



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

TÍTULO

**Cultivos de servicio, su impacto sobre los sistemas
agrícolas y el efecto sobre los indicadores de
calidad edáfica**

**Trabajo final de graduación para optar por el título
de:
Ingeniero Agrónomo**

Autor: Constancio Coppari

Tutor: Ingeniero agrónomo Carlos Bonigo

Tabla de contenido	
Objetivos.....	4
Introducción	5
Bacterias.....	8
Actinomicetos	8
Hongos	8
Protozoarios.....	9
Nematodos.....	9
Algas	10
Procesos químicos, físicos y biológicos de los plaguicidas en el ambiente	10
Comportamiento de los herbicidas en el suelo	11
Proceso de degradación de plaguicidas en el suelo.....	11
Tipos de agroquímicos y su degradación	13
Estructura química del glifosato.....	13
Desarrollo	15
Primer Punto.....	15
Motivos para realizar cultivos de servicio.....	15
Distribución de cultivos de servicio por provincia y especies más utilizadas en cada una.....	17
Beneficios de los cultivos de servicio	17
Inconvenientes de los cultivos de servicio	19
Segundo Punto.....	20
Especies utilizadas como cultivos de servicio	20
Vicia villosa.....	22
Centeno.....	24
Siembra	26
Características de diferentes especies usadas como cultivos de servicio...	27
Finalización de los cultivos de servicio.....	27
Secado químico	28
Secado mecánico	28
Esquema teórico de acciones en barbecho químico tradicional vs con cultivo de servicio	30
Tercer punto.....	30
Análisis de casos	30
Lote MF-3	33
Lote SR-3/4	34

Lote SR-1	36
Comparación de imagen de vegetación en campaña 23/24.....	38
Estructura de costos de lote de barbecho tradicional y lote con cultivo de servicio	41
Margen bruto	43
Conclusión	46
Bibliografía	47

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Comportamiento de los herbicidas en el suelo.....	11
Ilustración 2. Estructura química del glifosato	13
Ilustración 3. Vía de la sarcosina	14
Ilustración 4. Vía del ácido metilfosfónico	14
Ilustración 5. Proporción de productores que adopta CS	16
Ilustración 6. Superficie con cultivos de servicio	16
Ilustración 7. Distribución por provincia y especies más utilizadas.....	17
Ilustración 8. Valores EIQ en distintos manejos	19
Ilustración 9. Curva de acumulación de MS y relación con el secado y remanente	21
Ilustración 10. Rendimiento en base a dosis de N	23
Ilustración 11. Curvas de indicadores	25
Ilustración 12. Curva de rendimiento de centeno	25
Ilustración 13. Características de especies como cultivos de servicio.....	27
Ilustración 14. Ciclo fenológico de Vicia.....	29
Ilustración 15. Distribución de acciones.....	30
Ilustración 16. Ubicación del establecimiento.....	31
Ilustración 17. Ubicación de lotes	31
Ilustración 18. Rotaciones.....	32
Ilustración 19: Mapa de rendimiento	34
Ilustración 20. Mapa de rendimiento	36
Ilustración 21. Mapa de rendimiento	38
Ilustración 22. Índices de vegetación	39
Ilustración 23. Índices de vegetación	39
Ilustración 24. Mapas de rendimiento	40
Ilustración 25. Mapa de rendimiento	41

Tablas

Tabla 1: Distribución de los microorganismos en los horizontes del suelo	8
Tabla 2: Diferencia de cultivares de vicia.....	22
Tabla 3: Evolución de indicadores de centeno.....	25
Tabla 5: Precipitaciones	32
Tabla 6: Actividades en campaña 22/23	33
Tabla 7: MB Lote SR-1	44
Tabla 8: MB Lote SR-3/4	45
Tabla 9: Diferencias.....	46

Resumen

En el presente trabajo se evaluaron los beneficios de la implementación de cultivos de servicio sobre los sistemas agrícolas y las propiedades edáficas del suelo, haciendo énfasis en las especies de centeno y vicia villosa. Los cultivos de servicio son especies sembradas durante el período de barbecho entre dos cultivos de renta estivales que vienen aumentando su superficie con el paso de los años, que no van a ser cosechadas ni pastoreadas y quedan sobre la superficie del suelo brindando mejoras a las propiedades de los suelos.

Como introducción, se realizó una revisión de conceptos relacionados al suelo, los microorganismos de este y la degradación de agroquímicos, que permiten comprender la importancia de la microbiología en el suelo y los procesos que ocurren en él con los agroquímicos.

Luego, se describió los motivos por los cuales se debe realizar cultivos de servicio, sus beneficios y limitantes y como es el proceso para llevar adelante una correcta implementación de estos en un establecimiento productivo, repasando las especies a utilizar, la siembra y la finalización. Por último, se analizó un caso de un establecimiento en el sudeste cordobés con su manejo, sus costos frente a un lote con barbecho químico tradicional y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de renta (soja) y sobre el cultivo de la campaña posterior, que en este caso fue trigo. Se hizo un enfoque especial sobre los cultivos de centeno y vicia villosa, que son las dos principales especies utilizadas como cultivos de servicio y a su vez, ambas especies fueron implantadas en el establecimiento analizado.

A partir de lo realizado en el establecimiento, el rendimiento en uno de los lotes con cultivos de servicio fue mayor con respecto al lote analizado con barbecho tradicional, pero, por otro lado, los costos directos fijos fueron mayores cuando se incorporaron cultivos de servicio, generando un margen bruto de 50 u\$s/ha mayor en el manejo con barbecho tradicional, aunque sin incorporar los beneficios de la inclusión de los cultivos de servicio en la rotación.

