻¹ ha⁻¹) del CC, mediante el cociente entre la materia seca aérea (kg MS ha⁻¹) del CC y el UC (mm) de los respectivos cultivos (López y Arrué, 1997).

A la siembra y en el momento de secado de los CC se determinó el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo por el método de fenildisulfónico (Bremner, 1965) en las profundidades de (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Los resultados se expresan como N-NO₃⁻ en (Kg N ha⁻¹) y se calcularon de la siguiente manera:

$$PCA = Prof(m) * 10000 (m^2) * Dap (tn/m^3) \quad \text{Ec.8}$$

$$NO_3^-(Kg) = \frac{NO_3^-(ppm)*PCA}{1000} \quad \text{Ec.9}$$

$$NNO_3^-(Kg/ha) = \frac{NO_3^-(Kg)*14}{62} \quad \text{Ec.10}$$

Dónde: 14 es número másico del N, 62 es el peso atómico de la molécula de NO₃⁻, PCA es el peso de la capa arable (Kg) y Dap es la densidad aparente (tn m⁻³).

Se cuantificó la producción de granos de soja (kg ha^{-1}) y la biomasa total de malezas a la cosecha del cultivo de la soja (kg ha^{-1}) en cada tratamiento, discriminando por especie.

El programa de aplicaciones de herbicidas en los distintos experimentos se detalla en la (Tabla 3).

Tabla 3. Fecha de aplicación y dosis de los herbicidas utilizados en los diferentes tratamientos.

Campaña	Tratamiento	Fecha de aplicación de herbicidas	Ingrediente activo	Dosis (kg i.a. ha^{-1})
2012/2013	B	12 Abril	G	1,44
		24 Septiembre	G	0,99
		20 Noviembre	G	1,34
	TR	8 Enero	G	1,2
		4 Abril	G	1,44
		22 Enero	G	1,2
	TH	4 Abril	G	1,44
		11 Octubre	G	1,2
		22 Enero	G	1,44
2013/2014	B	7 Abril	G	0,96
		12 Agosto	G	1,12
		20 Septiembre	G	1,34
		11 Noviembre	2,4D+G	0,45+1,34
		19 Diciembre	G	1,49
	TR	7 Abril	G	1,44
		19 Diciembre	G	1,49
	TH	7 Abril	G	0,96
		15 Octubre	G	1,34
19 Diciembre		G	1,49	
2014/2015	B	19 Junio	G	1,12
		25 Octubre	G	1,12
		13 Diciembre	G	1,12
	TR	19 Junio	G	1,12
		19 Junio	G	0,96
	TH	31 Octubre	G	1,34

G (glifosato); 2,4D (Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético)

Para el cálculo del EIQ se utilizó el método propuesto por Kovach et al. (1992), los valores de EIQ de cada herbicida fueron tomados del siguiente sitio: http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/files/EIQ_values_2012herb.pdf posteriormente a partir de las dosis, número de aplicaciones y el ingrediente activo se calculó el EIQ de campo como se muestra a continuación:

$$EIQ \text{ de campo} = EIQ * \% \text{ ingrediente activo} * Dosis * N^{\circ} \text{ de aplicaciones} \text{ Ec. 11}$$

Para el análisis estadístico de AU se utilizaron modelos lineales mixtos teniendo en cuenta a los tratamientos TR, TH y B por campaña, mientras que para rendimiento de

soja y malezas, además se realizaron análisis conjuntos. Para las variables MS, UC y EUA se utilizaron modelos lineales mixtos teniendo en cuenta a las campañas. Para los nitratos se utilizaron modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta al triticale y al B por campaña.

En todos los casos donde existieron efectos significativos se compararon las medias con el test LSD de Fisher ($p < 0.05$) del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

No se realizó análisis de varianzas para la variable EIQ (no se estima el desvío estándar).

2.5 RESULTADOS

2.5.1 Agua útil en el suelo

En las tres campañas analizadas el AU de las profundidades 60–100 y 100–150 cm estuvieron influenciadas por la napa freática, con lo cual no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos en ningún momento de muestreo (datos no mostrados). En la (Tabla 4) se muestra el AU de 0–60 cm como la suma de los contenidos hídricos de 0–20, 20–40 y 40–60 cm, profundidades en las cuales los CC tuvieron mayor influencia. En todos los momentos de muestreo y en las tres campañas el tratamiento B se diferenció significativamente ($p < 0,05$) de los CC. El método de interrupción de los CC no mostró influencia significativa ($p > 0,05$) en el AU, esto es importante ya que el rebrote que se produjo en TR las dos primeras campañas no disminuyó el AU al momento de la siembra de soja.

En la primer campaña al momento de secado el AU fue significativamente mayor en los CC respecto a B, esto puede estar asociado a las lluvias acumuladas (91 mm) que recargaron los perfiles, marcando esto el efecto de la práctica sobre la humedad (CC>B) del suelo en los primeros 60 cm de profundidad (Tabla 2). En las dos campañas siguientes el AU fue significativamente menor en los CC respecto de B, sin embargo, se observa que al momento de la siembra de soja los CC tienen valores significativamente mayores de AU respecto de B en todas las campañas. Por lo tanto, reducir la duración del barbecho en un 77.8% promedio de las tres campañas, significó aumentar el AU a la siembra del cultivo de soja. Aún al momento de la cosecha de soja se registraron contenidos de AU mayores sobre los tratamientos con CC respecto de B. Esto implica una ventaja adicional del uso de los CC ya que permitiría encadenar la rotación con otro cultivo de siembra temprana (mediados de abril), con excelente disponibilidad hídrica bajo condiciones de estudio y ambientes similares a los de este experimento.

Tabla 4. Contenidos de agua útil en el suelo (0 a 60 cm de profundidad), en los diferentes tratamientos para inicio del experimento (I), secado del CC (SeCC), siembra de soja (SSj) y cosecha de soja (SjR8). Para cada momento de muestreo dentro de una campaña letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Momento	Tratamiento	2012/2013	2013/2014	2014/2015
			Mm	
I		75,9	84,2	80,7
SeCC	B	84,6 B	38 A	76 A
	TH	96,4 AB	31 B	60 B
	TR	97,8 A	31 B	52 B
SSj	B	65 B	89,1 B	80 B
	TH	79 A	108,5 A	101 A
	TR	79,1 A	109,3 A	99,2 A
SjR8	B	90,8 B	68,6 B	69,8 B
	TH	110,2 A	89,5 A	82,9 A
	TR	110,8 A	88,8 A	80 AB

2.5.2 Producción de materia seca, uso consuntivo y eficiencia del uso del agua del cultivo de cobertura

Se observó un efecto significativo del año en la producción de MS ($p < 0,05$) (Tabla 5). En las campañas 2012/2013 y 2014/2015 la producción de MS se redujo en un 26% y 48%, respectivamente comparado con la campaña 2013/2014. Esto pudo deberse en la primera campaña por las heladas tempranas y en la segunda por fechas de siembra tardía.

En cuanto al rebrote de triticale se observó un efecto significativo del año ($p < 0,05$) en el tratamiento TR. En tanto que no existió cuando el ciclo se interrumpió utilizando herbicidas. El mismo efecto se produjo al atrasar la fecha de siembra del CC, probablemente la ausencia de rebrote en TR en la última campaña este asociado a las altas temperaturas de noviembre que facilitaron el secado del CC.

El UC presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre campañas evaluadas, observándose un aumento del mismo a medida que se prolongó el periodo de crecimiento del triticale (Tabla 5).

En cuanto a la EUA se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre campañas, con una EUA promedio de $56,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, observándose un aumento de la EUA a media que disminuyó la cantidad de precipitaciones en el ciclo del CC (Tabla 5).

Tabla 5. Precipitaciones en el ciclo del cultivo de cobertura (Pp CC), producción de materia seca (MS) de triticale al momento de secado, rebrote de triticale seis semanas posteriores al secado (6SPS) en los tratamientos secado con rolo (TR) y secado con herbicida (TH), uso consuntivo del agua (UC) y eficiencia del uso del agua (EUA) para las tres campañas evaluadas. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre campañas.

Campaña	Pp CC	MS				
		Secado	6SPS		UC	EUA
		Triticale	TR	TH		
mm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Mm	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	
2012/2013	394,4	11398 B	726,2 A	0	307,97 A	37,06 B
2013/2014	78	15476,6 A	743,7 A	0	222,63 B	70,14 A
2014/2015	108	8041,1 C	0 B	0	131,72 C	61,57A

2.5.3 Captura de nitrógeno edáfico

En la Tabla 6 se observan los contenidos de N-NO₃⁻ en el perfil del suelo en barbecho y en triticale al momento de secado para las tres campañas evaluadas. Existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en todas las profundidades analizadas en las campañas 2012/2013 y 2014/2015, siendo menores los contenidos de N-NO₃⁻ en triticale con respecto al barbecho. Mientras que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en la campaña 2013/2014, mostrando el triticale valores más bajos respecto del barbecho.

Promediando las tres campañas el triticale redujo en un 65, 77 y 67% los contenidos de N-NO₃⁻ en los perfiles (0–20, 20–40 y 40–60 cm) respecto del barbecho. Mientras que para la profundidad (0–60 cm) esta reducción en el tratamiento con triticale fue de un 70% respecto del barbecho.

Tabla 6. Contenidos de nitrógeno de nitratos en el suelo (profundidad 0–20, 20–40, 40–60 y 0–60 cm), en barbecho y triticale al momento de secado de los CC para las tres campañas evaluadas. Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada profundidad de muestreo.

Profundidad (cm)	N NO ₃ ⁻ kg ha ⁻¹					
	2012/2013		2013/2014		2014/2015	
	Barbecho	Triticale	Barbecho	Triticale	Barbecho	Triticale
0 - 20	25 A	7 B	13 A	6 A	51 A	14 B
20 - 40	26 A	3 B	10 A	4 A	27 A	4 B
40 - 60	21 A	3 B	8 A	5 A	16 A	3 B
0 - 60	72 A	13 B	31 A	15 A	94 A	21 B

2.5.4 Rendimiento de soja

Durante las campañas analizadas los rendimientos de soja variaron entre 3000 y 4281 kg ha⁻¹ (Figura 3).

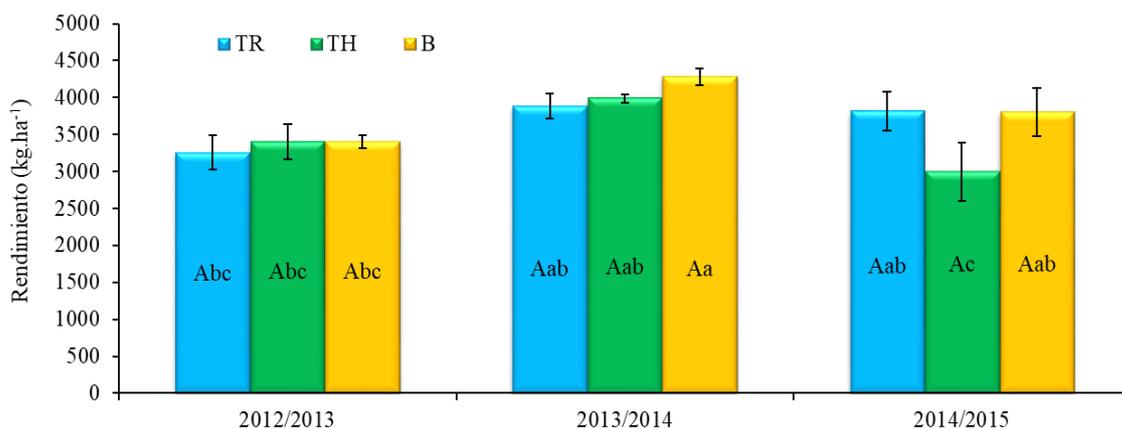


Figura 3. Rendimiento del cultivo de soja (kg ha^{-1}) para los tratamientos triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH) y barbecho (B) en las tres campañas evaluadas. Las barras indican el error estándar. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas según test LSD ($p < 0,05$) para el análisis por campaña y minúsculas para el conjunto.

En el análisis por campaña no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos, mientras que sí las hubo en el análisis conjunto ($p < 0,05$). Promediando las tres campañas, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) por introducir un CC, ni por el método de interrupción con respecto al barbecho.

2.5.5 Composición y biomasa de malezas a la cosecha del cultivo de la soja

En los tres años de estudio, en los tratamientos con CC se observó una importante supresión de malezas a la cosecha del cultivo de soja respecto del tratamiento B. (Figura 4). La biomasa total de malezas (BTM) en ese momento varió entre 0,4 y 116,9 g MS m^{-2} (Figura 5). Tanto en el análisis individual por campaña como en el conjunto, los CC presentaron valores significativamente menores de BTM respecto al tratamiento B ($p < 0,05$). El método de interrupción no tuvo incidencia significativa en el análisis por campaña individual ni en conjunto ($p > 0,05$). En el promedio de las tres campañas, la BTM en CC fue de 9,4 g MS m^{-2} , mientras que en B fue de 70,4 g MS m^{-2} . Esto representa una reducción del 86% asociada con la presencia del CC.

En la campaña 2012/2013 comparando los CC respecto al tratamiento B se registraron reducciones en la biomasa de “ortiga mansa” (*Lamium amplexicaule* L.) y “peludilla” *Gamochaeta spicata* (Lam.) del 77% y 100%, respectivamente. En la campaña 2013/2014 las reducciones en “ortiga mansa”, “cebadilla criolla” *Bromus unioloides* (Kunth) y “perejilillo” *Bowlesia incana* (Ruiz y Pav) fueron del 72%, 82% y 93%, respectivamente.



Figura 4. Postcosecha de soja, campaña 2013/2014. (a) Tratamiento B con abundante presencia de perejilillo y ortiga mansa. (b) Tratamiento TR con escasa presencia de malezas.

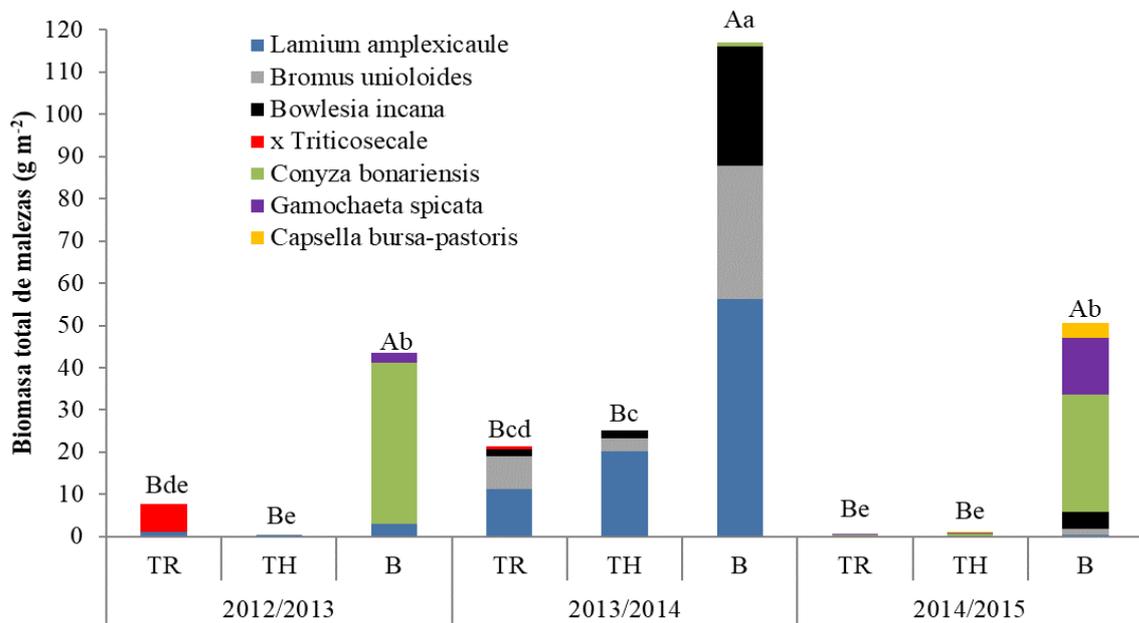


Figura 5. Biomasa total de malezas (g m^{-2}) a la cosecha de la soja en triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH) y barbecho (B). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas para el análisis por campaña y letras minúsculas distintas para el análisis conjunto de las tres campañas según test LSD ($p < 0,05$).

En la última campaña la disminución fue del 98% y 99% en “peludilla” y *Capsella bursa-pastoris* (L.), respectivamente. Es importante resaltar la ausencia de “rama negra” (*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist) en los CC en las campañas 2012/2013 y 2014/2015 promediando reducciones en su presencia del 97% respecto de B. Cabe destacar que esta maleza ha ocasionado grandes problemas en las últimas campañas, debido a su baja susceptibilidad a los tratamientos con glifosato cuando los mismos se realizan en estados

fenológicos avanzados (Rainero, 2008). La presencia de triticale en el tratamiento TR, evidencia que el rolado no fue completamente eficiente en el secado, sin embargo, los niveles de producción de MS son muy bajos con valores de 6,6; 0,8 y 0,04 g MS m⁻² para las tres campañas estudiadas.

2.5.6 Evaluación de impacto ambiental

Los valores de EIQ presentaron la misma tendencia en las tres campañas: TR<TH<B (Figura 6). En el promedio de las tres campañas el EIQ en TR se redujo 55,9% respecto a B mientras que en TH la reducción fue de 32,9%, respectivamente. Es importante destacar que el EIQ se redujo significativamente utilizando CC sin reducir los rendimientos de la soja. A su vez TR mantuvo valores medios (<45) de EIQ en las dos primeras campañas mientras que en la última fue bajo (<20).

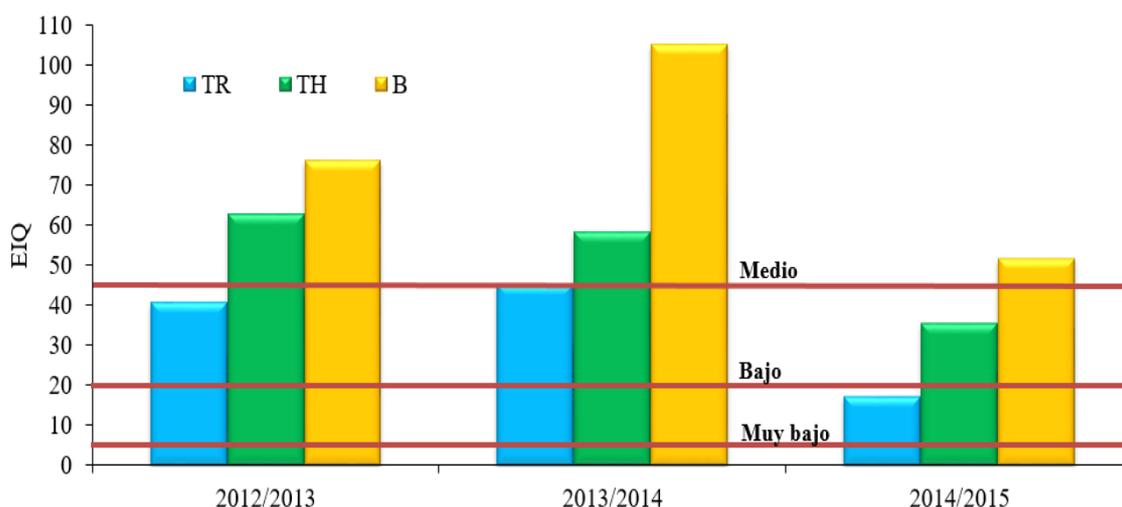


Figura 6. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de campo para los herbicidas utilizados en cada campaña en los diferentes tratamientos. Las líneas rojas indican los diferentes niveles propuestos por Stewart et al. (2011).

2.6 DISCUSIÓN

2.6.1 Agua útil en el suelo

Los resultados observados en estos experimentos coinciden con los obtenidos por Carfagno et al. (2013) y Clark et al. (2007), quienes atribuyen los mayores valores de AU a la siembra y cosecha de los cultivos estivales en los tratamientos con CC, a una reducción en las pérdidas directas por evaporación como también a mejoras en la porosidad y consecuente captación del agua de lluvia (Álvarez et al., 2014).

2.6.2 Producción de materia seca, uso consuntivo y eficiencia del uso del agua del cultivo de cobertura

En el promedio de las tres campañas, el triticale produjo 11368 kg MS ha⁻¹. Este valor es coincidente con los resultados de Bertolla et al. (2012) y Cagliero (2011) quienes reportaron producciones de biomasa de triticale en antesis superiores a los 10000 kg ha⁻¹ en experimentos que se realizaron sobre un suelo Argiudol Típico del INTA Marcos Juárez. A su vez, en otro experimento desarrollado en el INTA Manfredi sobre un suelo Haplustol éntico donde se finalizó el de triticale en inicio de encañazón las producciones de MS fueron entre 4000 – 440 kg ha⁻¹ (Basanta et al., 2012).

Por otro lado, en investigaciones previas realizadas utilizando centeno como CC, no se encontraron diferencias significativas en el rebrote atrasando la fecha de siembra (Mirsky et al., 2009). Posiblemente el rebrote este condicionado por múltiples factores (cultivar, especie, manejo y condiciones climáticas).

En cuanto al UC, Rampo et al. (2018) encontraron en triticale sembrado sobre un suelo Hapludol Típico de la localidad de General Villegas, UC por encima de los 300 mm y una EUA aproximadamente de 36 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, mientras que Scianca et al. (2006) obtuvieron valores de EUA 23 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ en experimentos sobre el mismo ambiente y CC. Huang et al. (2003), afirman que un mismo cultivo puede tener diferentes EUA, dependiendo de la rotación en la que esté, y esto puede ser atribuido a las diferencias entre años de las precipitaciones y del almacenaje del agua del suelo.

2.6.3 Captura de nitrógeno edáfico

Quiroga et al. (1999) trabajando sobre Haplustoles énticos reportaron disminuciones en la concentración de NO₃⁻ en el rango entre 70 y 83% utilizando avena y centeno como CC respecto de un barbecho. Por su parte, Meisinger et al. (1991) reportaron que los CC redujeron los NO₃⁻ potencialmente lixiviables entre 20 y 80% en comparación con el testigo sin CC. A su vez Tonitto et al. (2006) reportaron disminuciones de 40 a 70% al incorporar CC al sistema comparado con una situación de barbecho, absorbiendo los CC no leguminosas de 20 a 60 kg N ha⁻¹.