Palabras clave: cultivos de servicio- suelo- centeno- vicia villosa- microorganismos- agroquímicos.

Objetivos

Objetivo general del trabajo:

Evaluar beneficios de la implementación de cultivos de servicio, en especial vicia villosa y centeno, en rotaciones agrícolas tradicionales en región pampeana.

Objetivos específicos del trabajo:

- Explicar las ventajas y limitantes que tienen los cultivos de servicio y como es la correcta forma en que se deben realizar.

- Analizar un establecimiento en el sudeste cordobés donde se realizan cultivos de servicio, sus costos frente a barbechos tradicionales y efecto en el rendimiento del cultivo de renta.
- Como impactan los cultivos de servicio y la microbiología del suelo en la degradación de agroquímicos y como contribuyen a mejorar propiedades de los suelos.

Introducción

Con la introducción de la siembra directa, los cultivos transgénicos y el aumento en el uso de agroquímicos, los manejos productivos en la Región Pampeana han tendido hacia la agricultura continua o ciclos agrícolas más prolongados, generando cambios en el ecosistema, como por ejemplo disminución de materia orgánica en los suelos y resistencia de malezas frente a herbicidas (Ruffo, 2004).

En la región pampeana la producción agrícola está caracterizada por una baja eficiencia en el uso de los recursos como agua, radiación solar y nutrientes, falta de reposición de los nutrientes extraídos por los cultivos, gran uso de agroquímicos, bajo retorno de cosecha al suelo y poco progreso en los rendimientos con el paso de los años (Caviglia, 2020).

Ante este panorama de intensificación agrícola donde la soja se ha convertido en el cultivo más importante de la región, la implementación de cultivos de servicio posterior al período de cosecha de un cultivo durante el otoño y anterior a la siembra del cultivo siguiente en la primavera contribuye a generar un sistema productivo que trata de acercarse a niveles de sostenibilidad en el que se buscan aumentar los rendimientos y preservar el recurso suelo (Ruffo, 2004).

El efecto de los cultivos de servicio no se lo piensa necesariamente sobre el cultivo de renta siguiente, sino que, en buena medida en los efectos positivos sobre las propiedades del suelo a lo largo del tiempo, que es el activo más importante con el que cuenta cada establecimiento y es vital evitar que se degrade para poder seguir siendo productivos y competitivos (Ruffo, 2004).

A diferencia de los cultivos que van a cosecha, en los cultivos de servicio la totalidad de la biomasa aérea queda en la superficie contribuyendo a la reducción de la erosión hídrica y eólica, atenuando la temperatura del suelo, haciendo control de malezas, aportando de nutrientes, disminuyendo el escurrimiento superficial. Por otro lado, la biomasa de raíces impacta de manera positiva sobre la estructura del suelo, generando macroporosidad, disminuyendo la compactación, formando materia orgánica y generando cambios en la dinámica hídrica y la captura de nutrientes (Álvarez, 2020).

Además, pueden prestar servicio de regulación y soporte que son importantes para mantener el funcionamiento y estructura de los ecosistemas. Los de regulación a aquellos que intervienen en la regulación del agua, de la calidad del aire, del clima, de la erosión, de la polinización o de plagas y enfermedades. En cambio, los de soporte, participan en la fotosíntesis, el ciclo de nutrientes o la formación del suelo (Piñeiro, 2020).

Por eso que el primer objetivo de los cultivos de servicio es usar la energía de la fotosíntesis a mejorar la provisión de servicios ecosistémicos de regulación y soporte. Y como objetivo secundario mejorar el ciclo de la materia de los agroecosistemas (Piñeiro, 2020).

Es así, que en este trabajo se hará un análisis y evaluación de los procesos que ocurren en el suelo con los herbicidas y microorganismos principalmente, y de los beneficios de la implementación de cultivos de servicio como contribuyen a la mejora del sistema productivo.

A continuación, se va a describir los efectos de los microorganismos sobre el suelo y la degradación de agroquímicos en el suelo.

En principio, es importante definir a que nos referimos cuando se habla de suelo y se trata de la capa superior de la corteza terrestre, formada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Al ser su formación un proceso demasiado lento, se lo puede considerar como un recurso no renovable. Además, es capaz de transformar, filtrar, amortiguar y depurar sustancias que lleguen a su superficie (Aparicio y otros, 2015).

También representa el medio de vida para diversos organismos a nivel macro, como coleópteros, ácaros, larvas, colémbolos y a nivel microbiano, como pueden ser bacterias, algas, hongos, protozoarios, virus y actinomicetos (Paz Narváez, 2020).

El ecosistema suelo consta de una estructura, formada por una parte biótica y otra abiótica, y una función que permite transformar la energía y reciclar los elementos que nutren las plantas. La importancia de los microorganismos en la parte fisiológica del suelo es por las actividades metabólicas que desarrollan y por lo que contribuyen a la fertilidad del suelo. Esta afectada por factores como humedad, temperatura, pH y disponibilidad de oxígeno en los poros (Paz Narváez, 2020).

A pesar de que la biomasa microbiana del suelo comprende del 1 al 5% del carbono orgánico total del suelo y del 5 al 8% del nitrógeno total, que sea más lábil que el volumen global de la materia orgánica en el suelo es de importancia como fuente para el aporte de nutrientes a las plantas. También, interviene en la descomposición de la materia orgánica, síntesis de sustancias húmicas, etapas del ciclo del nitrógeno, mineralización de P orgánico, transformadores del S, oxidación y reducción del Fe y Mn, descomponiendo sustancias tóxicas generadas por las plantas, otros organismos o por agroquímicos (Conti, 2000).