La disminución del contenido de N-NO₃⁻ en el perfil se debió a la acumulación de N en biomasa, evitando así la probabilidad de que lluvias intensas lixivien los NO₃⁻ por debajo de la zona de absorción de las raíces (Rimski-Korsakov et al., 2004; Weinert et al., 2002; Dean y Weil, 2009), dejándolo en la superficie del suelo en forma orgánica para que en el mediano plazo pueda ser utilizado por los cultivos siguientes de la rotación (Utomo et al., 1990).

2.6.4 Rendimiento de soja

A pesar de la elevada producción de MS de los CC, el rendimiento del cultivo de soja no fue afectado negativamente, coincidiendo con lo reportado por Ruffo et al. (2004) y Capurro et al. (2010). Bajo las condiciones climáticas en que se desarrollaron estos experimentos, el secado tardío de los CC no redujo significativamente el rendimiento del cultivo con respecto al tratamiento de barbecho. Sin embargo, en un estudio de ocho campañas de evaluación en General Villegas, Lardone et al. (2012) observaron que CC de triticale secados en agosto y septiembre permitieron rendimientos de soja mayores o iguales respecto a un testigo sin CC, mientras que aquellos secados tardíamente (fines de octubre) afectaron negativamente los rendimientos de soja en el 12% de los años analizados.

2.6.5 Composición y biomasa de malezas a la cosecha del cultivo de la soja

Los residuos de los CC tuvieron persistencia durante todo el ciclo del cultivo de soja, esto implicó una menor presencia de malezas a la cosecha de la misma. Schramski et al. (2020) con producciones de materia seca de los CC que no superaron los 2000 kg ha⁻¹ encontró que los residuos de los CC no persistieron lo suficiente como para proporcionar la supresión de malezas durante la temporada de crecimiento de la soja. Mientras que Pittmann et al. (2019) encontraron que los CC redujeron la biomasa de malezas en un 66 % en el momento de la cosecha de soja en un estudio en el que la biomasa de los CC mínima fue de 3.000 kg ha⁻¹. De acuerdo a estos resultados los CC podrían constituirse en una herramienta importante para reducir las dosis y el número de aplicaciones, como así también la población de malezas presentes al momento de cosecha de la soja. Esto permitiría encadenar a la rotación otro cultivo de siembra temprana, sin la necesidad de realizar una aplicación de herbicida previo a la siembra.

2.6.6 Evaluación de impacto ambiental

Principiano y Acciaresi (2017) en un estudio que comprendió la evaluación de treientos lotes en la localidad de Pergamino observaron que la secuencia que incluye CC con finalización del ciclo de manera mecánica (rolado) es la que registró el menor valor de EIQ de todas las alternativas estudiadas. Encontrando un rango de valores de EIQ de 80,6 – 56,4 en rotaciones con CC, mientras que para rotaciones sin CC soja o maíz los valores de EIQ fueron de 109,1 – 127,1. Por otro lado Marzetti et al. (2017) encontraron en la zona núcleo productiva de la Pampa húmeda valores en el cultivo de soja de EIQ de 100 – 140 en rotaciones sin CC, correspondiendo los valores más altos a lotes con problemas de malezas resistentes, que conllevan aplicaciones de herbicidas adicionales.

2.7 CONCLUSIONES

La inclusión de triticale como CC disminuyó los contenidos de agua útil al momento de secado con respecto al barbecho, sin embargo, optimizó la captación de las precipitaciones primaverales mejorando la oferta hídrica para el cultivo de soja, estos resultados permitirían rechazar la hipótesis prescripta.

Por otro lado, los CC disminuyeron los contenidos de $N-NO_3^-$ potencialmente lixiviable sin afectar los rendimientos del cultivo de soja, esto nos permite aceptar la hipótesis planteada.

La interrupción de los CC en antesis con rolo fue menos eficiente que el uso de herbicidas sobre la materia seca remante, estos resultados nos permiten aceptar la hipótesis planteada.

La interrupción de ciclo del CC tanto en forma mecánica como química no afectó negativamente el rendimiento del cultivo de soja respecto del barbecho, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

Los CC disminuyeron tanto la composición específica de la comunidad de malezas como la biomasa de las especies predominantes, independientemente del método de interrupción de los mismos, de esta manera aceptamos la hipótesis.

La utilización de CC y la interrupción mecánica de los mismos disminuyeron el índice de impacto ambiental (EIQ) respecto a un manejo tradicional sin CC, por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada.

El sistema de CC y su interrupción mecánica mediante rolado, permitieron reducir significativamente las dosis y el número de aplicaciones de herbicidas. La utilización de CC y el rolado de los mismos, es una estrategia importante para elaborar planes de control de malezas, minimizando el impacto sobre el medio ambiente, sin afectar el AU y rendimiento del cultivo de soja.

Este sistema permitiría un uso más sustentable de los recursos naturales y además sería una opción promisoría en áreas con restricciones en la aplicación de herbicidas (agricultura orgánica y zonas periurbanas).

CAPITULO 3

EFFECTOS DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DEL CICLO EN DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA, CAPTURA DE NITRÓGENO EDÁFICO, IMPACTO AMBIENTAL Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA

3.1 INTRODUCCIÓN

Los CC cumplen con diversas funciones, entre ellas, protección física del suelo a la radiación solar, viento y lluvia; control de malezas (Damrosch, 1998; Fernández et al., 2007), mayor aporte de carbono orgánico (Álvarez et al., 2005), captura de nutrientes móviles (nitrógeno y azufre) a través de su biomasa, aumento de la eficiencia del uso de agua, depresión de napas freáticas, control de plagas y enfermedades.

Dentro de los factores de manejo de los CC que condicionan el aporte de materia seca y por ende la persistencia de la cobertura sobre los suelos (Varela et al., 2012) se encuentran la elección de la especie, el momento de secado y la fertilización nitrogenada (Barraco et al., 2012, Baigorria y Cazorla, 2010). Decisiones erróneas de manejo de los CC podrían tener un impacto negativo en la producción de los cultivos de granos que le suceden en la rotación, principalmente a causa del uso de agua de los CC y la escasez de precipitaciones posteriores al momento de secado que permitan la recarga de los perfiles.

En la elección de la especie utilizada como CC se deben considerar cuatro parámetros: la tasa de descomposición de residuos, la recarga de humedad del perfil, la rotación en la que se incluye el CC y la sincronización entre la mineralización de N acumulado en la biomasa de los CC con los requerimientos del siguiente cultivo programado.

La inclusión de una leguminosa entre los cultivos de soja y maíz aporta C, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz. Una gramínea invernal sembrada luego de los cultivos de verano absorbe nitratos residuales (Strock et al., 2004), aporta C (Ding et al., 2006) y compite con las malezas invernales (Fisk et al., 2001).

En ambientes subhúmedos, la disponibilidad de agua del suelo es el principal recurso limitante, por lo que es necesario elegir especies que se adapten a su dinámica hídrica (Tanaka et al., 2002). En estos ambientes, el principal componente de pérdida de agua es la evaporación, estimándose que entre el 50 y el 75% de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie y Hensley, 2000).

La evaporación puede reducirse incorporando CC, que al aumentar la transpiración, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas (Lu et al., 2000). En este sentido, Cayci et al. (2009) afirmaron que la práctica de barbecho tradicional está siendo abandonada debido a su baja eficiencia. Estos autores indicaron que sólo entre el 12-20% de las precipitaciones ocurridas en la época de barbecho son retenidas al momento de la siembra del próximo cultivo.

En función de estos antecedentes se conoce que existe diferencia entre especies en la producción de MS, EUA y el UC, sin embargo, existe poca información en la Argentina sobre la influencia que tiene el método de interrupción del ciclo en diferentes especies utilizadas como CC.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar el contenido de agua útil sobre tres especies de invierno utilizadas como CC (centeno, triticale y vicia) en la secuencia CC/soja.

2. Determinar el efecto de diferentes métodos de interrupción (químico vs rolado) de tres especies invernales en función de la materia seca remanente posterior al tratamiento.

3. Determinar el efecto de los diferentes métodos de interrupción (químico vs rolado) sobre la productividad del cultivo de soja.

4. Determinar el índice de impacto ambiental (EIQ) asociado a los diferentes métodos de interrupción de los CC.

3.3 HIPÓTESIS

1. La incorporación de CC no produce disminuciones en el contenido de agua útil al momento de interrupción de los mismos, independientemente de los tratamientos (químico vs rolado).

2. La interrupción del ciclo de los CC mediante el rolado es menos eficiente ya que la materia seca remanente es mayor respecto del tratamiento con herbicida.

3. La interrupción del ciclo de los CC secado tanto en forma mecánica como química no afecta negativamente el rendimiento del cultivo respecto a un manejo tradicional sin CC.

4. La utilización de CC y el rolado de los mismos son alternativas que disminuyen el impacto ambiental con respecto a un manejo tradicional sin CC.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Sitio experimental

El sitio experimental es el mismo descrito en el capítulo 2.

3.4.2 Diseño experimental y manejo agronómico

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela principal (18 m x 12 m) correspondió a las diferentes especies utilizadas como CC: centeno, triticale y Vicia villosa. Las subparcelas (6 m x 12 m) fueron tres tratamientos, combinando métodos de interrupción de los CC y diferentes estrategias de control químico de malezas en soja. Los tratamientos fueron: secado mediante el rolado (R), secado con herbicida glifosato (H) y secado con herbicida glifosato más un herbicida residual (HM). Paralelamente a cada repetición se agregó una parcela principal, barbecho sin CC (B) con dos programas de manejo de malezas, con glifosato solo (BH) y glifosato con herbicidas residuales (BHM) (Tabla 7).

Tabla 7. Cultivos de cobertura, métodos de interrupción y momento de la aplicación de los herbicidas en los diferentes tratamientos.

Cultivo de cobertura	Método de interrupción	ID	Fecha de aplicación de herbicidas	Ingrediente activo
Centeno	Rolo	CR	19 Junio	G
	Herbicida	CH	19 Junio/17 Octubre	G/G
		CHM	19 Junio/17 Octubre/20 Noviembre	G/G/SM
Triticale	Rolo	TR	19 Junio	G
	Herbicida	TH	19 Junio/31 Octubre	G/G
		THM	19 Junio/31 Octubre/20 Noviembre	G/G/SM
Vicia	Rolo	VR	19 Junio	G
	Herbicida	VH	19 Junio/18 Noviembre	G/G+2,4D
		VHM	19 Junio/18 Noviembre/25 Noviembre	G/G+2,4D/SM
Sin CC (Barbecho)	-	BH	19 Junio/25 Octubre/13 Diciembre	G/G/G
	-	BHM	19 Junio/25 Octubre/30 Enero	G+MM/G+SM/G

ID (Identificación de los tratamientos); G (glifosato 74,7%, a una dosis de 1,5 kg p.f. ha⁻¹), **G** (glifosato 74,7%, a una dosis de 2 kg p.f. ha⁻¹) SM (S-Metolacloro 96%, a una dosis de 1 l p.f. ha⁻¹), 2,4D (Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético 30%, a una dosis de 0,5 l p.f. ha⁻¹), MM (Metsulfuron Metil 60%, a una dosis de 5 gr p.f. ha⁻¹).

Los CC se sembraron sin fertilización el 24 de junio de 2014 sobre un lote en el cual el cultivo antecesor había sido soja. El distanciamiento entre surcos fue de 17,5 cm y la densidad de siembra de centeno y triticale fue de 30 y 50 kg ha⁻¹, respectivamente, mientras que en vicia fue de 15 kg ha⁻¹. Tanto el rolado como la aplicación del herbicida para secar el centeno y el triticale se realizaron en antesis (anteras amarillas visibles en 50% de las espigas, 6.5 en la escala fenológica de Zadoks) (Zadoks et al., 1974). En vicia los tratamientos de secado se aplicaron cuando su estado fenológico llegó al 100% de floración. Las aplicaciones de herbicidas para secar los CC se realizaron con mochila de

presión constante, mientras que el secado mecánico se realizó utilizando el rolo cuyas características se mencionaron en el capítulo anterior. Posterior al secado todas las parcelas, incluidas las del tratamiento testigo, se sembraron con soja (LDC 4.7) sin fertilizar el 6 de diciembre de 2014 en siembra directa, empleando una densidad de 30 semillas m⁻² a una distancia entre hileras de 42 cm. Las fechas de secado de los diferentes CC y las precipitaciones ocurridas se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Manejo agronómico y precipitaciones del experimento.

Antecesor	Fecha de secado CC	Periodo (Días)		Precipitaciones acumuladas (mm)		
		Siembra-Secado CC	Secado CC-Siembra Soja	Siembra-Secado CC	Secado CC-Siembra Soja	Siembra Soja-Cosecha Soja
Centeno	17/10/2014	113	49	108	151	619
Triticale	31/10/2014	127	36	108	151	
Vicia	18/11/2014	144	18	174	81	

La producción de materia seca (kg MS ha⁻¹) al momento de secado para centeno y triticale, se realizó cosechando un metro lineal de biomasa aérea cortando las plantas de un metro lineal, al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas, mientras que en el cultivo de vicia el muestreo se realizó con un marco de 0.125 m². Las muestras de biomasa se secaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante. A los 40 días después de la aplicación de los tratamientos de secado se cosecharon tres muestras de biomasa aérea de 0.125 m² de cada parcela para estimar la eficacia de los métodos de secado mediante el rebrote en las gramíneas o el remanente en la vicia, expresando los resultados como materia seca en (kg MS ha⁻¹). Las muestras se secaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante.

La humedad del suelo se determinó gravimétricamente en los tratamientos CR, CH, TR, TH, VR, VH, y BH en cuatro momentos: a la siembra del CC, al momento del secado, a la siembra y a la cosecha del cultivo de soja. Las determinaciones se hicieron en los intervalos de profundidad: 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 cm considerando la densidad aparente y las constantes hídricas (PMP y cc) para cada estrato. Posteriormente se calculó el contenido de AU de los intervalos de 0-60 y 0-150 cm de profundidad.

El AUT del suelo se calculó como la sumatoria de AU de todas las profundidades consideradas, determinada de la siguiente forma: Ecuación 1 a la 6 del capítulo 2.

Se calculó el uso consuntivo (UC) en el estrato 0-150 cm mediante la ecuación 7 del capítulo 2.

Se calculó la eficiencia en la utilización del agua (EUA, kg MS mm⁻¹ha⁻¹) del CC, mediante el cociente entre la materia seca aérea (kg ha⁻¹) del CC y el UC (mm) de los respectivos cultivos (López y Arrué, 1997).

La eficiencia de barbecho (EB) se calculó mediante la siguiente ecuación (Mathews y Army, 1960).

$$EB = \frac{(A U \text{ final barbecho} - A U \text{ inicio barbecho})}{\text{precipitaciones durante el barbecho}} * 100 \quad \text{Ec. 12}$$

A la siembra y en el momento de secado de los CC se determinó el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo por el método de fenildisulfónico (Bremner, 1965) en las profundidades de (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Los resultados se expresan como N-NO₃⁻ en (Kg ha⁻¹) y se calcularon de la siguiente manera: Ecuaciones 8 a la 10 del capítulo 3.

Se cuantificó la producción de granos de soja (kg ha⁻¹) y la biomasa total de malezas (kg ha⁻¹) a la cosecha del cultivo de la soja en cada tratamiento, discriminando por especie.

Para el cálculo del EIQ se utilizó el método propuesto por Kovach et al. (1992), los valores de EIQ de cada herbicida fueron tomados del siguiente sitio: http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/files/EIQ_values_2012herb.pdf posteriormente a partir de las dosis, número de aplicaciones y el ingrediente activo se calcula el EIQ de campo como se muestra a continuación: Ecuación 11 del capítulo 2.

Para el análisis estadístico se utilizaron modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta el diseño en parcelas divididas para las variables MS, UC, EUA y CoH. Mientras que para el resto de las variables (AU, EB y rendimiento de soja), debido al interés de incluir al barbecho en la comparación y el mismo no poseer los mismos métodos de secado que el resto de los CC, se usan para el análisis como tratamientos a las combinaciones de CC, métodos de secado y al barbecho.

En todos los casos donde existieron efectos significativos se compararon las medias con el test LSD de Fisher (p<0.05) del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

No se realizó análisis de varianzas para la variable EIQ (no se estima el desvío estándar).

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Agua útil en el suelo

Para la variable AU del suelo, los métodos de interrupción no se diferenciaron significativamente (p>0,05). Por ello, en la Figura 7 a y b se muestra el contenido de AU

en el período desde la siembra de los CC hasta la cosecha de la soja, comparado con BH. Esto es importante ya que por ejemplo aún en el tratamiento VR donde a los 40 días posteriores al rolado se verificó la presencia de biomasa verde del cultivo de vicia, esto no generó una diferencia significativa en el contenido de AU al momento de la siembra de la soja. En las determinaciones realizadas al momento de secado, el AU fue significativamente menor ($p < 0,05$) en los tratamientos con CC respecto de BH a 60 cm. Sin embargo, a la siembra de la soja los CC tienen valores significativamente mayores de AU en triticale y vicia respecto de BH.

Desde el momento de secado de los CC hasta la siembra de la soja el incremento promedio del AU en 0–60 cm en BH fue del 7,1% mientras que en los CC fue del 101,5%. Al analizar el AU de la profundidad 0-150 cm esta variable salvo en el tratamiento con el cultivo de vicia al momento de secado donde el contenido de AU fue significativamente menor a BH ($p < 0,05$), siempre se mantuvo en todos los tratamientos por encima del 100% de AU. A su vez el AU siguió aumentando desde el momento de secado de los CC hasta la cosecha de la soja, esto implica una ventaja adicional del uso de los CC ya que permitiría encadenar la rotación con otro cultivo de siembra temprana (mediados de Abril), con excelente disponibilidad hídrica bajo las condiciones de estudio y ambientes similares.

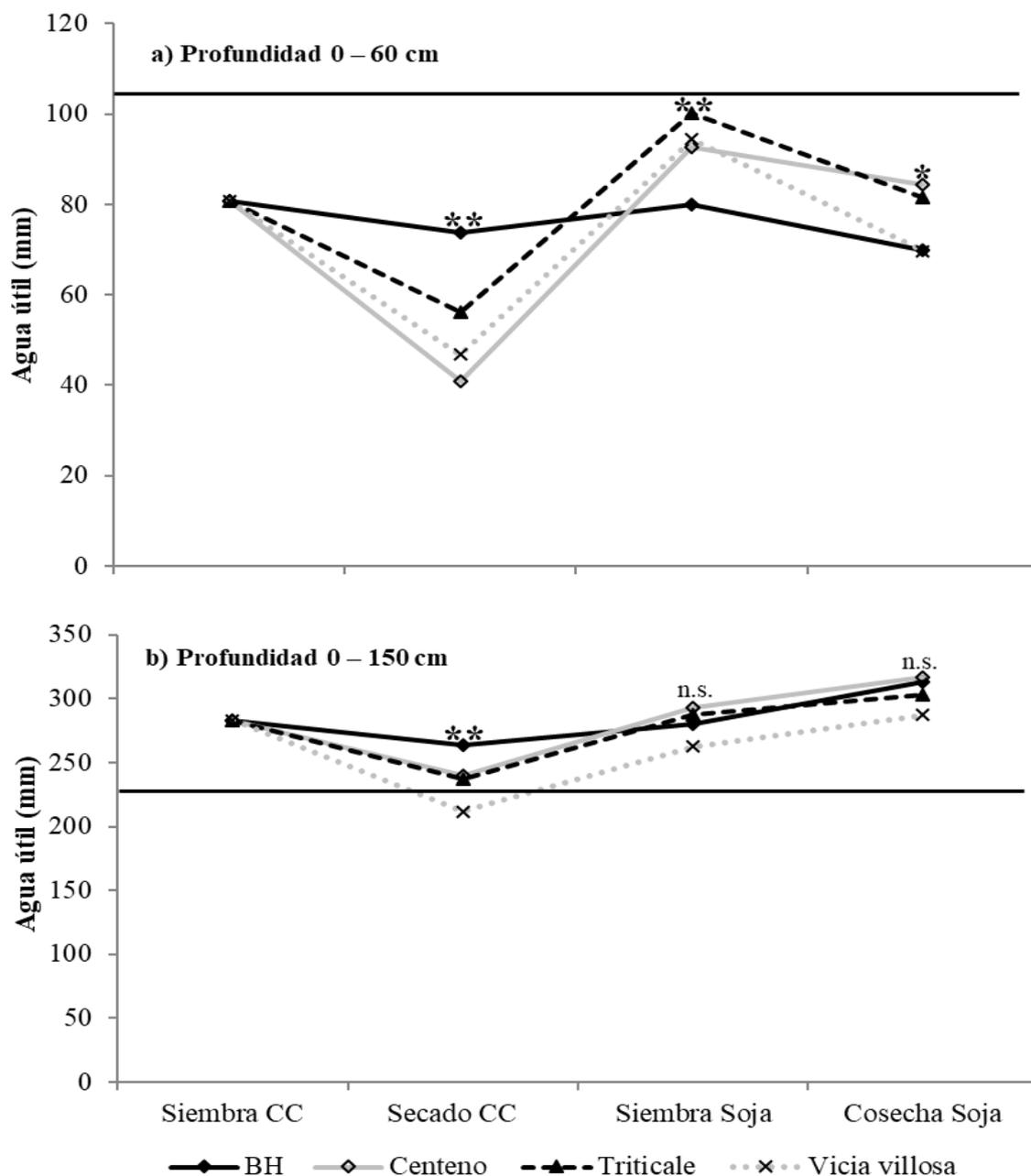


Figura 7. Agua útil acumulada a 60 cm (a) y a 150 cm (b) de profundidad para barbecho con glifosato (BH), centeno, triticale y vicia villosa en los diferentes momentos de muestreo. Línea continua perpendicular al eje “Y” indican lámina de agua útil a capacidad de campo. * y ** representan diferencias significativas del test LSD $P= 0,05$ y $0,01$, respectivamente y n.s indica ausencia de diferencias.