Estos organismos intervienen en la provisión de nutrientes para las plantas, aumentar la capacidad de absorción radical, en la transformación de compuestos orgánicos a inorgánicos, la fijación de N₂ atmosférico, la descomposición de minerales primarios, la oxidación de S, la formación de asociaciones simbióticas para que las plantas capten mejor los nutrientes, la solubilización de formas inorgánicas de P y producción de moléculas con propiedades fungistáticas, bactericidas, promotoras del crecimiento (Paz Narváez, 2020).

Con la inclusión de cultivos de servicio, la presencia de raíces vivas a lo largo del tiempo es mayor y estimulan la actividad de microorganismos que son de gran importancia para la mayoría de los procesos del suelo (Restovich, 2022).

Estos grupos de microorganismos componen comunidades que persisten en su estructura esencial y en su equilibrio interno, y que cada uno desempeña una actividad específica y se localiza en distintos ambientes, proliferando en zonas próximas a la raíz que se conoce como rizósfera. Dentro de estos grupos los que más se encuentran son las bacterias, los actinomicetos y los hongos (Paz Narváez, 2020).

Los microorganismos del suelo requieren compuestos energéticos que provienen de materiales orgánicos y de las raíces de las plantas, que son obtenidos de la rizósfera que es la porción del suelo influenciada por el sistema radical, que estimula el desarrollo de microorganismos y sus actividades metabólicas y posee más diversidad y densidad microbiana que el resto del suelo. La rizósfera tiene beneficios sobre la fertilidad del suelo por el ciclaje y disponibilidad de nutrientes, la absorción por parte de las raíces, la sanidad y producción de las plantas y la capacidad del suelo para mantenerse y regenerarse. En un principio, la rizósfera obtiene a partir de la fotosíntesis, fotosintatos, que se desplazan a la zona de la raíz para procesos metabólicos. Parte de estos se liberan y son depositados en el suelo como rizodeposiciones en forma de exudados, secreciones, mucigeles, lisados y como CO₂ de la respiración radical. Las rizodeposiciones son mejoradoras del ciclaje de carbono en la rizósfera, estimulando el crecimiento radical, son fuente de alimento para la flora microbiana e intervienen positivamente en las reacciones bioquímicas (Paz Narváez, 2020).

Funciones de la rizósfera

- Fuente de alimento para organismos que interactúan con la planta y entre sí.
- Facilita la penetración y colonización de las raíces al suelo.
- Contribuye a la estructura del suelo porque es promotora de la agregación de partículas por la acción de las raíces y las hifas externas de hongos sobre el componente sólido del suelo y mediante la acción adherente de exudados radicales y secreciones bacterianas.
- Promueve la fertilidad del suelo porque posibilita que se lleven a cabo reacciones que liberan y solubilizan nutrientes como la mineralización de la materia orgánica o la nitrificación, desnitrificación y fijación biológica de nitrógeno.
- Favorece al crecimiento de las plantas por la degradación de los exudados y la producción de sustancias promotoras del crecimiento como citoquininas y el ácido giberélico e indolacético.
- Interviene en la sanidad de las plantas al mejorar la absorción de nutrientes.
- A través de la acción de microorganismos, afecta al crecimiento y funcionamiento del sistema radical.

(Paz Narváez, 2020).

Distribución de los microorganismos en los horizontes del suelo

Profundidad cm	10 ³ organismos /g				
	Bacterias aeróbicas	Bacterias anaeróbicas	Actinobacterias	Hongos	Algas
3-8	7.800	1.950	2.080	119	25
20-25	1.800	379	245	50	5
35-40	472	98	49	14	0,5
65-75	10	1	5	6	0,1
135-145	1	0,4	0	3	0

Tabla 1: Distribución de los microorganismos en los horizontes del suelo

Fuente: Manual de microbiología agrícola (Carrillo, 2013).

Bacterias

Pueden estar adheridas a la superficie de las partículas del suelo como agregados o interactuando específicamente con las raíces de las plantas. Participan en la descomposición de materiales orgánicos obteniendo energía y alimento, liberan mediante su metabolismo sustancias en el suelo como reguladores de crecimiento, enzimas, proteínas y metabolitos, aportando protección, aumento del sistema radical y aporte de nutrientes para el desarrollo y producción de la planta (Paz Narváez, 2020).

Actinomicetos

Son un grupo poco abundante que se desarrollan mejor en los últimos estados de descomposición de los compuestos orgánicos. Intervienen en la degradación de almidón, celulosa, hemicelulosa, pectina, queratina, quitina, humus y lignocelulosa. Además, pueden actuar como rizobacterias estimulando el desarrollo del simbionte y de la planta hospedadora (Paz Narváez, 2020).

Hongos

Se encuentran en menor cantidad que las bacterias y se encargan de descomponer y mineralizar los residuos orgánicos frescos o recientemente incorporados al suelo, por medio de la liberación de enzimas que degradan la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidones y lignina y liberan proteínas, reguladores del crecimiento, metabolitos y nutrientes. Existen tres grupos según el organismo del que se alimentan: saprófitos, que descomponen restos vegetales y animales para formar humus del suelo; simbióticos, que se asocian con las plantas para intercambiar nutrientes; y los parásitos que pueden causar enfermedades y hasta la muerte (Paz Narváez, 2020).

En este grupo, se destacan las micorrizas, que es una relación simbiótica mutualista, en la que la planta aporta al hongo azúcares y otros productos derivados de la fotosíntesis, mientras que el hongo posibilita a través del micelio, que es una red de hifas externas, un aumento en la absorción de agua y nutrientes como P, N, Ca, S, Zn y Cu, ya que incrementa el volumen de suelo en contacto con la raíz (Paz Narváez, 2020).

Existen dos tipos de micorrizas, ectomicorrizas y endomicorrizas.

Las ectomicorrizas es la formación de un manto de hifas alrededor de las raíces absorbentes, produciendo una modificación de la morfología de la raíz, aunque no penetran en el interior de la planta hospedadora, únicamente se desarrollan de manera intercelular (Bernardo y otros, 2020).

Por otro lado, en las endomicorrizas las hifas de los hongos crecen de manera intercelular e intracelular en la raíz de la planta, por vía apoplástica y simplástica y una vez dentro coloniza las células de la epidermis sin alcanzar la endodermis (Bernardo y otros, 2020).

Dentro de las endomicorrizas, la mayoría son micorrizas arbusculares, con las que el 70-90% de las plantas tienen en sus raíces una asociación simbiótica. La asociación que generan los hongos con las raíces vegetales produce hifas que se desarrollan en paralelo con la raíz, algunas especializadas como arbuscúlos donde se da el intercambio de nutrientes o vesículas donde se los almacena. Las micorrizas contribuyen a la fertilidad y calidad del suelo, a la salud y nutrición de las plantas, a una mayor eficiencia de absorción de nutrientes y resistencia frente a patógenos, sequía, metales pesados y temperaturas extremas (Restovich, 2022).

Los hongos micorrícicos en el suelo cumplen funciones ecológicas e intervienen en la mejora de las propiedades de los suelos, aumentando la productividad de los cultivos, regenerando comunidades vegetales degradadas y contribuyendo al equilibrio del ecosistema (Bernardo y otros, 2020)

Además, los hongos micorrícicos arbusculares favorecen a la estructura y estabilidad de los suelos, a través de la producción de glomalina, que es una glucoproteína pegajosa hidrófila, que interviene en la generación de agregados del suelo, colaborando en la adhesión de las partículas, mejorando el drenaje y la aireación, reduciendo la compactación y erosión, aumentando la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes del suelo (Bernardo y otros, 2020).

Protozoarios

Se trata de organismos unicelulares móviles más grandes que las bacterias, que se alimentan de éstas y de algas manteniendo equilibrio en su población. Tienen una actividad importante en la rizósfera, pero requieren humedad en el suelo para sobrevivir y aumenta su población con la materia orgánica (Paz Narváez, 2020).

Nematodos

Son microscópicos, pluricelulares, depredadores y parásitos de animales y plantas, que intervienen en la descomposición de la materia orgánica del suelo, los ciclos de los nutrientes, en la regulación de la fertilidad del suelo y en el control biológico de plagas e insectos. Pueden ser parásitos, que se alimentan de tejidos animales y vegetales o de vida libre (depredadores), como micófagos, bacteriófagos y polífagos (Paz Narváez, 2020).

Algas

Son organismos fotoautótrofos y en suelos ya formados son fuente de materia orgánica y se clasifican como procariotas, eucariotas, euglenas y eugleoides (Paz Narváez, 2020).

Procesos químicos, físicos y biológicos de los plaguicidas en el ambiente

El plaguicida en el suelo pasa por los procesos de retención, de transporte y de degradación (Aparicio y otros, 2015).

Cuando ingresa al suelo, se reparte en las fases sólida, líquida y gaseosa

En la fase líquida está disponible para ser transformado o degradado química, física o microbiológicamente a otros compuestos; o transportado por el agua hacia horizontes más profundos y finalmente llegar al agua subterránea. En esta fase ocurre principalmente la degradación química y microbiana (Aparicio y otros, 2015).

En la fase sólida es retenido con diferente fuerza en lugares de enlace de los coloides orgánicos (materia orgánica) e inorgánicos (arcillas) del suelo. En esta situación, los plaguicidas pueden migrar transportados por el agua, en un proceso conocido como erosión hídrica, o transportados por el aire, proceso conocido como erosión eólica (Aparicio y otros, 2015).

En la fase gaseosa es incorporado a la atmósfera cuando se volatiliza desde el suelo o desde el agua que se encuentra en el suelo (Aparicio y otros, 2015).

El destino de un herbicida en el ambiente está influenciado por los procesos de retención, transformación y transporte. Retención es el resultado de la interacción entre el herbicida y la superficie de las partículas de suelo que se conoce como adsorción y se trata de un proceso físico que no cambia la naturaleza química de la molécula. Puede que sea reversible retrasando el movimiento o irreversible impidiéndolo y modifica su disponibilidad para las plantas o microorganismos. La transformación química puede ser catalizada por los constituyentes del suelo o inducidos fotoquímicamente. En general, gran parte de los herbicidas son transformados por procesos bioquímicos mediante los microorganismos del suelo generando cambios en la molécula hacia formas más simples que pueden tener una toxicidad no necesariamente menor que la original lo que va a determinar su permanencia en el suelo. Por último, los procesos de transporte determinan el lugar donde se presentan los herbicidas, por ejemplo, la volatilización que es un proceso físico-químico en el que un herbicida es transferido a la atmósfera en estado gaseoso, escurrimiento que incluye las moléculas disueltas, suspendidas y adsorbidas al sedimento que son transportadas por el agua por la superficie, generando una pérdida de dosis en el área escurrida y contaminación y lixiviación, que ocurre cuando los herbicidas disueltos o suspendidos en la solución, atraviesan el perfil del suelo a través del agua de percolación, siendo el principal mecanismo para la contaminación del agua subterránea (Bedmar y Gianelli, 2015).