3.5.2 Producción de materia seca, uso consuntivo, eficiencia del uso del agua, costo hídrico y eficiencia de barbecho de los cultivos de cobertura

En cuanto a la producción de materia seca al momento de secado solo se midió en la parcela principal correspondiente a las diferentes especies utilizadas como CC, entre las cuales no se detectaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre especies (Tabla 9).

Tabla 9. Valores medios de producción de materia seca (MS), uso consuntivo de agua (UC) eficiencia de uso agua (EUA) y costo hídrico (CoH) de centeno, triticale y vicia villosa.

Antecesor	MS	UC	EUA	CoH
	Kg MS ha ⁻¹	Mm	kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹	mm
Centeno	8423,8 A	129,42 B	65,43 A	18,8 B
Triticale	8041,1 A	131,72 B	61,57 A	24,4 B
Vicia	9024,9 A	245,21 A	37,1 B	49,9 A

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies.

Al analizar la biomasa vegetal viva remanente 40 días luego de la aplicación de los métodos de interrupción de los CC no se observaron rebrotes en los cultivos de gramíneas mientras que en vicia se registraron 2814 kg ha⁻¹ de materia seca solo en el tratamiento rolado.

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en el UC entre métodos de interrupción ($p > 0,05$). Sin embargo, el UC del cultivo de vicia mostró un incremento significativo ($p < 0,05$) del 87,7% respecto al de las gramíneas las cuales tuvieron un UC promedio de 130 mm (Tabla 9).

La eficiencia en el uso de agua (EUA) fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en las gramíneas respecto de la vicia, con un promedio de 63 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para las gramíneas, un 71,1% mayor que el valor registrado en vicia (Tabla 9).

Para las tres especies de CC, los métodos de interrupción no se diferenciaron ($p > 0,05$) en la eficiencia de barbecho, mientras si se observaron diferencias significativas entre antecesores ($p < 0,05$) (Figura 8). La tendencia de los datos muestra que a medida que se alarga el periodo (Tabla 5), la eficiencia de barbecho disminuyó, aunque los diferentes períodos de barbecho correspondieron a distintos cultivos. De esta manera los valores de EB fueron del 1,14% para BH, 34,4% para gramíneas y el 73,9% para vicia.

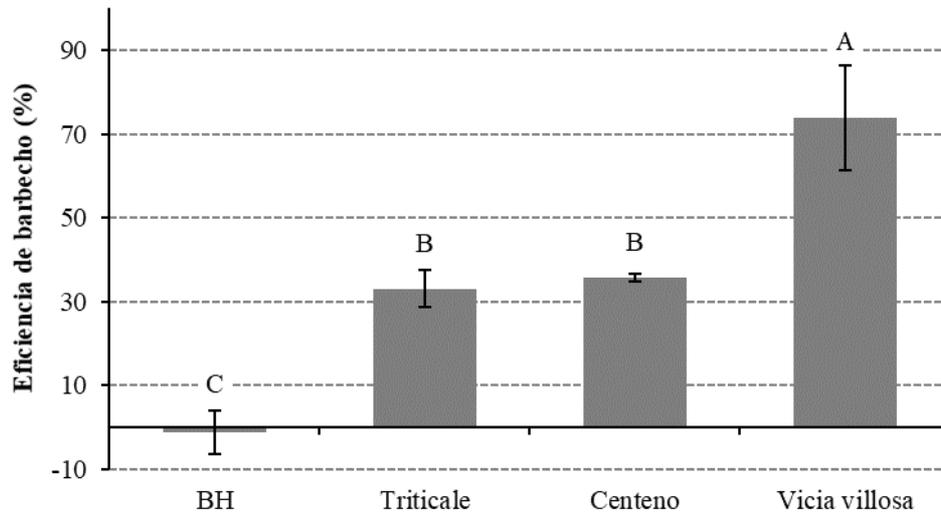


Figura 8. Eficiencia de barbecho (EB) de barbecho con glifosato (BH), triticale, centeno y Vicia villosa. Líneas verticales indican el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

3.5.3 Rendimiento de soja

Al analizar el rendimiento del cultivo de soja, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) por utilizar diferentes especies como antecesores (Figura 9).

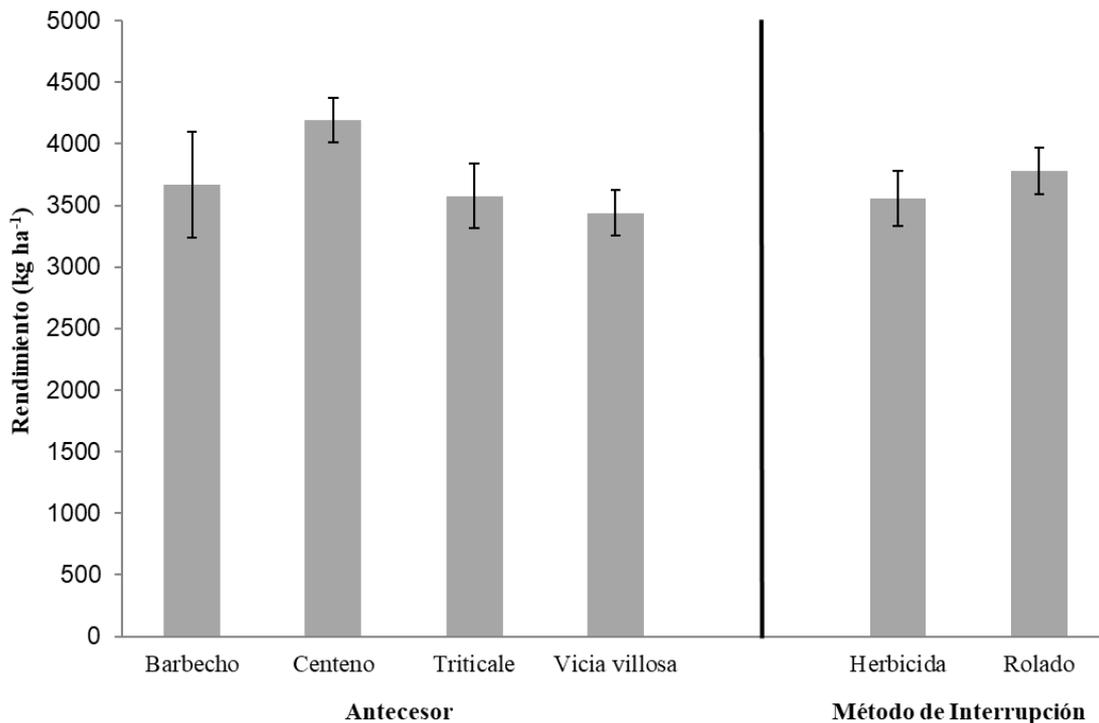


Figura 9. Efecto del antecesor y el método de interrupción en el rendimiento de soja. Líneas verticales indican el error estándar.

Tampoco se observaron diferencias entre los CC y los tratamientos BH y BHM. Si se considera que el período crítico para la determinación del rendimiento del cultivo de soja (final de la floración y llenado de granos) ocurrió a partir de febrero, resulta

interesante ver como en los CC, una mejora en los contenidos de AU en el suelo a la implantación de soja no se tradujo en una mejora en el rendimiento respecto del tratamiento BH. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los métodos de interrupción (Figura 10).

3.5.4 Evaluación de impacto ambiental

Al analizar el impacto ambiental de las distintas alternativas de manejo, los valores de EIQ de campo variaron entre 78,3 y 17,1 (Figura 10). En los tratamientos donde los CC se secaron en forma mecánica (rolo) se obtuvieron los valores más bajos con disminuciones aproximadas del 51,1% respecto de los tratamientos secados con herbicidas mientras que fueron del 70% y 78,1% respecto de BH y BHM.

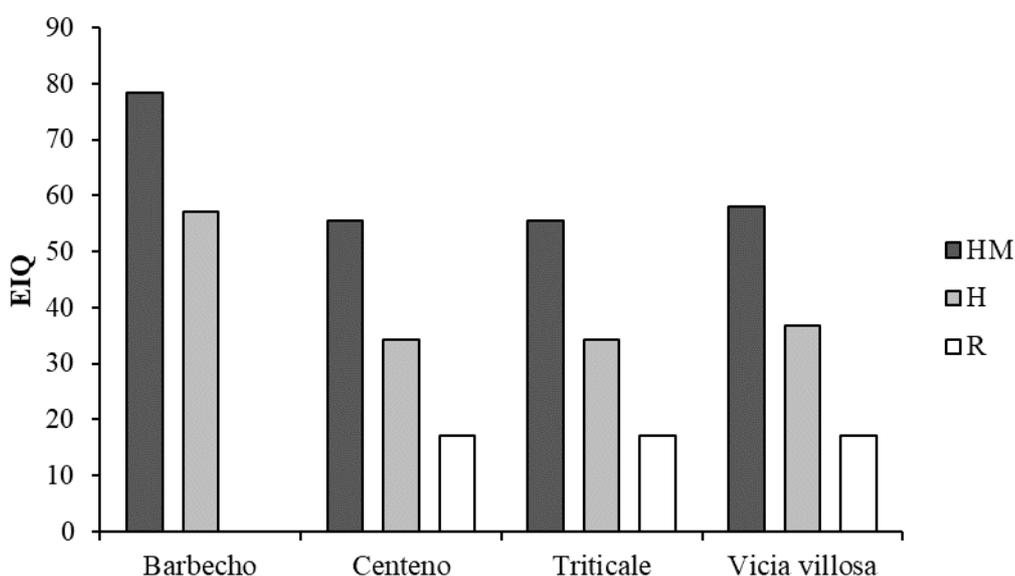


Figura 10. Coeficiente de impacto ambiental (EIQ de campo) en barbecho, centeno, triticale y Vicia villosa en HM: con herbicidas residuales, H: secado con herbicida y R: secado mediante el rolado.

3.6 DISCUSIÓN

3.6.1 Agua útil en el suelo

Las precipitaciones primaverales logran recargar el perfil en los CC en mayor proporción que en BH mejorando así la oferta hídrica a la siembra de la soja lo que coincide con los resultados obtenidos por Fernández et al. (2012).

Por su parte, Miranda et al. (2012) sobre un Hapludol típico, reportaron que la recarga del perfil fue mayor en los primeros estratos, siendo de mayor magnitud en los tratamientos con CC respecto al barbecho. Sin embargo, Baigorria y Cazorla (2010) encontraron que los CC afectan la disponibilidad de AU a la siembra en un Argiudol típico y Fernández et al. (2007) sobre un Hapludol típico de la Región Semiárida

Pampeana. La explicación de estos resultados contradictorios puede deberse a diferencias en las precipitaciones ocurridas en el periodo de secado de los CC y siembra del cultivo estival. Por lo tanto, es de fundamental importancia permitir la recarga del perfil para no afectar los contenidos de AU al momento de la siembra del cultivo estival.

Considerando que la duración del barbecho en BH fue de 167 días, la inclusión de CC redujo el período de barbecho un 79% y mejoró la oferta hídrica tanto al momento de la siembra como a la cosecha de la soja. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Carfagno et al. (2013) y Fernández et al. (2012).

En los tratamientos con CC, la mejora en la oferta hídrica a partir de la siembra de la soja hasta la cosecha, puede estar explicada por un incremento de la tasa de infiltración del suelo (Folorunso et al., 1992), a su vez los residuos en la superficie disminuyen la temperatura del mismo (Fernández et al., 2006; Fernández et al., 2008.) minimizando de esta manera las pérdidas por evaporación (Clark et al., 2007).

3.6.2 Producción de materia seca, uso consuntivo, eficiencia del uso del agua, costo hídrico y eficiencia de barbecho del cultivo de cobertura

En este estudio los valores de materia seca son mayores que los obtenidos por Fernández et al. (2012) sobre Haplustoles énticos en la región semiárida, con producciones de materia seca de centeno sin fertilizar de 4548 a 7666 kg MS ha⁻¹ y periodos de crecimiento de 125 y 160 días, respectivamente. Por su parte, Álvarez y Scianca (2006) en trabajos realizados con triticale sobre Hapludoles típicos en General Villegas obtuvieron como promedio de 3 campañas, entre 3181 y 4921 kg MS ha⁻¹ de biomasa, secando el cultivo de cobertura en macollaje y fines de encañazón, respectivamente. En experimentos donde se utilizó vicia se midieron producciones de materia seca de 3000 a 8000 kg MS ha⁻¹ (Capurro et al., 2012; Vanzolini et al., 2012; Baigorria et al., 2011). En el presente estudio, a pesar de que los CC fueron sembrados en forma tardía (junio) los niveles de producción de materia seca superaron en todos los casos los 8000 kg MS ha⁻¹.

En cuanto a la eficiencia de control de los diferentes métodos de interrupción, algunos investigadores reportan mejores controles cuando el secado de la vicia mediante el uso de rolo se realizó en estadios más avanzados de madurez (comienzo de formación de vainas) (Mischler et al., 2010; Ashford y Reeves, 2003; Creamer y Dabney, 2002).

Scianca (2010) trabajando con centeno en la región semiárida pampeana, encontró valores más bajos de UC, mientras que, en la misma zona y el mismo cultivo, Fernández et al. (2007) obtuvieron un valor mayor. Bertolla et al. (2012) y Baigorria y Cazorla

(2010) en experiencias sobre en Argiudoles típicos de Marcos Juárez obtuvieron valores de UC en triticale entre 92 a 305 mm, en centeno de 41 a 249 mm y en *Vicia villosa* de 248 a 253 mm. De esta información se desprende la importancia que tiene el AU a la siembra de los CC y las precipitaciones que ocurren hasta el secado de los mismos, ya que constituye la oferta hídrica para cubrir el UC de los mismos, sin comprometer la disponibilidad de agua al cultivo siguiente.

Al evaluar la EUA, en trabajos realizados en Marcos Juárez sobre Argiudoles típicos en CC sin fertilizar, se obtuvieron valores menores de EUA en triticale y centeno mientras que en *Vicia* se encontraron valores similares (Bertolla et al., 2012; Baigorria y Cazorla, 2010). El periodo de crecimiento en *vicia* (144 días) fue 31 y 17 días más prolongado que en centeno y triticale, respectivamente (Tabla 5). Esto puede asociarse con un incremento significativo ($p < 0,05$) del 56,7% en el costo hídrico respecto del promedio de las gramíneas. Del total de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de las gramíneas, el 71,8% ocurrió veinticinco días antes del secado (Octubre). Esto permitió la recarga de los perfiles resultando en costos hídricos menores a 30 mm lo cual coincide con resultados de Bertolla et al. (2012) quien reporta costos hídricos cercanos a los 40 mm en centeno, triticale y *vicia*.

Lampurlanes et al. (2002) señalan que la conservación del agua durante el barbecho resulta principalmente dependiente del tipo de suelo, sistema de labranza, probabilidad de precipitaciones y capacidad del suelo para almacenar agua, etc. Considerando que el peso relativo de cada factor varía entre sitios, es frecuente observar resultados contrastantes entre experiencias, los cuales dan lugar a controversias sobre el valor del barbecho para la conservación del agua en regiones semiáridas. Estudios previos en la región semiárida pampeana mostraron que las eficiencias de barbecho variaron de acuerdo con el nivel de cobertura del suelo entre 17 a 41%, con mayores valores en suelos con alto nivel de cobertura de residuos (Fernández et al., 2008). La baja eficiencia en la conservación de la humedad ha sido demostrada también por Miranda et al. (2012), este autor atribuyó la mejora en EB con cultivos de cobertura a una mayor infiltración y la capa límite generada por la altura y biomasa de las coberturas.

Esto marca el rol que juegan las coberturas en la eficiencia de uso de agua global del sistema de producción, evitando pérdidas de agua en exceso y disminuyendo el riesgo por erosión tanto hídrica como eólica.

3.6.3 Rendimiento de soja

Teniendo en cuenta que la utilización de CC desplaza la fecha de siembra de soja a épocas más tardías, no hay diferencias en rendimiento entre sojas de primera o de segunda, por más que se recomienda realizar siembras tempranas. La ocurrencia del período crítico de soja generalmente ocurre en febrero para sojas sembradas en segunda época de siembra. De esta forma, es poco probable que las diferencias en el contenido de AU al secado de los CC provoquen una disminución en el rendimiento de soja (Coll et al., 2011). Peltzer (1999) reporta que una diferencia de 52 mm de AU a la siembra de soja en situaciones con y sin barbecho, se redujeron a 1 mm en R4, con iguales rendimientos entre tratamientos.

Davis (2010) encontró que el método de interrupción no afectó el rendimiento de la soja utilizando centeno como CC, sin embargo, en vicia fue un 25% menor en el tratamiento rolado que en el secado con herbicida. Estos resultados fueron atribuidos a que el rolado no fue eficiente en el secado de la vicia. En el presente experimento, si bien los valores de biomasa viva remanente (2813,6 kg ha⁻¹) fueron similares a los reportados por dichos autores, no se registró una disminución en el rendimiento del cultivo de soja. Esta biomasa viva remanente no afectó la oferta hídrica a la siembra del cultivo estival por lo tanto no interfirió en el posterior desarrollo del mismo.

3.6.4 Evaluación de impacto ambiental

En Argentina en el año 2015 los valores de EIQ de campo promedio para soja tolerante a glifosato y soja convencional fueron de 55,4 y 55,8, respectivamente (Brookes y Barfoot, 2017). Estos valores son similares al registrado en el tratamiento BH y pone de manifiesto la importancia de la utilización del rolo para el secado de los CC como una forma de reducir los valores de EIQ de campo. En los tratamientos CC (HM) la disminución del EIQ de campo fue aproximadamente del 1,7% y del 28,1% respecto de BH y BHM, no obstante, el secado con herbicida de los CC más la utilización de S-Metolaclo como herbicida residual produce un incremento mayor al 220% del EIQ de campo respecto de los tratamientos rolados.

Stewart et al. (2011) utilizando el EIQ, clasifican el nivel de riesgo ambiental como muy bajo, bajo y medio a los valores de <5, <20, y <45, respectivamente. Por lo tanto, en el experimento, los tratamientos rolados mantuvieron valores de EIQ de campo bajos (<20), en los tratamientos CC (H) los valores fueron medios (<45) mientras que en los CC (HM), BH y BHM los valores fueron superiores a 45. Probablemente el potencial de los CC para reducir el número y las dosis de herbicidas este dado por la producción de

materia seca y la utilización de especies susceptibles al rolado como alternativa para el secado de los mismos. La utilización de CC y el rolado de los mismos, es una estrategia importante para elaborar planes de control de malezas, minimizando de esta manera el impacto ambiental sin afectar el rendimiento del cultivo de soja.

3.7 CONCLUSIONES

La inclusión de CC disminuyó los contenidos de agua útil del suelo al momento de secado respecto del barbecho, sin embargo, optimizó la captación de precipitaciones primaverales, de esta manera mejoró la oferta hídrica de los primeros 60 cm de suelo para el cultivo de soja, por lo tanto, rechazamos la hipótesis planteada.

La interrupción del ciclo de los CC mediante el rolado fue menos eficiente en vicia ya que la materia seca remante fue mayor respecto del tratamiento con herbicida, mientras que en centeno y triticale ambos métodos de interrupción tuvieron la misma eficiencia, con lo cual la hipótesis planteada se acepta parcialmente.

La utilización de CC y el rolado de los mismos, permiten reducir el número de aplicaciones de herbicidas y el por lo tanto el impacto sobre el medio ambiente, sin afectar el rendimiento del cultivo de soja, de esta manera aceptamos las hipótesis planteadas.

CAPITULO 4

EFFECTO DE MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN EN DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA Y ESTRATEGIAS DE CONTROL QUÍMICO EN EL CULTIVO DE SOJA SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MALEZAS

4.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de utilizar un CC para la supresión de malezas requiere de la comprensión de los factores involucrados en este proceso. Uno de los más importantes es la competencia que ejerce un CC sobre las malezas desde su implantación hasta el momento de secado.

La capacidad competitiva de un cultivo depende de factores fisiológicos y atributos morfológicos que permiten al cultivo utilizar luz, agua, nutrientes y otros recursos limitantes eficazmente en presencia de malezas (Jha et al., 2016). Una variedad de prácticas culturales como selección de especie competitivas, fecha y densidad de siembra, espaciamento entre hileras, utilización de CC, manejo de nutrientes y estrategias de riego pueden favorecer la competitividad de los cultivos contra las malezas (Chauhan y Opeña, 2013; Swanton et al., 2015). A su vez estas prácticas tienen el potencial de reducir tanto el uso de herbicidas como el banco de semillas de malezas (Norsworthy et al., 2012; Vencill et al., 2012).

Luego del secado de los CC, otro factor importante que tiene influencia sobre la germinación y emergencia de las malezas, es la interferencia física de los residuos que quedan en la superficie del suelo. El mulch superficial suprime físicamente las malezas al alterar la cantidad y calidad de luz y la temperatura en la superficie del suelo. También actúan como una barrera para reducir la emergencia de las plántulas.

Se ha demostrado que el control de malezas se incrementa con el aumento de la biomasa de los CC; sin embargo, los niveles que normalmente se alcanzan en algunos ambientes de la región pampeana no superan los 3000 kg MS ha⁻¹, lo cual es insuficiente para proporcionar niveles adecuados de supresión de malezas (Mohler y Teasdale, 1993). Además, se necesita una distribución uniforme de los residuos de los CC para obtener una supresión consistente de la emergencia de malezas (Creamer et al., 1996; Teasdale y Mohler, 1993). Por otro lado, el impacto de los residuos de los CC en el control de malezas es específico, siendo algunas especies muy susceptibles a los residuos

superficiales de los CC, mientras que otras no lo son (Liebman y Davis, 2000; Mohler y Teasdale, 1993). Finalmente, el control de malezas a través del residuo en superficie del CC es generalmente incompleto requiriendo la integración de un programa de manejo de malezas que se basa en tácticas de control adicionales (Williams et al., 1998).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa incidente, y la variación de la temperatura del suelo bajo los diferentes CC experimentados.