Comportamiento de los herbicidas en el suelo

En la siguiente imagen se detalla los distintos destinos que puede tener un plaguicida cuando se incorpora al ambiente.

Puede ocurrir que un herbicida se degrade por fotodescomposición, volatilizarse o ser absorbido por la hoja de la planta o el rastrojo en el suelo. En el suelo ocurre en general degradación química y microbiana y también puede ser adsorbido en los lugares de enlace de los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo. Además, puede ser lixiviado alcanzando aguas subterráneas o escurrido de manera superficial llegando hacia cursos de agua superficiales (Bedmar y Gianelli, 2015).

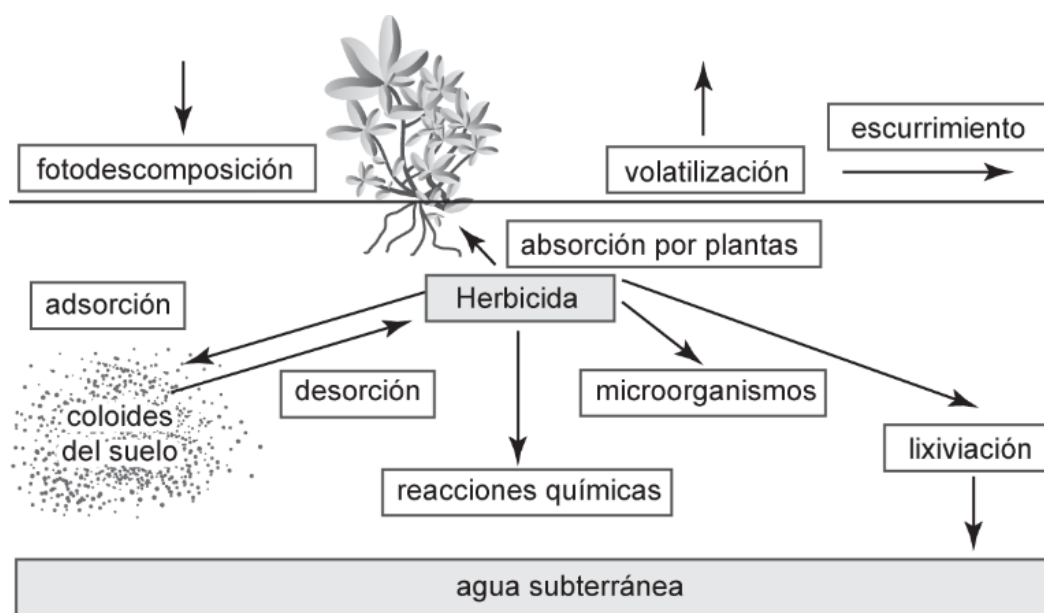


Ilustración 1. Comportamiento de los herbicidas en el suelo

Fuente: Malezas e invasoras de la Argentina (Bedmar y Gianelli, 2015).

Proceso de degradación de plaguicidas en el suelo

La degradación de un plaguicida es el cambio en su estructura química, dando por resultado compuestos más simples que el original, aunque no necesariamente menos tóxicos, más o menos persistentes y más móviles que la sustancia original. Se puede realizar por procesos abióticos como hidrólisis y fotodegradación o bióticos (Aparicio y otros, 2015).

Las reacciones de degradación son variadas como oxidación, reducción, hidrólisis, sustitución, eliminación de grupos funcional o fotólisis siendo afectadas por agentes orgánicos como los microorganismos del suelo, principalmente hongos y bacterias y por reacciones químicas como la hidrólisis, fotodegradación y reacciones óxido-reducción, que ocurren cuando un herbicida reacciona con el agua, oxígeno y otros compuestos químicos en el suelo (Bedmar y Gianelli, 2015).

Los microorganismos del suelo participan en la mayoría de los procesos de degradación de los herbicidas generando CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_3^- , entre otros, como productos finales. Suele ser mayor la tasa de degradación a menor profundidad en el suelo ya que a mayor es menor la actividad microbiana, con pH neutro y suelos húmedos, aireados y cálidos (Bedmar y Gianelli, 2015).

Por otro lado, entre las reacciones químicas, la hidrólisis es la unión de una molécula de agua al compuesto químico dependiendo principalmente del pH de la solución. Además, pueden ocurrir reacciones de óxido-reducción, entre ellas, oxidación directa por ozono, autooxidación por metales y peróxidos y reacciones de reducción como deshalogenación y nitroreducción (Bedmar y Gianelli, 2015).

La fotólisis o fotodegradación es un proceso en el que la luz ultravioleta genera la transformación de los compuestos. La luz solar junto con reactivos ambientales puede comenzar la mineralización de los herbicidas a partir del trabajo conjunto entre la luz solar y reactivos ambientales que transforma químicamente a los herbicidas en sustancias con diferente actividad. En algunos herbicidas se puede tratar de un proceso de degradación primario y en otros no ser de significancia. El proceso empieza cuando la molécula del herbicida absorbe energía lumínica, que genera la excitación de los electrones, resultando en la ruptura o formación de enlaces o uniones químicas. Los herbicidas que durante largo tiempo permanecen en la superficie del suelo con período libre de precipitaciones pueden degradarse por fotólisis. Esto está influenciado por características del suelo, pH, materia orgánica, humedad o contenido de arcilla (Bedmar y Gianelli, 2015).

Una de las formas principales es la biodegradación por los microorganismos del suelo, que degradan cadenas carbonadas y otros elementos para usarlos como fuentes de energía y nutrientes (Aparicio y otros, 2015).

La duración del proceso de biodegradación está determinada por factores:

- Biodisponibilidad del plaguicida: aquellas moléculas que están adsorbidas a las partículas del suelo están menos biodisponibles para los microorganismos que las que están disueltas en la solución. Lo mismo ocurre con los plaguicidas que tienen un menor coeficiente de adsorción, es decir, que están más disponibles para la acción de los microorganismos y para ser transportados en el agua, por lixiviación o escurrimiento. Además, influye la estructura molecular en la degradación (Aparicio y otros, 2015).
- Composición y actividad de las comunidades microbianas del suelo: cuando se realizan aplicaciones continuas de un mismo plaguicida, favorece a la adaptación y selección de determinados microorganismos del suelo que lo degradan fácilmente. De todos modos, el uso excesivo o repetido de los plaguicidas puede afectar la capacidad de degradación del suelo, entonces hay que aplicar la dosis recomendada para la resiliencia del suelo y que el impacto sobre las comunidades microbianas se reduzca (Aparicio y otros, 2015).

- Condiciones ambientales: hace referencia a las propiedades del suelo y a los factores climáticos. En lo que refiere al suelo el pH, contenido de materia orgánica, textura y potencial redox condicionan la adsorción del plaguicida y su disponibilidad. Por ejemplo, los horizontes más profundos tienen menor contenido de materia orgánica que disminuye la capacidad de degradación de los plaguicidas, por lo que la persistencia aumenta con la profundidad. En cuanto al ambiente, la temperatura y las precipitaciones afectan la actividad microbiológica del suelo y por ende en la tasa de degradación (Aparicio y otros, 2015).

Tipos de agroquímicos y su degradación

El glifosato es el herbicida más utilizado y comercializado a nivel mundial usado principalmente para el control de malezas. Es un herbicida de contacto, no selectivo, con un amplio espectro de aplicaciones y de baja toxicidad. Perteneció al grupo G de las glicinas y es inhibidor de la 5-enolpiruvilsikimato-3-fosfosintasa y la biosíntesis de aminoácidos aromáticos en las células vegetales. Se trata de un ácido orgánico débil que consiste en la unión entre el aminoácido glicina y un resto fosfonometilo. El ácido carboxílico y el ácido fosfónico pueden ionizarse y el grupo amina puede protonarse en medios acuosos (Jesmid Bohóquez, 2020).

Se lo puede encontrar como distintas especies iónicas de acuerdo con el pH y al ser un compuesto muy polar por la presencia de grupos hidroxilo y amino en su estructura química, que, en solución acuosa, forma puentes de hidrógeno con el agua, aumentando la solubilidad y carácter anfotérico (Jesmid Bohóquez, 2020).

Estructura química del glifosato

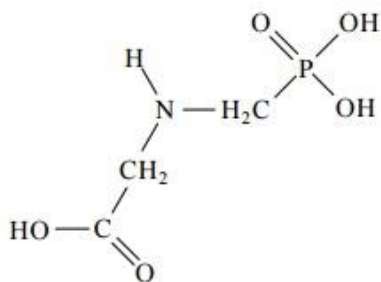


Ilustración 2. Estructura química del glifosato

Fuente: Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales (Jesmid Bohóquez, 2020).

La degradación del glifosato en el suelo es a través de los microorganismos y se puede dar de dos maneras:

- Vía de la Sarcosina: división del enlace C-P por la C-Piase, que produce fosfato y sarcosina, que se degrada a glicina y formaldehído por la sarcosinaoxidasas, el formaldehído ingresa a la vía por el tetrahidrofolato y la glicina se metaboliza por las vías estándar. Por último, se forma dióxido de carbono y el ión amonio (Jesmid Bohóquez, 2020).

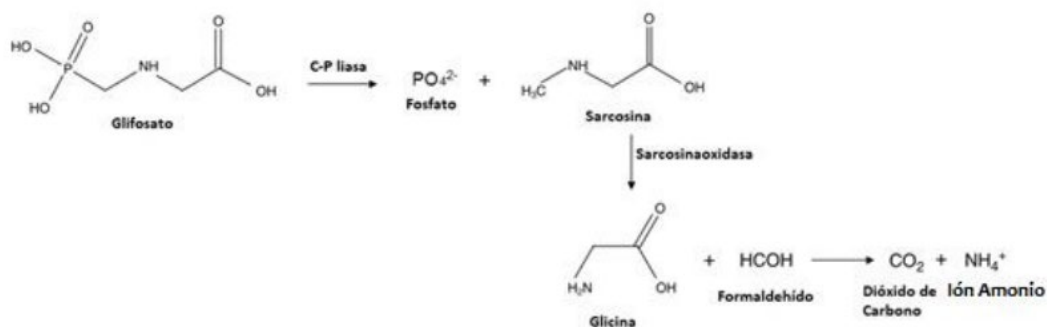


Ilustración 3. Vía de la sarcosina

Fuente: Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales (Jesmid Bohóquez, 2020).

- Vía del ácido metilfosfónico (AMPA): comienza por la ruptura del enlace C-N por la enzima glifosato oxidorreductasa, que produce ácido metilfosfónico y glioxilato. La enzima en esta reacción es una flavoproteína que emplea FAD como cofactor y se reduce el FAD en el sitio activo por glifosato. El glioxilato se metaboliza a través del ciclo del glioxilato y el ácido metilfosfónico se divide para dar fosfato inorgánico y metilamina, que se mineraliza a dióxido de carbono y amoníaco (Jesmid Bohóquez, 2020).