2. Cuantificar el contenido de nitratos del suelo al momento de interrupción del ciclo de los diferentes CC.

3. Evaluar el efecto de diferentes especies utilizadas como CC (centeno, triticale y vicia), métodos de interrupción (químico vs rolado) y estrategias de control químico de malezas sobre la composición y fluctuación poblacional de las mismas.

4.3 HIPÓTESIS

1. Las gramíneas inicialmente interceptan más radiación fotosintéticamente activa que la vicia, mientras que en etapas reproductivas la vicia alcanza valores de intercepción más elevados que las gramíneas.

2. Tanto las gramíneas como la vicia disminuyen la temperatura del suelo con respecto al barbecho, siendo la vicia la que provoca las mayores reducciones.

3. Los CC reducen los contenidos de nitratos del suelo respecto del barbecho, siendo las gramíneas las que producen las mayores disminuciones.

4. Los CC disminuyen tanto la composición específica de la comunidad de malezas como la densidad poblacional de las especies predominantes, independientemente del método de interrupción (rolado vs herbicidas).

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Sitio experimental

El sitio experimental se corresponde con el descrito en el capítulo 2.

4.4.2 Diseño experimental y manejo agronómico

Tanto el diseño experimental como el manejo agronómico se corresponde con lo descrito en el capítulo 3.

Durante el ciclo ontogénico de los CC se midió la radiación solar incidente sobre el cultivo (RAD_{inc} –MJ m⁻²) y la radiación a ras del suelo que atraviesa el estrato verde del mismo (RAD_s –MJ m⁻²), utilizando para ello un radiómetro lineal (Cavadevices). El porcentaje de intercepción de radiación (PIR %) surge de relacionar ambas variables ($RAD_s/RAD_{inc} * 100$). Los registros de intercepción de la radiación se tomaron en tres

lugares de cada parcela, entre las 11 y 14 horas en días completamente despejados de nubosidad.

La temperatura del suelo se midió a 3 cm de profundidad con termómetro multifunción con espiga de acero inoxidable. Las mediciones se realizaron cada 15 días aproximadamente durante el periodo de crecimiento de los CC (siembra CC – secado de los CC) registrando tres observaciones por parcela. En el tratamiento BH la temperatura se tomó en dos situaciones diferentes, con y sin rastrojo en superficie. Los registros de temperatura del suelo se tomaron entre las 11 y 14 horas.

A la siembra y en el momento de secado de los CC se determinó el contenido de N-NO_3^- en el suelo por el método de fenildisulfónico (Bremner, 1965) en las profundidades de (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Los resultados se expresan como N-NO_3^- en (Kg ha^{-1}) y se calcularon de la siguiente manera: Ecuación 8 a la 10 del capítulo 2.

La emergencia de malezas se determinó por especie, contando todas las plantas que se encontraron dentro en un marco de 0.25 m^2 . Se establecieron tres marcos (estaciones de censo) por parcela colocados en forma diagonal. Para las evaluaciones de la emergencia de las malezas se realizaron censos aproximadamente cada 25 días desde la siembra de los CC hasta el secado de mismos incluyendo además a los barbechos y un testigo sin CC y sin herbicidas. En soja, los censos se realizaron desde la siembra del cultivo hasta inicio de floración. En este periodo la dinámica de emergencia de malezas se comparó con otro testigo sin CC y sin herbicidas en el cual luego de cada recuento se aplicó un herbicida desecante sin efecto residual (Paraquat) de manera de controlar las malezas evitando su interferencia con los flujos de emergencia posteriores. A partir de los censos realizados de las diferentes especies de malezas se evaluó la riqueza (número de especies malezas m^{-2}) en todos los tratamientos.

A la cosecha de la soja se determinó en todos los tratamientos la biomasa área de las malezas, se recolectaron todas las malezas por especie que se encontraron en un marco de 0.25 m^2 , realizando tres mediciones por parcela. Luego las muestras se colocaron en estufa con ventilación forzada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta peso constante, los resultados de biomasa aérea se expresan en kg ha^{-1} .

Para el análisis estadístico se utilizaron modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta los tratamientos descriptos en la Tabla 7 como fijos y bloques como aleatorios.

Para estudiar el número de malezas se utilizaron modelos lineales generalizados por cada fecha de evaluación.

Se compararon las medias con test LSD de Fisher al ($p < 0.05$) del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Radiación interceptada

En la Figura 11 se detalla el porcentaje de radiación interceptada en función del tiempo en unidades térmicas ($^{\circ}\text{Cd}$) para centeno, triticale y vicia desde la siembra hasta el secado de los mismos. Los cultivos de centeno y vicia fueron los únicos en alcanzar el 90% de intercepción de la radiación (Figura 11). Aproximadamente hasta los 800°Cd (30 de Agosto) los cultivos de gramíneas mostraron valores de intercepción muy superiores comparados con la vicia, posteriormente esta especie logra un incremento del 291% en el porcentaje de intercepción de la radiación entre los 800 a los 1300°Cd (Septiembre), mientras que en las gramíneas el incremento fue del 66% en el mismo periodo. De acuerdo a estos resultados se observa que el cultivo de vicia tiene un periodo inicial lento para cubrir el suelo comparado con las gramíneas, pero luego con el aumento de las temperaturas medias logra alcanzar valores superiores a los de las gramíneas y mantenerlos en el tiempo.

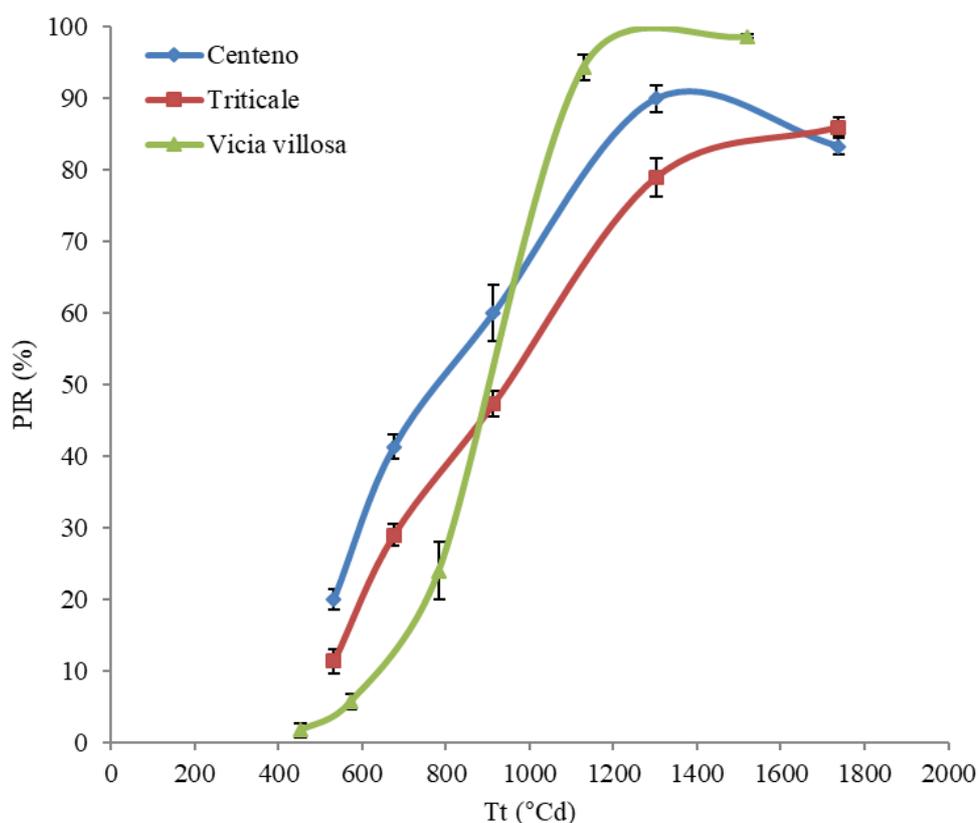


Figura 11. Porcentaje de radiación interceptada (PIR %) en función del tiempo térmico (T_t $^{\circ}\text{Cd}$) desde la siembra hasta el secado de los cultivos de cobertura. Las barras indica el error estándar.

4.5.2 Temperatura del suelo

En la Figura 12 se detalla la temperatura del suelo a 3 cm de profundidad en función del tiempo para centeno, triticale, vicia, barbecho con y sin rastrojo en superficie desde la siembra de los CC hasta inicio de floración de la soja (R2). Los CC disminuyeron significativamente la temperatura del suelo con respecto al barbecho sin rastrojo en superficie. A partir de septiembre, en las parcelas con vicia las temperaturas son significativamente más bajas que en los cultivos de centeno y triticale. Esto podría estar asociado a la mayor intercepción de la radiación en vicia respecto de las gramíneas (Figura 11).

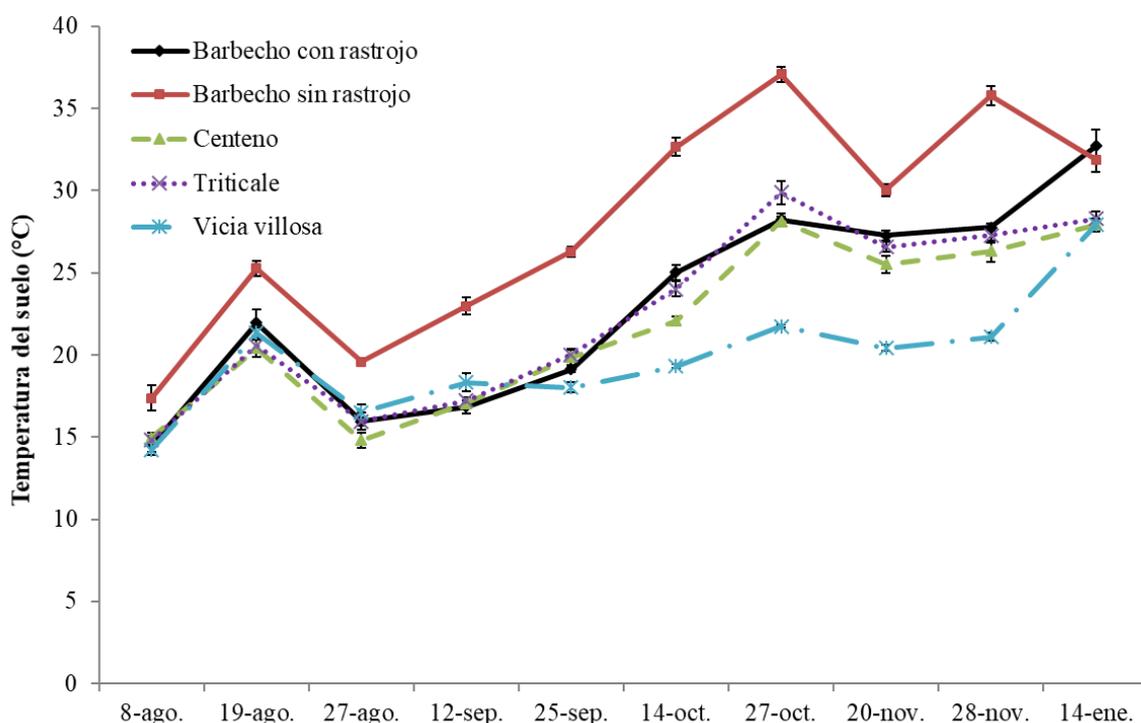


Figura 12. Temperatura del suelo (°C) a 3 cm de profundidad en función del tiempo desde la siembra los CC hasta inicio de floración de la soja (R2). Las barras indica el error estándar.

4.5.3 Captura de nitrógeno edáfico

Los contenidos de N NO_3^- en todas las profundidades analizadas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos (Figura 13). Se evidencia en todas las profundidades evaluadas una tendencia de los CC a disminuir los contenidos de N NO_3^- respecto del barbecho. Las mayores reducciones en el contenido de N NO_3^- se observaron en triticale, siendo éstas de 72, 84 y 77 % en los perfiles (0–20, 20–40 y 40–60 cm) respecto de BH.

Considerando el perfil (0–60cm) se observaron reducciones en el contenido de N NO_3^- de 76, 52 y 40% en triticale, centeno y vicia respecto de BH.

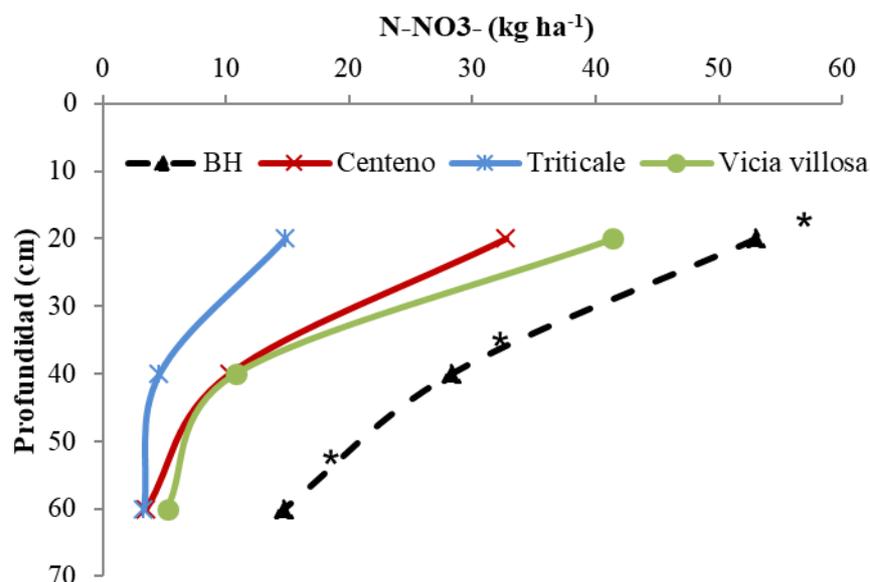


Figura 13. Contenidos de N NO₃⁻ (kg ha⁻¹) en el suelo (profundidad 0-20, 20-40 y 40-60 cm), en barbecho con glifosato (BH), vicia, centeno y triticale al momento de secado de los CC. El asterisco (*) indica diferencias significativas del test LSD p< 0,05 dentro de cada profundidad.

4.5.4 Dinámica de emergencia de malezas

4.5.4.1 Malezas (Otoño – Invernales)

No se observaron diferencias significativas (p>0,05) en la dinámica de emergencia de malezas entre las diferentes estrategias de control dentro de cada CC. Por lo tanto, solo se muestra el promedio de distintos tratamientos dentro de cada CC.

Del grupo de las malezas otoño-invernales las especies predominantes en el tratamiento testigo fueron “rama negra” (*Conyza* spp.) y “peludilla” (*Gamochaeta spicata*) (Lam.) (Figura 14), representando el 90% de la abundancia total. Por este motivo solo se discuten los resultados correspondientes a estas dos especies.

En todos los censos la densidad de plantas de rama negra emergidas fue mayor en el tratamiento testigo (Figura 15). El tratamiento BH mostró diferencias significativas en la emergencia de rama negra respecto de los CC desde el segundo hasta el último censo.

En BHM esta maleza aparece solo en el cuarto y último censo. En ninguno de los CC se registró emergencia de esta maleza.

Las diferencias observadas entre los tratamientos BH y BHM están asociadas tanto a la baja eficacia que presenta el glifosato para controlar rama negra como al efecto residual del metsulfuron metil utilizado en BHM.

En BH el promedio de plantas m⁻² de rama negra fue de 1,71 mientras que para BHM fue de 0,35, respectivamente, esto representa una reducción del 80%.

Por otra parte, la emergencia de peludilla en los tres primeros censos fue significativamente mayor en el tratamiento testigo respecto al resto (Figura 16). El tratamiento BH mostró un patrón similar al de rama negra, con un promedio de 3,6 plantas m^{-2} . La emergencia promedio en BHM fue de 0,08 plantas m^{-2} , lo que representa una reducción del 97% respecto a BH. En ningún de los CC se registró emergencia de esta especie.

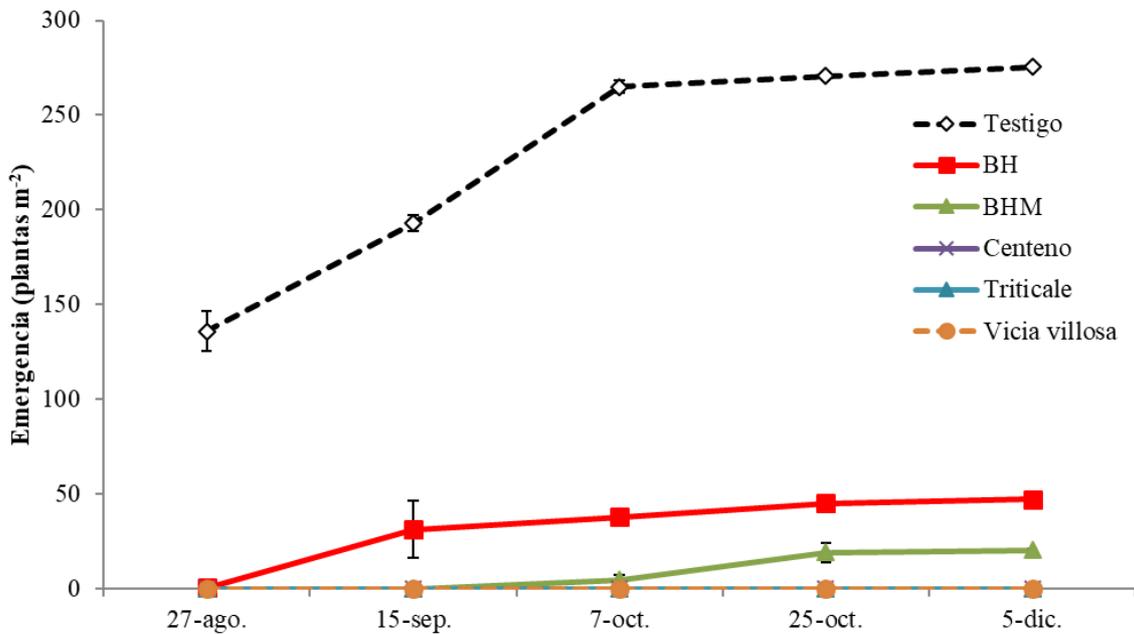


Figura 14. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) del total de malezas de ciclo otoño invernal periodo agosto a diciembre. Las barras indican el error estándar.

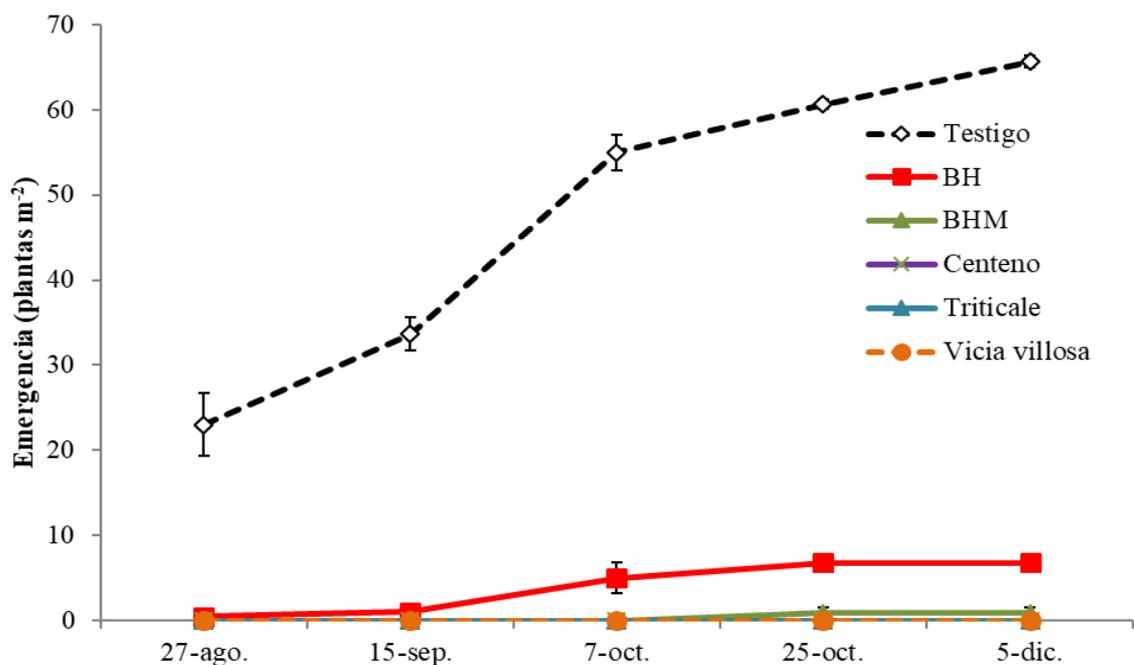


Figura 15. Emergencia acumulada (plantas m^{-2}) de *Conyza* spp. periodo agosto a diciembre. Las barras indican el error estándar.