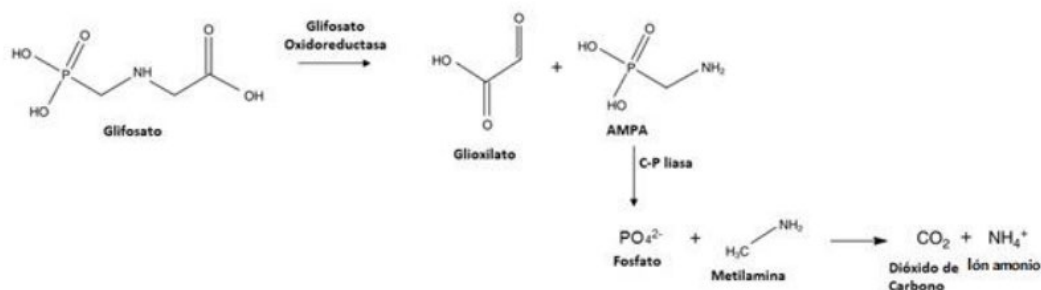


Ilustración 4. Vía del ácido metilfosfónico

Fuente: Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales (Jesmid Bohóquez, 2020).

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) se biodegrada en el suelo y en el agua. En el suelo, se lo hidroliza en forma de ácidos libres y es convertido a 2,4 diclorofenol (2,4-DCP), como primer producto en el proceso de degradación. Existe una cepa bacteriana autóctona identificada como *Delfitia* sp usa el 2,4-D como fuente de carbono y energía. En suelos agrícolas y con uso previo de fenoxi herbicidas de la Región Pampeana se ha observado mayor capacidad de degradación producto de la acción de los microorganismos del suelo (Aparicio y otros, 2015).

La atrazina es un herbicida muy utilizado en Argentina y su persistencia es menor en suelos donde se lo ha aplicado previamente que determina una mayor adaptación de las comunidades microbianas que aceleran su mineralización. La mineralización está afectada por la interacción de las propiedades edáficas, el manejo y la adaptación de comunidades microbianas del suelo por su uso repetido. Bacterias del género *Arthrobacter* la utilizan como fuente de nitrógeno para su crecimiento y bacterias del género *Bradyrhizobium*, que tienen la característica de usar la atrazina y desnitrificar (Aparicio y otros, 2015).

El clorpirifós es un insecticida que se degrada en el suelo por hidrólisis química y actividad microbiana. Las bacterias aeróbicas transforman el clorpirifós por hidrólisis para producir ácido dietil tiofosfórico (DETP) y 3, 5, 6-tricloro 2 pyridinol (TCP), que es el principal producto (Aparicio y otros, 2015).

El metsulfurón-metil del grupo de las sulfonilureas es degradado mejor con altas temperaturas, pH bajo y humedad en el suelo, por medio de la hidrólisis como principal vía (Aparicio y otros, 2015).

Otro ejemplo donde la principal vía de degradación es microbiana es para el imazapir (Aparicio y otros, 2015).

Desarrollo

Primer Punto

Motivos para realizar cultivos de servicio

Los cultivos de servicio se tratan de especies implantadas entre dos cultivos de renta de verano, que se siembran luego de la cosecha de los cultivos de gruesa, en general durante el otoño, que no son pastoreadas ni cosechadas, ni incorporadas, quedando sobre la superficie protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radical (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Son una alternativa para mejorar las propiedades físicas del suelo, equilibrar el balance de carbono e incrementar de manera considerable la productividad del agua y de los nutrientes, aumentando la actividad biológica y las raíces en el suelo (Bertolotto y Marzetti, 2017).

En los últimos años viene en aumento el área destinada a cultivos de servicio y que debido a los beneficios sobre el sistema productivo probablemente esta tendencia se mantenga.

En la campaña 2019/2020 la superficie sembrada con cultivos de servicio fue de 352.000 ha, que representa el 1,8% de las 19,5 millones de ha sembradas con cultivos de gruesa, que incluye a girasol, maíz temprano, maíz tardío y soja de primera. En esta misma campaña el 19% de los productores a nivel nacional realizó cultivos de servicio (Brihet y otros, 2021).

En el siguiente mapa se muestra el porcentaje de productores que realizó cultivos de servicio en la campaña 19/20 por zonas (Brihet y otros, 2021).

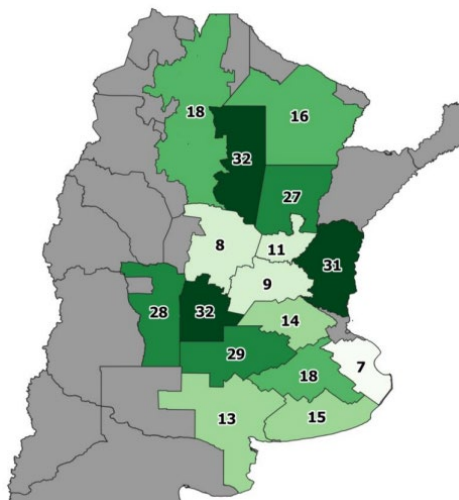


Ilustración 5. Proporción de productores que adopta CS

Fuente: ReTAA

En el próximo mapa se indica la superficie con cultivos de servicio en porcentaje regional sobre el área total nacional en la campaña 19/20 (Brihet y otros, 2021).