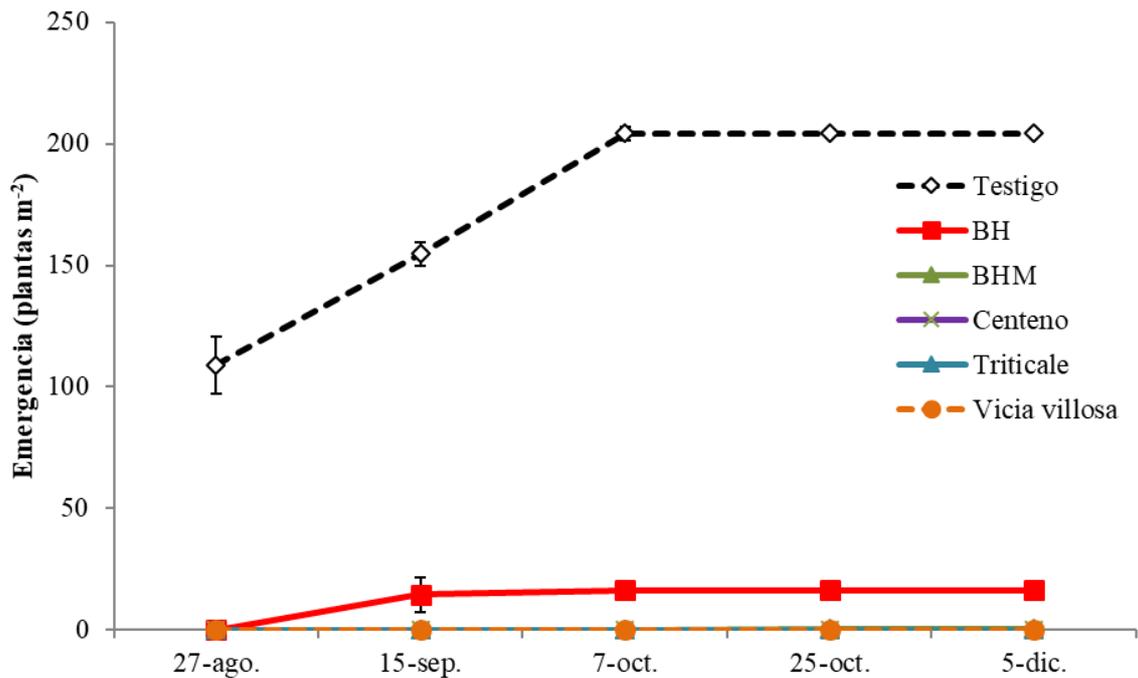


Figura 16. Emergencia acumulada (plantas m⁻²) de *Gamochaeta spicata* (Lam.) periodo agosto a diciembre. Las barras indican el error estándar.

4.5.4.2 Malezas (Primavera – Estivales)

Exceptuando las dos últimas fechas de muestreos no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la dinámica de emergencia de malezas en las distintas estrategias de manejo dentro de cada CC. (Figura 17). Por lo tanto, solo se muestra el promedio de distintos tratamientos dentro de cada CC.

En la mayor parte del periodo considerado, la densidad total de malezas fue mayor en el tratamiento testigo (Figura 17). En todos los censos realizados la densidad en ambos tratamientos de barbecho fue significativamente mayor que la observada en los CC. En BH la emergencia fue siempre mayor o igual a BHM durante todo el ciclo.

Del grupo de malezas primavera - estival la especie más abundante en el tratamiento testigo fue “yuyo colorado” *Amaranthus hybridus* L. En los barbechos a partir del segundo censo se observó la aparición de esta especie, mientras que en las gramíneas y la vicia se produjo un retraso en la aparición de esta maleza de 87 y 124 días, respectivamente (Figura 18). La reducción en la emergencia de yuyo colorado en los CC fue del 98,8% con respecto al testigo y del 93,9% con respecto a los barbechos.

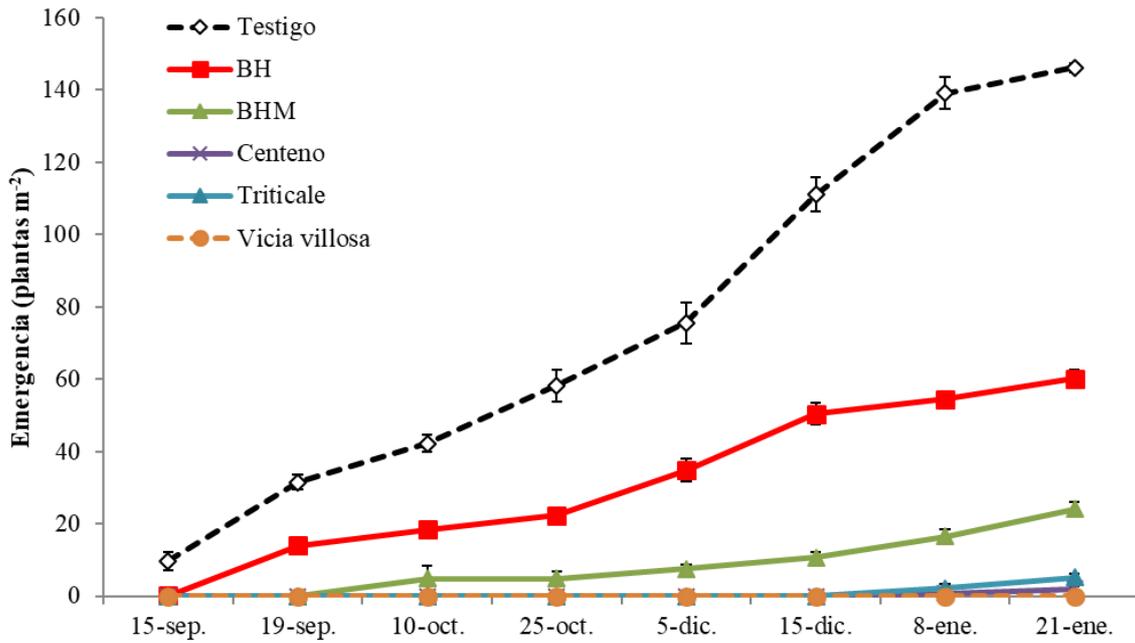


Figura 17. Emergencia acumulada (plantas m⁻²) del total de malezas de ciclo primavero-estival periodo septiembre a enero. Las barras indican el error estándar.

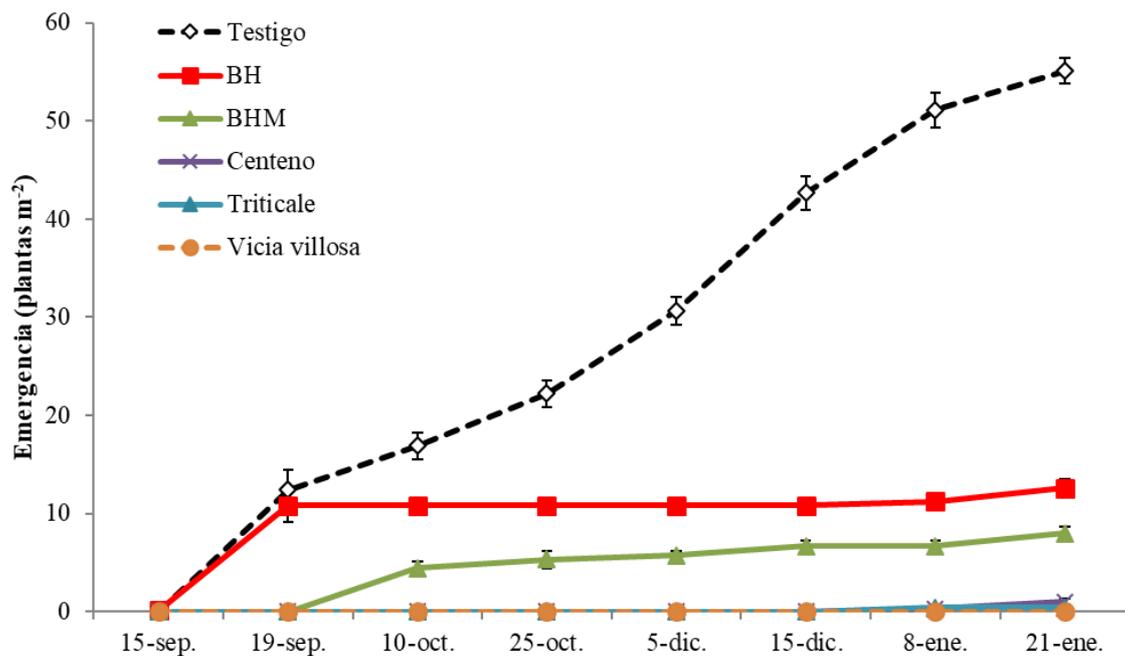


Figura 18. Emergencia acumulada (plantas m⁻²) de *Amaranthus hybridus* L. periodo septiembre a enero. Las barras indican el error estándar.

Al analizar el comportamiento de *Conyza* spp. durante este periodo, se observaron en los primeros dos censos, valores de densidad significativamente mayores en el testigo respecto de BH, mientras que en los CC no se registraron emergencias de esta maleza (Figura 19).

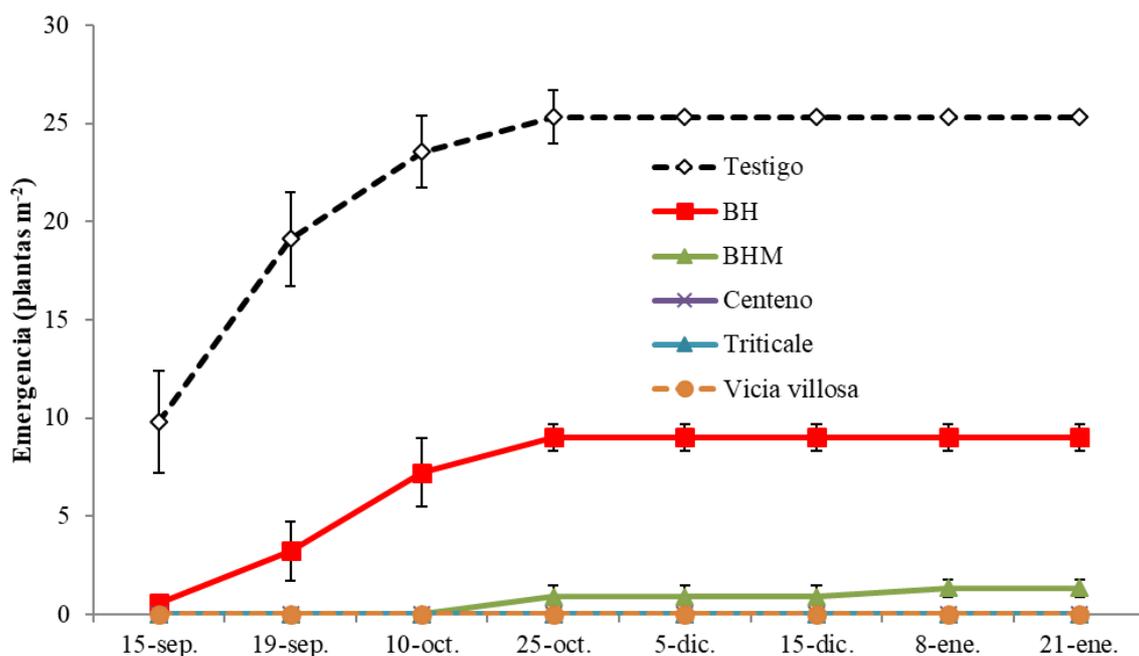


Figura 19. Emergencia acumulada (plantas m⁻²) de plantas de *Conyza* spp. periodo septiembre a enero. Las barras indican el error estándar.

De las especies de malezas gramíneas primavera estivales, *Eleusine indica* (L.) Gaertn y *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. representaron el 96% del total de la comunidad en el tratamiento testigo por lo tanto los análisis corresponden a estas dos especies.

Todos los CC suprimieron en un 100% la emergencia de *E. indica* y *D. sanguinalis* hasta el censo del 15 de diciembre respecto del testigo y los barbechos (Tabla 10 y 11).

Tabla 10. Emergencia de *Eleusine indica* L. desde mediados de septiembre hasta fines de enero bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	Densidad de <i>Eleusine indica</i>						
	19-sep	10-oct	25-oct	5-dic	15-dic	8-ene	21-ene
	plantas m ⁻²						
Testigo	0	1,33	4,44	6,22	18,67	16,89	1,33
BH	0	0	1,33	6,22	8,44	1,78	1,78
BHM	0	0	2,22	0	0	2,67	2,67
CH	0	0	0	0	0	0	0
CR	0	0	0	0	0	0,05	0,05
CHM	0	0	0	0	0	0	0
TH	0	0	0	0	0	2,24	2,24
TR	0	0	0	0	0	0	0,44
THM	0	0	0	0	0	0	0,03
VH	0	0	0	0	0	0	0,01
VR	0	0	0	0	0	0	0
VHM	0	0	0	0	0	0	0
DMS (0,05)	NS	NS	NS	4,41	4,1	3,42	1,6

El tratamiento testigo fue donde se observó la mayor densidad de *E. indica* y *D. sanguinalis* durante todo el período de evaluación con valores de 6.98 y 1.96 plantas m⁻², respectivamente. Los tratamientos BHM y BH mostraron reducciones de densidad de *E. indica* del 84% y 60%, respecto del tratamiento testigo, mientras que para *D. sanguinalis* la reducción fue del 68% y 64%, respectivamente. A su vez la reducción en la emergencia de *E. indica* y *D. sanguinalis* en los CC fue del 99% y 91% con respecto al tratamiento testigo.

Tabla 11. Emergencia de *Digitaria sanguinalis* L. desde mediados de septiembre hasta fines de enero bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	Densidad de <i>Digitaria sanguinalis</i>						
	19-sep	10-oct	25-oct	5-dic	15-dic	8-ene	21-ene
	plantas m ⁻²						
Testigo	0	0,44	4	2,22	4,44	0,89	1,78
BH	0,44	0,44	0,89	1,33	1,78	0	0
BHM	0	0,44	0,44	0,44	0,44	1,33	1,33
CH	0	0	0	0	0	0	0,44
CR	0	0	0	0	0	0,91	0,91
CHM	0	0	0	0	0	0,44	0,44
TH	0	0	0	0	0	2,67	3,11
TR	0	0	0	0	0	0,44	1,78
THM	0	0	0	0	0	0	0
VH	0	0	0	0	0	0	0,01
VR	0	0	0	0	0	0	0,03
VHM	0	0	0	0	0	0	0
DMS (0,05)	NS	NS	1,32	1,13	1,34	1,59	1,79

Si bien los CC tuvieron un importante control de malezas, al inicio de floración de la soja (R1) se observó la aparición de triticale voluntario en los tratamientos TR y TH.

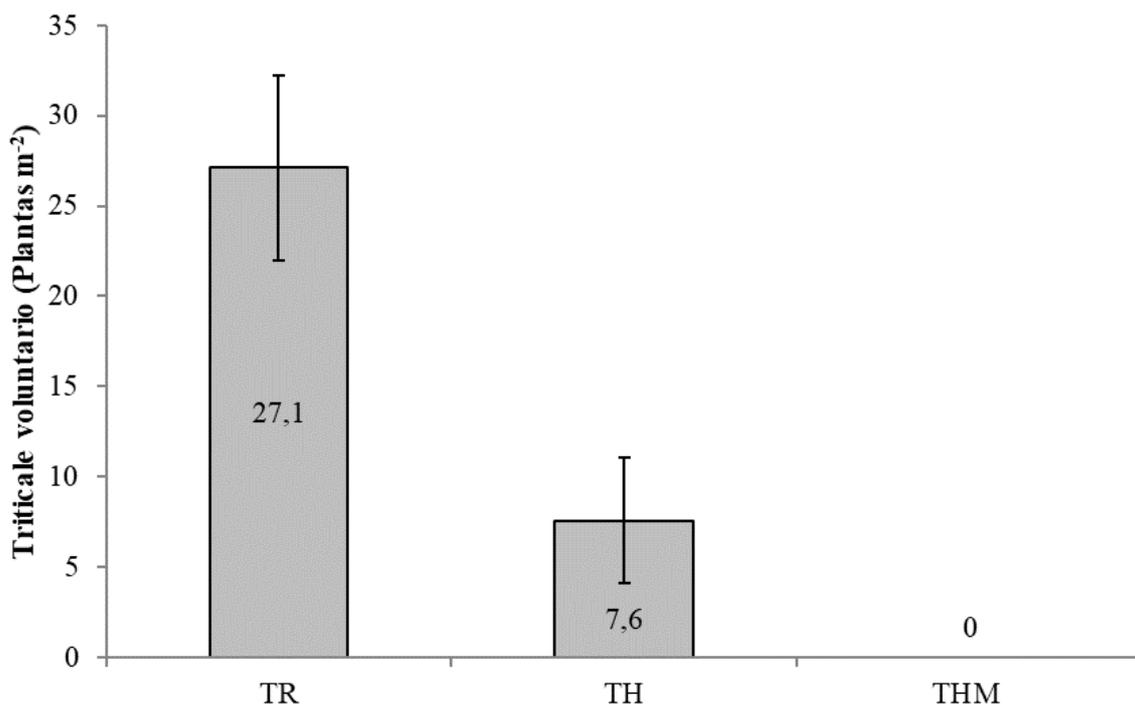


Figura 20. Triticale voluntario (plantas m⁻²) al inicio de floración de la soja (R1) en los diferentes tratamientos. Líneas verticales indican el error estándar.

Esto se debe a que el triticale se secó en un estado fenológico avanzado (inicio de llenado de grano) (Figura 20). En TR la presencia de triticale voluntario es un 72% mayor con respecto a TH, mientras que en el tratamiento THM la ausencia de triticale voluntario probablemente está asociada al control que ejerce el herbicida S-metolaclor sobre esta especie.

4.5.5 Riqueza

En cuanto al efecto de los CC sobre la riqueza de especies de malezas (número promedio de especies) se observaron diferencias solo en el primer censo ($p < 0,05$) (Tabla 12). En septiembre los CC redujeron un 94,6 y 97,7% el número de especies de malezas respecto del testigo y BH, mientras que BHM no se encontraron especies presentes, probablemente debido a la acción del herbicida residual (metsulfuron-metil). En el mes de octubre la riqueza promedio de los barbechos fue de 1,16 especies de malezas m⁻² mientras que en ninguno de los tratamientos con CC se registró presencia de malezas.

Por otro lado, en diciembre los CC redujeron un 100% el número de especies de malezas respecto del testigo y los barbechos. En el mes de enero el promedio de riqueza en los CC fue de 0.56 especies m⁻², lo que significa una reducción aproximada del 79% respecto de los tratamientos sin CC.

Tabla 12. Efecto de los CC en el número de especies de malezas.

Antecesor	2-sep.	7-oct.	5-dic.	21-ene.
	Número de especies malezas m ⁻²			
Testigo	3 ba	2,92	2,78	2,78
BH	7 a	1,33	2,44	2,33
BHM	0 b	1	1	3,11
Centeno	0 b	0	0	0,55
Triticale	0 b	0	0	0,92
Vicia	0 b	0	0	0,22

Letras iguales no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

4.5.6 Composición y biomasa de malezas totales a la cosecha del cultivo de soja

La biomasa total de malezas a la cosecha de soja fue significativamente ($p < 0,05$) menor en los CC respecto de los barbechos (Figura 21). La biomasa total de las malezas varió entre 0,5 y 50,7 g MS m⁻².

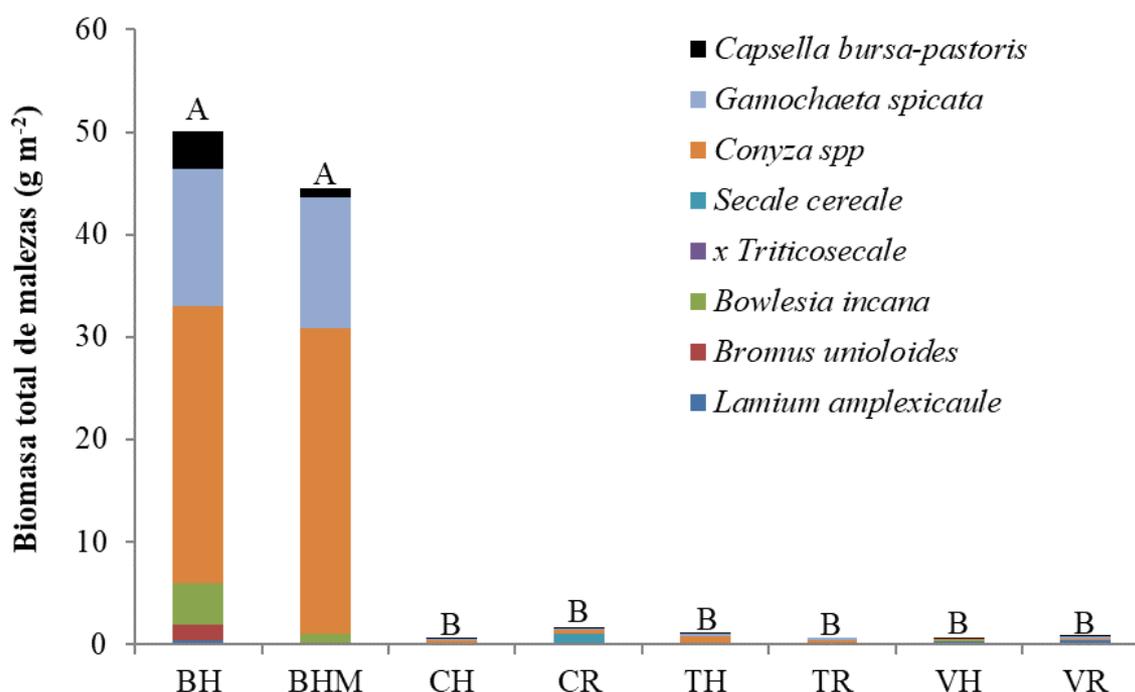


Figura 21. Biomasa total de las malezas a la cosecha de soja (g m⁻²) en BH (barbecho con glifosato), BHM (barbecho con herbicidas residuales), CH (centeno secado con herbicida), CR (centeno secado con rolo), TH (triticale secado con herbicida), TR (triticale secado con rolo), VH (vicia secada con herbicida) y VR (vicia secada con rolo). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test LSD ($p < 0,05$).

La utilización de diferentes especies como CC o método de secado no tuvo incidencia significativa ($p > 0,05$). Considerando las tres especies utilizadas como CC, la biomasa total de malezas fue, en promedio, 0,8 g MS m⁻², mientras que en los barbechos fue, en promedio, 47,6 g MS m⁻² esto representa una reducción del 98% asociada con la presencia de los CC.

Se registraron reducciones en los CC respecto de los barbechos del 52 % y 99% en “ortiga mansa” (*Lamium amplexicaule* L.) y “peludilla” (*Gamochaeta spicata* Lam.), mientras que se observaron reducciones del 98%, 100% y 98% en *Capsella bursa-pastoris* (L.), “cebadilla criolla” (*Bromus unioloides* Kunth) y “perejilillo” (*Bowlesia incana* Ruiz y Pav).

Es importante resaltar la reducción del 99% en “rama negra” (*Conyza* spp.) en los CC respecto de los barbechos.

4.6 DISCUSIÓN

4.6.1 Radiación interceptada

Giunta et al. (2009) trabajando en suelos franco arcilloso arenoso y franco arcilloso con una media anual de precipitaciones de 550 mm, encontraron que las gramíneas alcanzan su máxima cobertura antes que las leguminosas, mientras que en este experimento las gramíneas inicialmente interceptaron más radiación que la vicia hasta los 800 °Cd y posteriormente la vicia logra alcanzar valores superiores al 90% de intercepción de la radiación antes que las gramíneas. Por otro lado, se encontraron diferencias entre los cultivos en cuanto al tiempo que tardaron en alcanzar el 90% de cobertura del suelo. La especie más rápida en alcanzar este nivel de cobertura fue vicia (1200 °Cd aproximadamente), mientras que la más lenta fue triticales que logró la máxima cobertura después de los 1600 °Cd. En otro experimento, Teasdale et al. (2004) lograron un porcentaje de cobertura similar con vicia en un período de tiempo menor (950°Cd). Estas diferencias posiblemente estén asociadas a condiciones ambientales diferentes en los sitios de experimentación. El mayor porcentaje de intercepción observado en vicia a partir de los 1200 °Cd probablemente esté asociado con la mayor producción de MS al momento de secado con respecto a centeno y triticales.

4.6.2 Temperatura del suelo

Los residuos del cultivo de cobertura en la superficie del suelo pueden reducir la temperatura máxima del suelo en 2-5 °C y elevar la temperatura mínima del suelo en 1 °C en climas templados, aunque esto varía según la intensidad de la radiación, el tipo de suelo y la humedad del mismo. La mayoría de las semillas de malezas germinan en un amplio rango de temperaturas, por lo tanto, una reducción en la temperatura máxima del suelo causada por la presencia de residuo en superficie generalmente tiene poca influencia en la germinación. Sin embargo, debido a la disminución en las temperaturas máximas y al aumento en las temperaturas mínimas del suelo, la amplitud diaria de la temperatura del suelo también se reduce por los residuos en superficie de los CC. Algunas malezas

anuales requieren de elevadas amplitudes térmicas para romper la dormición, por lo tanto, una reducción en la amplitud de la temperatura del suelo por los residuos del CC puede evitar o retrasar la germinación de malezas que posean este requisito (Teasdale, 2003).

4.6.3 Captura de nitrógeno edáfico

La mayoría de las malezas no leguminosas, son sensibles a la falta de N (Blackshaw et al., 2004; Henson y Jordan, 1982; Tungate et al., 2006), por lo tanto, la reducción en los niveles de N inorgánico del suelo podría constituir una táctica para disminuir la competencia de malezas. Restovich et al. (2012) observaron reducciones mayores al 90% en el contenido de $N\ NO_3^-$ del suelo, bajo CC (gramíneas) respecto a un barbecho desnudo. Similares resultados fueron obtenidos por Álvarez et al. (2006) quienes trabajando sobre Haplustoles, reportaron reducciones mayores al 70% en el contenido de $N\ NO_3^-$ del suelo, utilizando diferentes verdeos de invierno como CC.

Dado que las especies de vicia se caracterizan por la baja relación C/N (media 13/1) (Ranells y Wagger, 1996; Aita y Giacomini, 2003), se puede inferir que la mineralización superará a la inmovilización del N. Este es un aspecto interesante, ya que posterior al secado de estas especies, el N liberado del residuo podría activar la germinación de las malezas, por lo tanto, cuando se utilizan leguminosas para el control de malezas, el mismo estará dado por interferencia física y atenuación de las señales del medio.

4.6.4 Dinámica de emergencia de malezas

4.6.4.1 Malezas (otoño – Invernales)

La rama negra (*C. bonariensis*) es una especie anual que se multiplica por semillas, las cuales germinan principalmente en otoño e invierno, aunque un pequeño porcentaje de las semillas producidas son capaces de germinar en primavera (Faccini et al., 2008). En función de las características de esta especie se puede observar en los resultados de este estudio como los flujos de emergencia de invierno fueron inhibidos por las tres especies utilizadas como CC. Pittman et al. (2019) encontraron una reducción en la densidad de *Conyza canadensis* (88% a 96%, con respecto al control sin CC y sin herbicidas) utilizando centeno, trébol encarnado y vicia villosa como CC. Cornelius y Bradley, (2017) en experimentos realizados sobre suelos franco limosos y una media de precipitaciones anuales de 1137 mm, también reportaron disminuciones en la densidad de malezas anuales de invierno utilizando CC en comparación con un control sin CC, encontrando mayor supresión en centeno y en la mezcla de centeno con vicia villosa.

La reducción observada en la emergencia tanto de rama negra como de peludilla en los tratamientos con CC podría asociarse con el efecto inhibitorio de la germinación de las malezas que provocan estos cultivos.

4.6.4.2 Malezas (primavero – estivales)

En los tratamientos con CC la emergencia de las malezas se retrasó aproximadamente 60 días respecto a los tratamientos de barbecho.

Esto es coincidente con lo observado en otros trabajos donde se verifica una reducción o retraso en la emergencia de malezas en cultivos de soja sembrados sobre centeno como CC en sistemas de siembra directa, en relación a un tratamiento sin CC (Mirsky et al., 2011; Leavitt et al., 2011). Wiggins et al. 2016 encontraron retrasos en el establecimiento de *Amaranthus palmeri* (S. Wast) utilizando centeno y vicia villosa como CC. Este retraso podría estar asociado tanto al efecto inhibitorio de la germinación como al efecto físico del residuo en superficie remanente luego del secado de los CC, el cual afecta la penetración de la luz en la superficie del suelo y disminuye las fluctuaciones térmicas del mismo (Palhano et al., 2018).

A su vez las reducciones en las densidades de *Amaranthus hybridus* observadas en los CC son consistentes con trabajos previos en donde las densidades de *Amaranthus palmeri* fueron menores después de un de centeno como CC comparado con un barbecho de invierno, especialmente cuando las densidades de esta maleza eran altas (Price et al., 2012; Timper et al., 2011).

Teasdale et al. (2005) encontraron que con 5000 kg MS ha⁻¹ de residuo de vicia villosa, la emergencia de yuyo colorado se redujo solo un 13% y con la aplicación de 10 g i.a ha⁻¹ de S-metolacloro se redujo un 16%, mientras que la combinación de ambos redujo la emergencia de esta especie en un 86%. En nuestro experimento esta sinergia no fue observada quizás por la elevada producción materia seca de los CC, superando los 8000 kg ha⁻¹ en las tres especies utilizadas. Price et al. (2016) encontraron que la fracción de escapes de *Amaranthus palmeri* se relacionaba con la producción de materia seca de los CC, en términos generales cuanto más materia seca producida por el CC mayor era el control sobre esta maleza. Estos autores obtuvieron controles de *A. palmeri* mayores a 90% con producciones de materia seca cercanas a los 8000 kg MS ha⁻¹.

Por otro lado, en el tratamiento testigo, se registraron emergencias de *Conyza* hasta el 5 de diciembre, mientras que en BH y BHM se observaron escapes a las aplicaciones de glifosato en postemergencia de soja. En los tratamientos con CC no se registraron emergencias de *Conyza* hasta el último censo. Lamego et al. 2013 encontraron ausencia

de *Conyza bonariensis* a los 27 días después de la emergencia de la soja en vicia (*Vicia angustifolia*) y nabo forrajero (*Raphanus spp.*) utilizados como CC, mientras que en el barbecho la densidad de *Conyza bonariensis* fue de 41 plantas m⁻² en parcelas donde solo se utilizó glifosato para el control de malezas en soja.

La aparición de *Eleusine indica* en los barbechos se observó a partir del tercer censo mientras que la emergencia de *Digitaria sanguinalis* fue más temprana, en tanto que en los CC las dos especies sufrieron un retraso en su emergencia aproximadamente hasta el 8 de enero respecto de los barbechos. En trabajos realizados sobre *Amaranthus palmeri* se demostró que el retazo en la emergencia de esta maleza generó plantas menos competitivas con el cultivo de maíz y una menor producción de semillas por planta (Massinga et al. 2001; Keeley et al. 1987).

La aplicación de herbicida S-Metolacoloro 42 días antes de la siembra de la soja en BHM, podría estar asociado con la aparición más temprana de malezas gramíneas con respecto a los CC donde el mismo herbicida fue aplicado dos semanas antes de la siembra de la soja, con lo cual el periodo de residualidad fue más prolongado en los CC que en el tratamiento antes mencionado.

En los tratamientos BH y BHM fue necesario realizar una aplicación de glifosato en post emergencia de soja con el objetivo de controlar malezas latifoliadas y gramíneas. Mientras tanto en los CC no fueron necesarias aplicaciones de herbicidas en el periodo del cultivo de la soja, observándose en términos generales que la supresión de *E. indica* y *D. sanguinalis* fue menor en los tratamientos sin S-Metolacoloro.

En otros experimentos, aunque los CC pudieron suprimir las malezas durante el comienzo de la primavera, no proporcionaron una supresión aceptable de *Amaranthus palmeri* durante todo el ciclo del cultivo estival (Burgos y Talbert, 1996; Reeves et al., 2005). Sin embargo, se puede integrar un sistema de CC con los herbicidas preemergentes para proporcionar un control de malezas más prolongado en el tiempo y utilizar un herbicida postemergente solo en caso de ser necesario. Teasdale et al. (2005) informaron un efecto sinérgico del residuo de vicia villosa y el metolacoloro en la supresión de *Amaranthus hybridus*. Asimismo, Reeves et al. (2005) en experimentos sobre suelos franco arenosos y con alta población de *Amaranthus palmeri* informaron que el control de malezas obtenido con centeno en combinación con herbicidas preemergentes fue similar al tratamiento sin CC con herbicidas preemergente y postemergente aplicados 60 después de la siembra del cultivo estival.

Por último, se necesitan estrategias específicas del sistema para abordar los CC voluntarios en las fases posteriores de la rotación de cultivos, que resultan de la terminación incompleta del CC con el secado mediante rolo. Wallace et al. (2017) encontraron que el rolado de centeno en estado fenológico de grano lechoso (>Zadoks 70) produciría un aumento en la presencia de centeno voluntario con respecto al rolado en 50% antesis (Zadoks 65). Por lo tanto, es necesario elaborar estrategias de gestión del CC voluntario ya que podría impactar en los cultivos posteriores.

4.6.5 Riqueza

Los resultados de este experimento son coincidentes con lo registrado por Ngouajio y Mennan, (2005) quienes encontraron una reducción en el número de especies de malezas del 52 y 45% utilizando centeno y vicia villosa, respectivamente comparado con un testigo sin CC. Asimismo, Isik et al. (2009) en censos realizados 56 días luego del secado de vicia villosa y centeno registraron reducciones en el número de especies de malezas primavero estivales del 66,6 y 60%, respectivamente comparados con un tratamiento sin CC. Esta reducción observada en el número de especies asociada a la utilización de CC, puede traer aparejado cambios en las estrategias de manejo de malezas sobre los cultivos posteriores en la rotación.

4.6.6 Composición y biomasa de malezas totales a la cosecha del cultivo de soja

Considerando que no se observaron diferencias entre métodos de secado y especies utilizadas como CC en la biomasa de malezas a la cosecha de la soja, se puede concluir que las elevadas producciones de materia seca de los CC y la persistencia del residuo en el tiempo constituyen factores muy importantes en la obtención de niveles de control de malezas aceptables durante la estación de crecimiento del cultivo estival, inclusive hasta la cosecha del mismo

Las implicancias de incorporar CC dentro de un plan de manejo integrado de malezas puede ser una táctica para suprimir rama negra inclusive hasta la cosecha del cultivo estival, otorgando además la posibilidad de controlar poblaciones de malezas con resistencia a herbicidas. Estos resultados son coincidentes con los de Pittman et al. (2019) que encontraron a la cosecha de soja utilizando centeno y vicia villosa como CC reducciones aproximadas del 56 y 80%, respectivamente en la biomasa de *Conyza canadensis* con respecto a un testigo sin CC y sin aplicaciones de herbicidas.

4.7 CONCLUSIONES

Las gramíneas inicialmente interceptan más radiación fotosintéticamente activa que la vicia, mientras que en etapas reproductivas la vicia alcanza valores de intercepción más elevados que las gramíneas, por consiguiente, aceptamos la hipótesis planteada.

Tanto las gramíneas como la vicia disminuyen la temperatura del suelo con respecto al barbecho, siendo la vicia la que provoca las mayores reducciones, de acuerdo a los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis planteada. Los CC pueden modificar las condiciones de temperatura del suelo en el micro-sitio de germinación de las semillas de las malezas, retrasando o reduciendo la aparición de éstas.

Los CC redujeron los contenidos de nitratos del suelo respecto del barbecho, siendo las gramíneas las que producen las mayores disminuciones, los resultados obtenidos nos permiten aceptar la hipótesis.

Los CC disminuyen tanto la composición específica de la comunidad de malezas como la densidad poblacional de las especies predominantes, independientemente del tratamiento (rolado vs herbicidas), los resultados permitirían aceptar y afirmar la hipótesis prescripta.

Los CC independientemente de la especie, modificaron los patrones de germinación de las malezas, inhibiendo su germinación en el caso de malezas de ciclo otoño – invernales o retrasando su aparición como en las de ciclo primavera – estival.

Si bien no hubo diferencias en la dinámica de las malezas entre métodos de secado, el sistema de rolado permitiría reducir la utilización de herbicidas, disminuyendo de esta manera la presión de selección sobre las malezas.

Los CC no solo disminuyeron la presencia de malezas durante la estación de crecimiento de la soja, sino que además redujeron su desarrollo hasta la cosecha de la misma, proporcionando un periodo de supresión sobre las malezas más prologado que los tratamientos de barbecho.

La combinación de CC con la aplicación una herbicida pre emergente pueden incrementar la supresión de malezas de ciclo primavera- estival y proporcionar un control adicional sobre el CC voluntario.

La adopción de un sistema de manejo integrado de malezas con CC constituye una herramienta importante no solo para el control eficaz de las malezas, sino también como aporten a la sostenibilidad del sistema productivo.

CAPITULO 5

INTEGRADOR

5.1 Caracterización de las lluvias

Los resultados de la presente tesis muestran que es posible obtener importantes niveles de producción de materia seca de los CC sin afectar la disponibilidad de AU para el cultivo posterior en la rotación. Desde el punto de vista de la disponibilidad hídrica la inclusión de CC se justifica debido a que en la mayoría de los años las precipitaciones son suficientes para el normal desarrollo de los cultivos estivales (Figura 22).

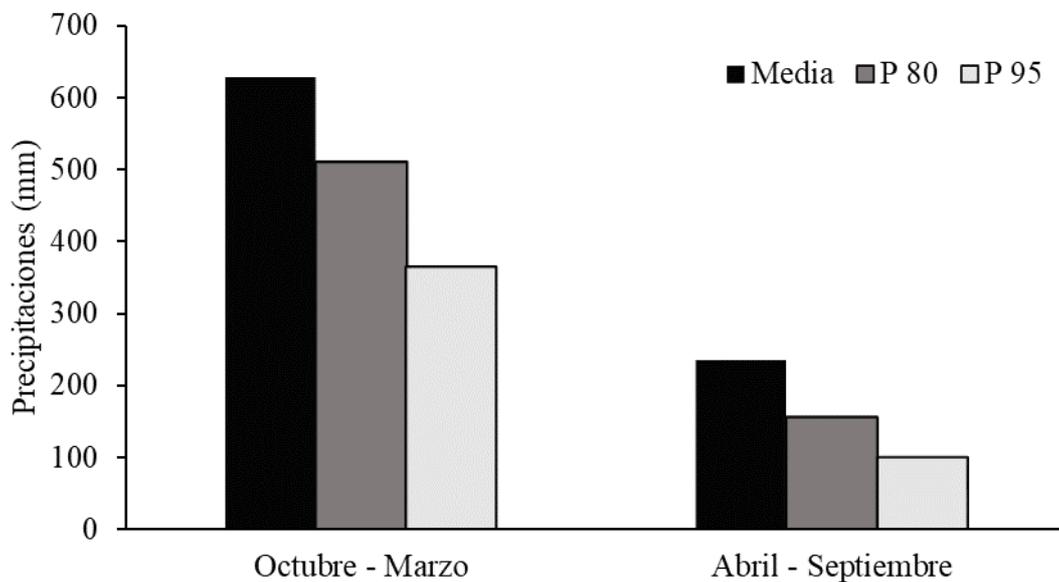


Figura 22. Distribución probabilística de lluvias en (mm) por periodos de octubre a marzo y de abril a setiembre para la región de Marcos Juárez. P 80%: percentil 80. P 95%: percentil 95. Adaptado de Cazorla et al. (2013).

En la región sudeste de la provincia de Córdoba durante el periodo estival, las precipitaciones serán de 500 mm con una probabilidad del 80 % (Figura 22) lo que cubriría las necesidades hídricas de la mayoría de los cultivos de verano. Desde Abril a Septiembre, periodo en cual se incluiría un CC las precipitaciones superan los 100 mm con una probabilidad del 80%, esto sumado a un perfil que en capacidad de campo puede almacenar unos 229 mm de AU hasta los 150 cm de profundidad cubriría la demanda hídrica de un CC en función de los UC obtenidos en este experimento.

Tanto la capacidad de retención de agua (CRA) del suelo como la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones constituyen una valiosa información que resulta estratégica para la toma de decisiones al momento de evaluar la conveniencia o no de incluir CC en la rotación (Scianca, 2010). Quiroga et al. (2005), en estudios desarrollados

sobre Haplustoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana, observaron que en los años con precipitaciones normales durante los barbechos largos y en suelos de baja CRA, los CC aumentaron la eficiencia del uso del agua. Esto se atribuiría a que normalmente las precipitaciones durante el barbecho largo exceden el CRA y, consecuentemente, una parte de ella se pierde por drenaje interno en profundidad.

5.2 Gestión del agua

Entendiendo que la gestión del agua en sistemas de producción en secano es un factor clave, el contenido de AU al secado de los CC, es una variable importante, con posibilidades de interferir con el cultivo estival por el recurso agua. Si bien la variabilidad de las precipitaciones fue importante entre años, se observó una relación lineal positiva y significativa ($0,87$; $p < 0,001$) entre el AU (0 a 60 cm de profundidad) al secado de los CC y los contenidos de AU a la siembra de los CC + precipitaciones (Figura 23).

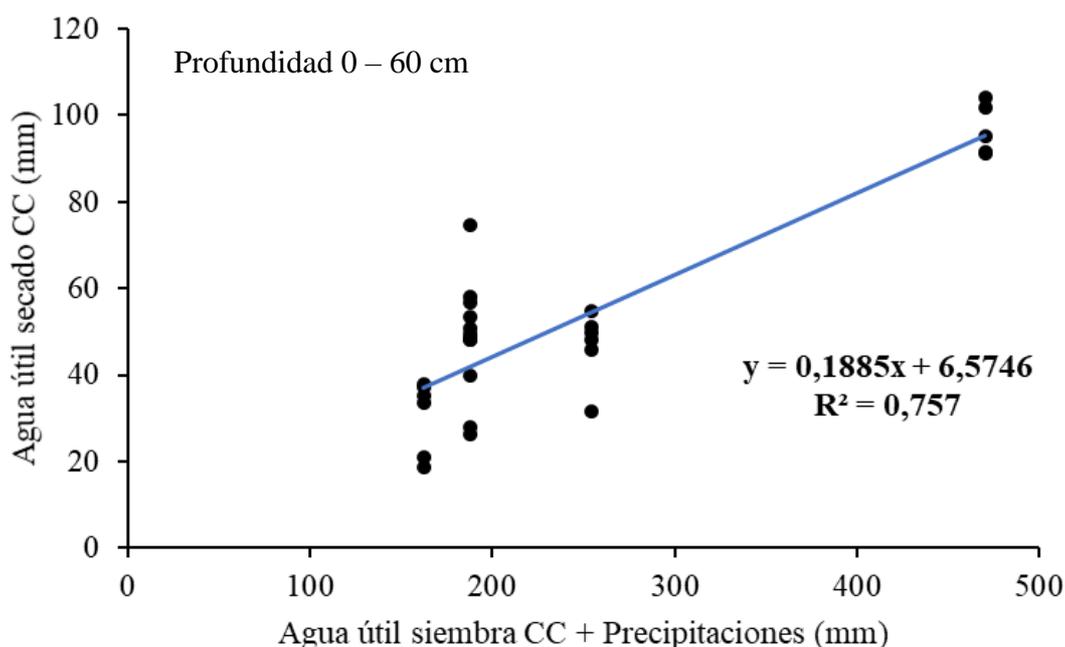


Figura 23. Relación entre agua útil al secado de los CC y agua útil a la siembra de los CC + precipitaciones.

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el UC entre el barbecho y los CC dentro de la misma campaña (Figura 24). El barbecho presentó un UC promedio para las tres campañas de 231 mm, mientras que en los CC fue de 238,4 mm. En el barbecho se produjo una pérdida considerable de agua del perfil que los CC permitieron reasignar y transformarla en MS. Con la implantación de un CC se logra una fijación considerable de carbono con el agua que de otra manera se perdería durante el barbecho. Sería importante incorporar estrategias de manejo (siembras más tempranas de los CC,

momento del secado y la fertilización) estas prácticas podrían representar un aporte tecnológico importante y permitirían utilizar de una manera más eficiente el agua, alcanzando una misma producción de materia seca pero en menor periodo, lo cual posibilitaría adelantar el momento de secado del CC (Fernández et al., 2007; Scianca et al., 2009).

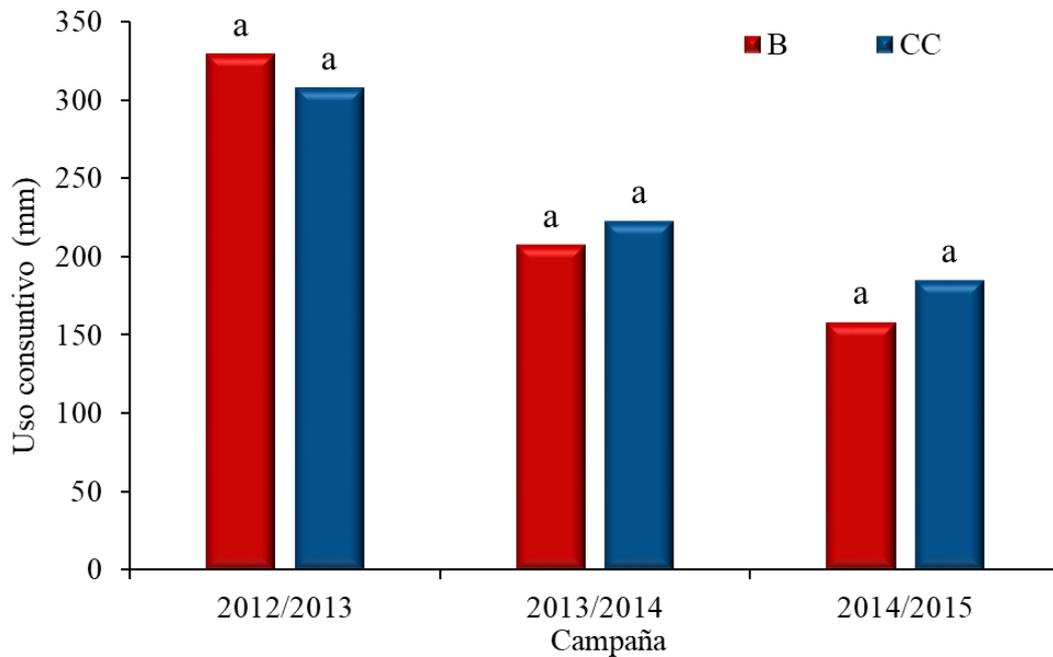


Figura 24. Usos consuntivos para barbecho (B) y CC para las tres campañas evaluadas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

5.3 Captura de nitrógeno edáfico

Si bien no se observaron diferencias en el UC entre barbecho y CC, las producciones de materia seca generadas por los CC tuvieron no solo reducciones en el AU al momento de secado, sino que también se produjeron en los contenidos de $N\ NO_3^-$ del suelo. Se observó una correlación significativa negativa (-0.65 ; $p < 0,05$) entre el contenido de $N\ NO_3^-$ del suelo (0 – 60 cm de profundidad) y la producción de materia seca de los CC (Figura 25).

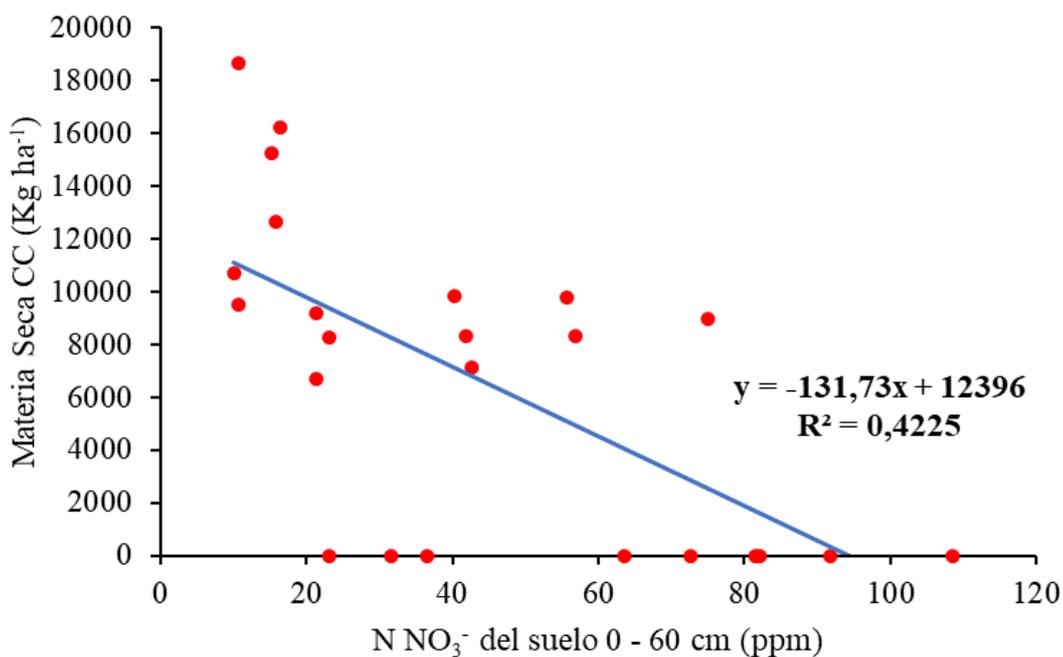


Figura 25. Materia seca al momento de secado de los CC en función del contenido de N NO₃⁻ a la profundidad 0 – 60 cm.

Strock et al. (2004) registraron pérdidas de NO₃⁻ por lixiviación en un suelo moderadamente bien drenado, que se redujo en un 13 % en una rotación maíz- soja cuando se intercaló un cultivo de centeno durante el periodo de barbecho. La incorporación del N del suelo a la planta por parte de los CC es una herramienta importante que permite no solo evitar que este N se pierda por lixiviación hacia capas más profundas (Portela et al., 2016), sino que además se puede constituir en un factor que limite el desarrollo de las malezas (Mirsky et al., 2013).

5.4 Control de malezas

En función de que la producción de materia seca de los CC es otro factor importante para lograr controles de malezas satisfactorios, se encontró una correlación significativa negativa entre el número de malezas al momento de secado de los CC con la producción de materia seca de los mismos (-0,70; p<0,05) (Figura 26). A su vez se encontró una correlación significativa negativa entre el número de malezas al inicio de floración de la soja y la producción de materia seca de los CC (-0,82; p<0,05) (Figura 27).

Scianca et al. (2012) trabajando con centeno y vicia sativa en la localidad de General Villegas encontraron un ajuste muy bajo (r=0.12) entre el número de malezas al momento de secado de los CC y la producción de materia seca de los mismos, la cual

varió entre 1250 y 4059 kg MS ha⁻¹ de materia seca, valores que están por debajo de los obtenidos en este estudio.

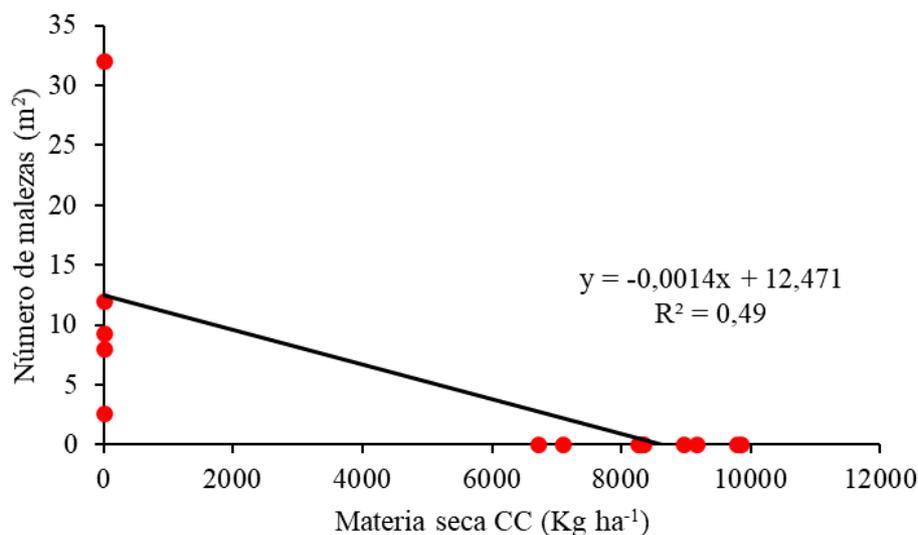


Figura 26. Número de malezas totales al momento de secado de los CC en función de los volúmenes de materia seca aportados por los mismos.

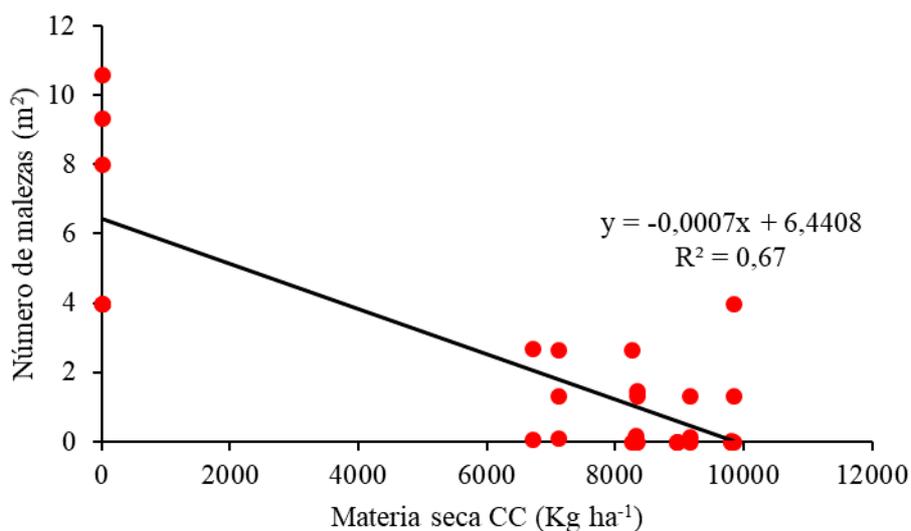


Figura 27. Número de malezas totales al inicio de floración de la soja en función de los volúmenes de materia seca aportados por los CC.

5.5 Rendimientos de soja

Los rendimientos de soja sobre CC variaron entre 3346 y 3937 kg ha⁻¹ mientras que en el barbecho el rango fue entre 3405 y 4281 kg ha⁻¹ (Figura 28), no registrándose diferencias significativas entre ambos tratamientos. Capurro et al. (2010) en experimentos durante tres campañas sobre un suelo Argiudol típico serie Correa (Santa Fe) donde se utilizaron trigo, avena y vicia sativa, encontraron que la incorporación CC no afectó significativamente el rendimiento de soja con respecto a un barbecho.

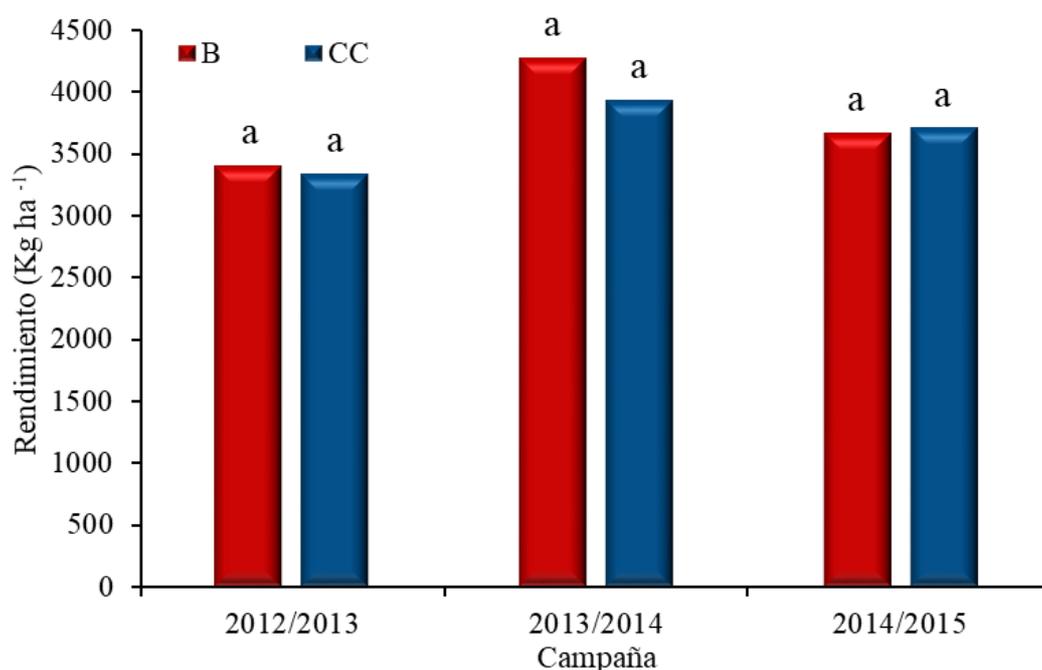


Figura 28. Rendimiento del cultivo de soja sobre barbecho (B) y CC para las diferentes campañas evaluadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

De esta manera, la utilización de CC en regiones con limitantes hídricas puede reducir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Blanco Canqui et al., 2015). Los resultados hasta ahora informados muestran que ésta sería la principal limitante de la inclusión de CC invernales en los sistemas de producción de la región central de Córdoba (Basanta et al., 2012). Por otro lado, la incorporación de esta estrategia implica mayores costos de insumos y mano de obra. A su vez el secado mecánico de los CC a través del rolado de los mismos, requiere una planificación previa, la elección de la especie es uno de los factores más importantes ya que no solo debe ser susceptible al rolado sino que además deberá producir volúmenes importantes de materia seca para asegurar una cobertura del suelo uniforme.

En consecuencia, esta alternativa junto a otras estrategias, como la intensificación en la rotación de cultivos, elección de cultivares con mayor competitividad a las malezas, fecha y densidad de siembra y otras variables se constituyen como herramientas validas a tener en cuenta tanto en la gestión del agua en secano como en el manejo de malezas en sistemas de siembra directa.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Basado en los resultados obtenidos en este estudio, sería interesante analizar en futuras investigaciones si existen otras especies con potencial para ser secadas mediante el uso del rolo y que influencia tiene en la dinámica de emergencia de malezas.

Las densidades y fecha de siembra son variables que sería importante investigar para determinar la influencia que tienen en la producción de materia seca y como afectan en los costos de producción al momento de incorporar CC. A su vez analizar diferentes ambientes edáficos nos daría la posibilidad de encontrar cuales son los sitios con mayor potencial para incorporar ciertas especies y que método de secado resulta más eficaz.

Otro aspecto importante es la persistencia en el tiempo del residuo del CC posterior al secado de los mismos y que influencia tiene sobre la dinámica de malezas primavera - estivales.

Estudios futuros deben contemplar en el largo plazo, el impacto de la incorporación de CC sobre la mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo (estabilidad estructural, porosidad, infiltración, materia orgánica total y joven) en sistemas agrícolas de la región semiárida y subhúmeda pampeana. Hipotetizando que, al reducir el número de aplicaciones y dosis y principios activos, mejoraría la presencia de la meso y micro fauna cómo citan algunos trabajos locales.

Por lo tanto, la jerarquización de la interacción ambiente/genotipo/manejo permitirán adecuar la especie, fecha de siembra/ momento y método de secado, nutrición y otras variables que pueden afectar el uso de esta herramienta que son los cultivos invernales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aita C; SJ Giacomini. 2003. Descomposicao e liberacao de nitrogenio de residuos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. R Bras. Ci. Solo. 27: 601–612.
- Álvarez C; M Barraco; M Díaz-Zorita; C Scianca; C Pecorari. 2005. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. Boletín de divulgación técnica N° 87.
- Álvarez C; C Scianca; M Barraco; M Díaz-Zorita. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta –Jujuy. Pág. 424.
- Álvarez C; C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. INTA EEA General Villegas. Día de campo. Jornada Profesional Agrícola. CD
- Álvarez C; A Uriens; R Bagnato; CP Lienhard; M Diaz-Zorita. 2014. Dinámica de agua en barbechos y cultivos de cobertura en la región semiárida. Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.CD
- AAPRESID. 2012. Argentina tiene casi el 80% de su agricultura en SD. Junio 17, 2012. <http://www.diazdecampo.com/?p=18649>. (Fecha verificación: 06/07/2015).
- Andrade FH. 2020. Impacto ambiental de la agricultura. En: FH Andrade (Ed.). Los desafíos de la agricultura global. 1a Ed. ampliada Pp. 39 – 64. Buenos Aires, Ediciones INTA.
- Andreucci A; MB Conde; P Bollatti; R Díaz; B Masiero; E Arce. 2016. Análisis del régimen de precipitaciones y nivel freático en la EEA INTA Marcos Juárez. Período 1948-2015. Actualización publicación técnica. N° 1 1980. Las lluvias en Marcos Juárez (Prov. de Córdoba) Régimen pluviométrico–Período 1948-1977. Ediciones INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Informe digital, PDF. (<https://inta.gob.ar/documentos/analisis-del-regimen-de-precipitaciones-y-nivel-freatico-en-la-eea-inta-marcos-juarez-periodo-1948-2015>).
- Argenbio. 2017. Cultivos aprobados y adopción. Disponible en: <http://www.argenbio.org/index.php?action=cultivosyopt=5> (Fecha verificación: 25/10/2018).

- Ashford DL; DW Reeves. 2003. Use of a mechanical roller–crimper as an alternative kill method for cover crops. *Am. J. Altern. Agric.* 18: 37–45.
- Baigorria T; C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS. Rosario 2010.
- Baigorria T; DT Gómez; CR Cazorla; AV Lardone; M Bojanich; B Aimetta; A Canale. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Informe de actualización técnica de maíz. EEA Marcos Juárez. N°. 19. Junio 2011.
- Baigorria T; C Cazorla; D Santos Sbuscio; V Pegoraro; J Ortiz. 2012. Evaluación de especies como cultivos de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. Jornada de actualización de Maíz 2012, EEA INTA Marcos Juárez.
- Basanta M; C Álvarez; JP Giubergia; E Lovera. 2012. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En: C Álvarez; A Quiroga; S Diego; M Bodrero (Eds). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. 1a Ed. Pp. 50–57. La Pampa, Ediciones INTA.
- Barraco M; C Scianca; A Lardone; C Álvarez; M Díaz Zorita. 2012. Cereales de invierno como cultivos de cobertura en secuencias continuas de soja. INTA. EEA Villegas. Memoria técnica 2011-2012. pp. 48–53.
- Benbrook CM. 2005. Rust, resistance, run down soils, and rising costs – Problems facing soybean producers in Argentina. *AgBioTechInfoNet*, Artículo técnico n° 8.
- Bennie A; M Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241: 124–139.
- Bertolla AM; T Baigorria; DT Gómez; CR Cazorla; M Cagliero; A Lardone; M Bojanich; B Aimetta. 2012. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. En: C Alvarez; A Quiroga; S Diego; M Bodrero (Eds). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. 1a Ed. Pp. 138 – 147. La Pampa, Ediciones INTA.
- Bianchi D; S Felgueras; F Pantuso; A Boyadjian; E Sarlinga. 2013. Evaluación de cultivares de triticale (x Triticosecale wittmack) forrajeros. *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias*. Universidad de Morón. Vol. IV, N° 7, p. 27–38.
- Blackshaw RE; LJ Molnar; HH Janzen. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. *Weed Sci.* 52: 614–622.

- Blanco-Canqui H; TM Shaver; JL Lindquist; CA Shapiro; RW Elmore; CA Francis; GW Hergert. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agron. J.* 107(6): 2449–2474.
- Bremner J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Evans D; J White; L Ensminger; F Clark (eds.). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp. 1179–1237.
- Brookes G; P Barfoot. 2017. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996–2015: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops y Food*, 8: 117–147.
- Burgos NR; RE Talbert. 1996. Weed control and sweet corn (*Zea mays* var. *rugosa*) response in a no-till system with cover crops. *Weed Sci.* 44: 355–361.
- Cagliero M. 2011. Evaluación de la producción de biomasa aérea en distintos cultivos de cobertura con diferentes densidades de siembra. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Villa María, Mayo de 2011, 45 pp.
- Capurro J; J Surjack; J Andriani; MJ Dickie; MC González. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, pp. 224.
- Capurro J; MJ Dickie; D Ninfi; A Zazzarini; E Tosi; MC Gonzalez. 2012. Gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura para soja. EEA INTA Oliveros. Para mejorar la producción, no. 47. Julio 2012).
- Carfagno PF; MJ Eiza; A Quiroga; F Babinec; C Chagas; R Michelena. 2013. Agua disponible en monocultivos de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Ciencia del suelo.* 31: 67–81.
- Caviglia OP; RJM Melchiori; MC Sasal; NV Van Opstal; VC Gregorutti; M Wilson; N Indelangelo. 2007. Producción de materia seca, balance hídrico y porosidad edáfica en cultivos de cobertura antecesores de la soja de primera. *Actualización Técnica - Cultivos de Invierno. Serie Extensión* n° 42. Mayo 2007.
- Cazorla C; A Lardone; M Bojanich; B Aimetta; D Vilches; T Baigorria. 2013. Antecesores de maíz: barbecho o cultivos de cobertura. En: *Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (Eds. Álvarez C., Quiroga A, Santos D. y M. Bodrero). pp. 181–185.
- Cayci G; LK Heng; HS Ozturk; D Surek; C Kutuk; M Saglam. 2009. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. *Soil Till Res.* 103: 65–72.

- Chauhan BS; J Opeña. 2013. Implications of plant geometry and weed control options in designing a low-seeding seed-drill for dry-seeded rice systems. *Field Crops Res.* 144: 225–231.
- Clark AJ; AM Decker; JJ Meisinger; FR Mulford; MS McIntosh. 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agron. J.* 87: 579–585.
- Clark AJ., AM. Decker, JJ Meisinger, FR Mulford; MS McIntosh. 1997. Kill date of vetch, rye, and a vetch–rye mixture: II. Soil moisture and corn yield. *Agron. J.* 89: 434–441.
- Clark AJ; JJ Meisinger; AM Decker; FR Mulford. 2007. Effects of grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on corn grain yield and soil moisture. *Agron. J.* 99: 43–48.
- Coll L; OP Caviglia; NV Van Opstal. 2011. Rendimiento de soja de segunda sobre diferentes antecesores invernales. Actualización técnica soja. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Extensión N° 62. septiembre de 2011.
- Cordone G; O Hansen. 1986. Los abonos verdes y el efecto sobre el rendimiento. Carpeta de Maíz. EERA INTA-Pergamino. CVP N° 77.
- Cornelius CD; KW Bradley. 2017. Influence of various cover crop species on winter and summer annual weed emergence in soybean. *Weed Technol.* 31: 503–513.
- Creamer NG; MA Bennett; BR Stinner; J Cardina; EE Regnier. 1996. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *Hortscience* 31: 410–413.
- Creamer NG; SM Dabney. 2002. Killing cover crops mechanically: review of recent literature and assessment of new research results. *Am. J. Altern. Agric.* 17: 32–40.
- Curran WS; MR Ryan; SB Mirsky. 2010. Cover crop rollers for Northeastern grain production. *Proc. USDA-ARS.* <http://extension.psu.edu/pests/weeds/cover-crop-rollers-for-northeastern-grain-production> (Fecha verificación: 06/07/2015).
- Damrosch B. 1998. *The garden primer.* Workman Publishing: New York. 673 p.
- Davis A. 2010. Cover-Crop Roller–Crimper Contributes to Weed Management in No-Till Soybean. *Weed Sci.* 58: 300–309.
- Dean J; Weil, R. 2009. Brassica Cover Crops for N Retention in the Mid-Atlantic Coastal Plain. *J Environ Qual* 38: 520–528.
- Derpsch R; CH Roth; N Sidiras; U Kopke. 1991. Controle da erosão no Paraná, Brazil: Sistemas de cobertura do solo, plantio directo e prepare conservacionista do solo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, SP 245, Germany.

- Ding G; X Liu; S Herbert; J Novak; A Dula; Xing B. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*. 130: 229–239.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada; CW Robledo InfoStat Versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Donaire G; C Bainotti; F Reartes; J Salines; J Frascina; E Alberione; G Dionisio; N Salines; B Conde. 2019. Comportamiento productivo de cereales de invierno para doble propósito en la EEA Marcos Juárez. Campaña agrícola 2018. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. Trigo Actualización 2019. Informe de actualización técnica N° 13. Abril de 2019.
- Ebelhar SA; W Frye; R Blevins. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agronomy J*. 76: 51–55.
- Faccini D; L Nisensohn; E Puricelli; D Tuesca; L Allieri. 2008. Malezas frecuentes en los agroecosistemas de la región sojera núcleo. Parte I. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR. y Dow AgroSciences. Pp. 42–43.
- Fernández R; D Funaro; A Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. En Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana. Boletín de divulgación técnica 87. EEA INTA Anguil. pp. 25–31.
- Fernández R; N Peinemann; E Noellemeyer; A Quiroga. 2006. Efecto de la cobertura sobre la resistencia y la temperatura del suelo en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Jujuy
- Fernández R; A Quiroga; F Arenas; C Antonini; M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. Cap 5.
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer; D Funaro; J Montoya; B Hitzmann; N Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management*. 95: 1028–1040.
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*. 30(2):137–150.

- Fisk J; O Hesterman; A Shrestha; J Kells; R Harwood; J Squire; C Sheaffe. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn Agronomy Journal 93:319–325.
- Folorunso OA; DE Rolston; T Prichard ; DT Louie. 1992. Cover crop lower soil surface strength, may improve soil permeability. California Agriculture, 46. (6): 26–27.
- Galantini J. A. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: JA Galantini (ed) Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina, pp.19–39.
- Giunta F; R Motzo. 2005. Grain yield, dry matter, and nitrogen accumulation in the grains of durum wheat and spring triticale cultivars grown in a Mediterranean environment. Aust. J. Agric. Res. 56: 25–32.
- Giunta F; G Pruneddu; R Motzo. 2009. Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species. Field Crop. Res., 110:76–84.
- Henson JF; LS Jordan. 1982. Wild oat (*Avena fatua*) competition with wheat (*Triticum aestivum* and *T. turgidum durum*) for nitrate. Weed Sci.30:297–300.
- Huang M; M Shao; L Zhang; Y Li. 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. Soil Till. Res. 72: 95–104.
- INTA. 1978. Secretaria de Agricultura y Ganadería de la Nación. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez.
- Isik D; E Kaya; M Ngouajio; H Mennan. 2009. Weed suppression in organic pepper (*Capsicum annuum* L.) with winter cover crops. Crop Prot. 28:356–363.
- Jha P; V Kumar; RK Godara; BS Chauman. 2016. Weed management using crop competition in the United States: A review. Crop Protection. 95: 31–37.
- Keeley PE; CH Carter; RJ Thullen. (1987). Influence of planting date on growth of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Watson). Weed Sci. 35:199-204
- Kovach J; C Petzoldt; J Degni; J Tette. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. N.Y. Food Life Sci. Bull. 139: 139–146.
- Lamego FP; TE Kaspary; Q Ruchel; M Gallon; CJ Basso; AL Santi. 2013. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pre-semeadura da soja. Planta Daninha 31: 433–442.
- Lampurlanes J; P Angás; C Cantero-Martinez. 2002. Tillage effects on water storage fallow and on barley root growth and yield in two contrasting soil of the semi-arid Segarra region Sapin. Soil Till. Res. 65: 207–220.

- Lardone AV; M Barraco; C Scianca; C Álvarez; M Díaz-Zorita. 2012. Cultivos de cobertura en sistemas con soja bajo siembra directa. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de abril de 2012 (CD-ROM).
- Leavitt MJ; CC Sheaffer; DL Wyse. 2011. Rolled winter rye and hairy vetch cover crops lower weed density but reduce vegetable yields in no-tillage organic production. *HortSci* 46: 387–395.
- Liebman M; AS Davis. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Res.* 40: 27–47.
- López-Castañeda C; RA Richards. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Res.* 37: 51–62.
- Lopez M; J Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil & Till. Res.* 44: 35-54.
- Lu YC; KB Watkins; JR Teasdale; AA Abdul-Baki. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Rev. Int.* 16: 121–157.
- Massinga RA; RS Currie; MJ Horak; J Boyer. 2001. Interference of Palmer amaranth in corn. *Weed Sci.* 49:202-208
- MAGyP. 2021. Sistema integrado de información agropecuaria (SIIA). Estimaciones Agrícolas de la Provincia de Córdoba. Campañas 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020. <https://datos.agroindustria.gov.ar/dataset/estimaciones-agricolas> (Fecha verificación: 04/05/2021).
- Marzetti M; A Coppiolo; M Bertolotto. 2017. Impacto ambiental de las malezas resistentes y tolerantes. Rem. AAPRESID. On line. Internet. Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/rem/> [consultado: Junio 2017]
- Meisinger J; W Hargrove; R Mikkelsen; J Williams; V Benson. 1991. Effects of cover crops on groundwater quality, p. 57–68. In: W.L. Hargrove (ed.). *Cover crops for clean water*. Proc. Intl. Conf., Jackson, Tenn., 9–11 Apr. 1991. Soil and Water Conservation Soc., Ankeny, Iowa.
- Miranda W; C Scianca; M Barraco; C Álvarez; A Lardone. 2012. Cultivos de cobertura: dinámica del agua luego de dos momentos de secado. XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

- Mirsky SB; WS Curran; DA Mortensen; MR Ryan; DL Shumway. 2009. Control of cereal rye with a roller/crimper as influenced by cover crop phenology. *Agron J.* 101:1589–1596.
- Mirsky SB; WS Curran; DA Mortensen; MR Ryan; DL Shumway. 2011. Timing of cover-crop management effects on weed suppression in no-till planted soybean using a roller-crimper. *Weed Sci.* 59: 380–389.
- Mirsky SB; MR Ryan; JR Teasdale; WS Curran; CS Reberg-Horton; JT Spargo; MS Wells, CL Keene; JW Moyer. 2013. Overcoming weed management challenges in cover crop-based organic rotational no-till soybean production in the Eastern United States. *Weed Technol.* 27: 193–203.
- Mischler RA; SW Duiker; WS Curran; D Wilson. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. *Agron. J.* 102: 355–362.
- Mohler CL; JR Teasdale. 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. *Weed Res.* 33: 487–499.
- Morse RD. 2001. No-herbicide, no-till summer broccoli-quantity of rye and hairy vetch mulch on weed suppression and crop yield. J H Stiegler (ed.). *Proceedings of the 24th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. Pp. 85–94. Oklahoma City, OK.
- Neal J; W Fulkerson; R Hacker. 2011. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Aust. Agricultural Water Management* 98. pp. 759–774.
- Ngouajio M; H Mennan. 2005. Weed populations and pickling cucumber (*Cucumis sativus*) yield under summer and winter cover crop systems. *Crop Prot.* 24: 521–526.
- Norsworthy JK; SM Ward; DR Shaw; RS Llewellyn; RL Nichols; TM Webster; KW Bradley; G Frisvold; SB Powles; NR Burgos; WW Witt; M Barrett. 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Sci.* 60, 31–62.
- Palhano MG; JK Norsworthy; T Barber. 2018. Cover Crops Suppression of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Cotton, *Weed Technology* 32(1), 60–65. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.97>
- Peltzer HF. 1999. Barbecho químico y siembra directa de soja. *Resúmen de Trabajos y Conferencias, Merco-soja 9*. Rosario, Argentina del 21 al 25 de junio.

- Portela SI; SB Restovich; HM Gonzáles; MJ Torti. 2016. Reducción del drenaje profundo y la lixiviación de nitrógeno en rotaciones agrícolas con cultivos de cobertura. *Ecología Austral* 26: 212–220.
- Price AJ; CD Monks; AS Culpepper; LM Duzy; JA Kelton; MW Marshall; LS Steckel; LM Sosnoskie; R Nichols. 2016. High residue cover crops alone or with strategic tillage to manage glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in southeastern cotton (*Gossypium hirsutum*). *J Soil Water Conserv.* 71: 1–11.
- Price AJ; KS Balkcom; LM Duzy; JA Kelton. 2012. Herbicide and cover crop residue integration for *Amaranthus* control in conservation agriculture cotton and implications for resistance management. *Weed Technol.* 26: 490–498.
- Principiano MA; H Acciaresi. 2018. Diversidad e intensidad de secuencias de cultivos: efecto ambiental y económico del control químico de malezas. *Revista de Tecnología Agropecuaria. EEA INTA Pergamino.* Agosto 2018. Vol 10 / N°37.
- Pittman KB; JN Barney; ML Flessner. 2019. Horseweed (*Conyza canadensis*) suppression from cover crop mixtures and fall-applied residual herbicides. *Weed Technol.* doi: 10.1017/wet.2018.111
- Quiroga A; O Ormeño; A Bono; N Rodríguez; J Montoya; F Babinec. 1999. Aspectos del manejo de suelo y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. *Bol. Tec.* N° 63 EEA Anguil.
- Quiroga AR; DO Funaro; R Fernández; EJ Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. En *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 23(1), 79–86.
- Quiroga A; P Carfagno; MJ Eiza; R Michelena. 2007. Inclusión de Cultivos de Cobertura bajo Agricultura de Secano en la Región Semiárida Pampeana Jornadas de Cultivos de Cobertura – 28 y 29 de Septiembre de 2007 General Villegas y General Pico.
- Quiroga A; M Saks; N Kloster; R Fernandez; I Frasier. 2019. Caracterización de ambientes para el cultivo de girasol en función del indicador IMO y de los niveles de Fósforo. Taller Pre Congreso ASAGIR. Balcarce 21 de marzo 2019. Resumen y disertación oral.
- Rainero HP. 2008. Problemática del manejo de malezas en sistemas productivos actuales. *Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi. Boletín de Divulgación Técnica* N° 3. Abril 2008.

- Rampo M; M Barraco; P Girón; W Miranda; M Lobos. 2018. Evaluación de especies de cultivos de cobertura en suelos post anegamiento. Memoria Técnica 2017–2018. EEA INTA General Villegas.
- Ranells NH; MG Wagger. 1996. Nitrogen release from grassland legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88: 777–782.
- Reddy KN. 2003. Impact of Rye Cover Crop and Herbicides on Weeds, Yield, and Net Return in Narrow-Row Transgenic and Conventional Soybean (*Glycine max*). *Weed Technol.* 17: 28–35.
- Renzi JP. 2008. Cobertura y producción de biomasa de cultivares y poblaciones de *Vicia* spp. *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 411–412.
- Restovich SB; AE Andriulo; SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128:62-70. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.012.
- Reeves DW; AJ Price; MG Patterson. 2005. Evaluation of three winter cereals for weed control in conservation-tillage nontransgenic cotton. *Weed Technol.* 19: 731–736.
- Rillo S; A Álvarez; R Bagnato; E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. En: C Alvarez; A Quiroga; S Diego; M Bodrero (Eds). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. 1a Ed. Pp. 58 – 68. La Pampa, Ediciones INTA.
- Rimsky-Korsakov E; G Rubio; R Lavado. 2004. Potential Nitrate Losses under Different Agricultural Practices in the Pampas Region, Argentina. *Agricultural Water Management* 65: 83–94.
- Ruffo ML. 2003: Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso de AAPRESID*: 171–176.
- Ruffo ML; DG Bullock; GA Bollero. 2004. Soybean yield as affected by biomass and nitrogen uptake of cereal rye in winter cover crop rotations. *Agron. J.* 96: 800–805.
- Scianca C; C Álvarez; M Barraco; M Pérez; A Quiroga. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Pp. 370. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. Argentina.
- Scianca C; M Barraco; C Álvarez. 2009. Estrategias de manejo de centeno utilizado como cultivo de cobertura en un Argiudol Típico del noroeste bonaerense. En: INTA. EEA Villegas. *Memoria técnica 2007-2008*. pp. 25–28.

- Scianca C. 2010. Cultivos de cobertura en molisoles de la región pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis Magíster en Agronomía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Scianca C; M Barraco; M Pérez; W Miranda; A Lardone; C Justo. 2012. Cultivos de cobertura y maíz tardío en sistemas de producción orgánica. Memoria Técnica 2011-2012 INTA EEA General Villegas.
- Schramski JA; CL Sprague; KA Renner. 2020. Integrating fall-planted cereal cover crops and preplant herbicides for glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) management in soybean. *Weed Technol.* 35: 234–241.
- Smith AN; SC Reberg-Horton; GT Place; AD Meijer; C Arellano; JP Mueller. 2011. Rolled Rye Mulch for Weed Suppression in Organic No-Tillage Soybeans. *Weed Sci.* 59: 224–231.
- Stewart CL; RE Nurse; LL Van Eerd; RJ Vyn; PH Sikkema. 2011. Weed control, environmental impact, and economics of weed management strategies in glyphosate-resistant soybean. *Weed Technol.* 25: 535–541.
- Strock J; P Porter; M Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. En: *Journal of Environmental Quality* 33, pp. 1010-1016.
- Sutton BG; EA Dubbelde. 1980. Effects of water deficit on yield of wheat and triticale. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20: 594–598.
- Swanton CJ; R Nkoa; RE Blackshaw. 2015. Experimental methods for crop weed competition studies. *Weed Sci.* 63 (sp1), 2 – 11.
- Tanaka DL; JM Krupinsky; MA Liebig; SD Merrill; RE Ries; JR Hendrickson; HA Johnson; JD Hanson. 2002. Dynamic cropping systems: An adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94: 957–961.
- Teasdale JR; CL Mohler. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85: 673–680.
- Teasdale JR; CL Mohler. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48: 385–392.
- Teasdale JR. 2003. Principles and practices of using cover crops in weed management systems. In: *Weed management for developing countries (Addendum 1)*, Vol. 1 (ed. R. Labrada), pp. 169–178. FAO, Rome.

- Teasdale JR; TE Devine; JA Mosjidis; RR Bellinder; CE Beste. 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. *Agronomy Journal* 96: 1266–1271.
- Teasdale JR; P Pillai; RT Collins. 2005. Synergism between cover crop residue and herbicide activity on emergence and early growth of weeds. *Weed Sci.* 53: 521–527.
- Timper P; RF Davis; TM Webster; TB Brenneman; SLF Meyer; IA Zasada; CP Rice. 2011. Response of Root-Knot Nematodes and Palmer Amaranth to Tillage and Rye Green Manure. *Agronomy Journal*, 103(3), 813. doi:10.2134/agronj2010.0386
- Tungate KD; MG Burton; DJ Susko; SM Sermons; TW Rufty. 2006. Altered weed reproduction and maternal effects under low-nitrogen fertility. *Weed Sci.* 54: 847–853.
- Tonitto C; M David; L Drinkwater. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture Ecosystems & Environment.* 112: 58–72.
- Unger P; M Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Soil and Water Cons.* 53: 200–207.
- Utomo M; W Frye; R Blevins. 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agronomy Journal*, 82: 979–983.
- Vanzolini JI; J Galantini; R Agamennoni. 2012. Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado. En: C Álvarez; A Quiroga; S Diego y M Bodrero (Eds). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción.* 1a Ed. Pp. 21 – 28. La Pampa, Ediciones INTA.
- Varela MF; C Scianca; MA Taboada; G Rubio. 2012. Cultivos de cobertura: descomposición de residuos y ciclado de fósforo. En: *Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de abril de 2012 (CD-ROM).
- Vencill WK; RL Nichols; TM Webster; JK Soteres; C Mallory-Smith; NR Burgos; WG Johnson; MR McClelland. 2012. Herbicide resistance: toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide resistant crops. *Weed Sci.* 60 (sp1), 2–30.
- Waggar MG. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.* 81: 236–241.
- Wallace JM; A Williams; JA Liebert; JJ Ackroyd; RA Vann; WS Curran; CL Keene; MJ Van Gessel; MR Ryan; SB Mirsky. 2017. Cover crop-based, organic rotational no-till

corn and soybean production systems in the mid-Atlantic United States. *Agriculture* 2017, 7, 34.

Weinert TL; WL Pan; MR Moneymaker; GS Santo; RG Stevens. 2002. Nitrogen recycling by nonleguminous winter cover crops to reduce leaching in potato rotations. *Agron. J.*, 94 (2002), pp. 365–372

Wiggins M; R Hayes; L Steckel. 2016. Evaluating Cover Crops and Herbicides for Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Control in Cotton. *Weed Technology*, 30(2), 415-422. doi:10.1614/WT-D-15-00113.1

Williams MM; DA Mortensen; JW Doran. 1998. Assessment of weed and crop fitness in cover-crop residues for integrated weed management. *Weed Sci.* 46: 595–603.

Zadoks JC; TT Chang; CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals *Weed Res.*, 14: 415–421.

8. ANEXOS

Tabla 1. Agua útil (mm) hasta 60 cm de profundidad desde el inicio del experimento hasta la cosecha de la soja en barbecho (B), CH (centeno secado con herbicida), CR (centeno secado con rolo), TH (triticale secado con herbicida), TR (triticale secado con rolo), VH (vicia secada con herbicida) y VR (vicia secada con herbicida), promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Tratamiento	Momento	Media	D.E.
	Inicio	80,75	0
B	S	76,42	3,46
B	SSj	80	4,36
B	SjR8	69,84	4,91
CH	S	41,3	12,92
CH	SSj	92,81	3,42
CH	SjR8	84,5	11,47
CR	S	40,4	12,76
CR	SSj	92,63	4,97
CR	SjR8	84,34	15,55
TH	S	59,98	13,4
TH	SSj	100,95	5,91
TH	SjR8	82,97	0,9
TR	S	52,32	5,08
TR	SSj	99,23	8,9
TR	SjR8	80,01	2,6
VH	S	41,74	8,93
VH	SSj	94,02	6,14
VH	SjR8	70,34	9,52
VR	S	51,89	2,48
VR	SSj	94,83	6,41
VR	SjR8	68,88	6,78

Tabla 2. Agua útil (mm) hasta 150 cm de profundidad desde el inicio del experimento hasta la cosecha de la soja en barbecho (B), CH (centeno secado con herbicida), CR (centeno secado con rolo), TH (triticale secado con herbicida), TR (triticale secado con rolo), VH (vicia secada con herbicida) y VR (vicia secada con herbicida), promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Tratamiento	Momento	Media	D.E.
	Inicio	282,96	0
B	S	265,03	15,13
B	SSj	279,73	25,34
B	SjR8	313,47	12,1
CH	S	239,87	24,54
CH	SSj	293,3	22,45
CH	SjR8	317,13	15,71
CR	S	239,03	22,76
CR	SSj	293,2	20,9
CR	SjR8	316,97	19,41
TH	S	239,57	8,46
TH	SSj	288,07	17,02
TH	SjR8	302,87	37,84
TR	S	234,7	15,56
TR	SSj	286,3	16,5
TR	SjR8	302,87	37,84
VH	S	215,57	27,32
VH	SSj	263,1	32,14
VH	SjR8	287,68	30,65
VR	S	207,7	15,48
VR	SSj	262,1	31,7
VR	SjR8	286,63	29,69

Tabla 3. Rendimiento del cultivo de soja (kg ha^{-1}) para los tratamientos triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH) y barbecho (B) en las tres campañas evaluadas, promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Campaña	Tratamiento	Media	D.E.
2012/2013	B	3405,5	151,5
2012/2013	TH	3404,6	411,2
2012/2013	TR	3257,6	265,3
2013/2014	B	4281,7	200,4
2013/2014	TH	3988,0	97,9
2013/2014	TR	3885,1	287,2
2014/2015	B	3805,1	559,0
2014/2015	TH	3000,3	682,8
2014/2015	TR	3813,6	458,4

Tabla 4. Rendimiento del cultivo de soja (kg ha^{-1}) para los tratamientos centeno secado con herbicida (CH), centeno secado con rolo (CR), centeno secado con herbicida más un herbicida residual (CHM), triticale secado con rolo (TR), triticale secado con herbicida (TH), triticale secado con herbicida más un herbicida residual (THM), vicia secada con rolo (VR), vicia secada con herbicida (VH), vicia secada con herbicida más un herbicida residual (VHM), barbecho con glifosato (BH) y barbecho con herbicidas residuales (BHM), promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Tratamiento	Media	D.E.
CH	4047,6	311,4
CR	4082,9	337,7
CHM	4447,3	275,9
TH	3000,3	682,8
TR	3813,6	458,4
THM	3918,6	223,8
VH	3620,7	164,2
VR	3444,5	181,8
VHM	3251,5	601,4
BH	3805,1	559,0
BHM	3534,3	939,3



Figura 1: Rolado de centeno.



Figura 2: Rolado de triticale.



Figura 3: Rolado de vicia.



Figura 4: Barbecho con distribución de rastrojo desuniforme, detrás centeno secado con herbicida.