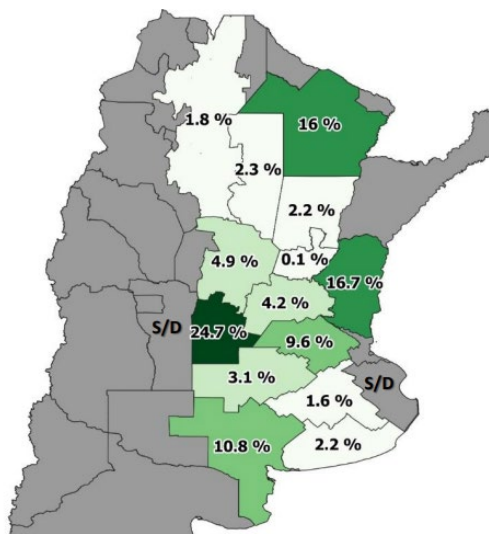


Ilustración 6. Superficie con cultivos de servicio

Fuente: ReTAA

Distribución de cultivos de servicio por provincia y especies más utilizadas en cada una

Distribución por provincia

Campaña 2022/23

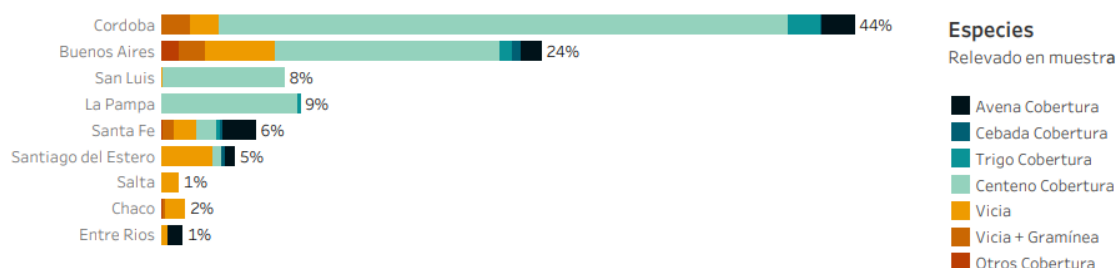


Ilustración 7. Distribución por provincia y especies más utilizadas

Fuente: datos SAGPyA

Beneficios de los cultivos de servicio

- Generación de macroporosidad

A partir de los sistemas radiculares permitiendo la incorporación del agua (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Distribución de agua

Aumenta la capacidad de captación incrementando el valor de lluvia efectiva, evitando la escorrentía hacia zonas bajas y disminuyendo el proceso de evaporación (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Descompactación del suelo

Ocurre por la combinación de raíces finas y gruesas, los cultivos como gramíneas tienen raíces finas pueden aumentar la formación de agregados del suelo, que influye en la infiltración del agua y la porosidad. En cambio, cuando existe alguna impedancia mecánica se podría pensar en crucíferas que tienen raíces gruesas que pueden romper estas capas y explorar más profundo el suelo (Piñeiro, 2020).

- Contribuyen a la formación de la materia orgánica

A partir de biomasa de lenta descomposición, con alta relación C/N y gran cantidad de raíces finas, como el caso de las gramíneas contribuyen a la formación de materia orgánica particulada que es la porción de mayor tamaño de partícula. Este tipo de residuos favorece la formación de macroagregados al aumentar el crecimiento de hongos y microorganismos que producen mucílagos (Piñeiro, 2020).

Por otro lado, se encuentra la materia orgánica asociada a los minerales que es la porción de menor tamaño de partícula y realiza grandes aportes de nitrógeno para las plantas por lo que se puede aumentar con cultivos de descomposición rápida y altas cantidades de nitrógeno, siendo claves los exudados radicales que

favorecen el crecimiento de microorganismos que sumadas a las sustancias excretadas por las raíces dan lugar a esta fracción (Piñeiro, 2020).

- Disminución en la erosión eólica

Mantener el suelo cubierto y con raíces vivas el mayor tiempo posible, y así aumentar la captura y eficiencia en el uso de la energía, agua y nutrientes (Piñeiro, 2020).

- Reducción en el uso de agroquímicos

Por la competencia y alelopatía que hacen los cultivos de servicios con las malezas, que además reduce el impacto ambiental (Brihet y otros, 2021).

La alelopatía se refiere en este caso al proceso inhibitorio de una especie sobre otra sobre su germinación, crecimiento o desarrollo, por la liberación de compuestos químicos al ambiente por la volatilización o lixiviación de partes aéreas de la planta, exudados radicales o residuos de las plantas (Diez Ochoa, 2021).

- Control de malezas

Capacidad de inhibición o retardo en la germinación de malezas, que se cuantifica en menores emergencias, emergencias más concentradas en el tiempo y plantas de desarrollo uniforme y menor crecimiento. Hoy es uno de los principales motivos por los que se realizan ya que el control con herbicidas en algunos casos es dificultoso debido a la resistencia de las malezas frente a estos (Dughetti y otros, 2013).

Esta característica ocurre durante el crecimiento del cultivo de servicio como así también una vez que se lo finalizó, ya que la biomasa aérea que queda sobre la superficie limita la germinación de semillas por impedir la llegada de la radiación al suelo y por una mantener el suelo a menor temperatura, lo que puede implicar un menor uso de herbicidas en el ciclo del cultivo (Dughetti y otros, 2013).

- Diminución de la erosión hídrica

Impide que las gotas de lluvia impacten directamente sobre el suelo, reduciendo la fertilidad, a la vez que al tener cobertura disminuye el escurrimiento superficial. Si no hubiese cobertura, el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie del suelo genera un desprendimiento, salpicadura, sellado superficial (encostramiento), escurrimiento y sedimentación (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Se acercan a niveles de sostenibilidad en el sistema productivo al disminuir el impacto ambiental por la disminución en el uso de agroquímicos que se cuantifica a partir del coeficiente de ecotoxicidad de impacto ambiental (EIQ), que es un indicador para evaluar el impacto ambiental generado por una aplicación de fitosanitarios (Raspo, Tellechea y Luzzi, 2020).

En el siguiente gráfico se muestran valores de EIQ obtenidos sobre distintos sistemas en un promedio de tres años

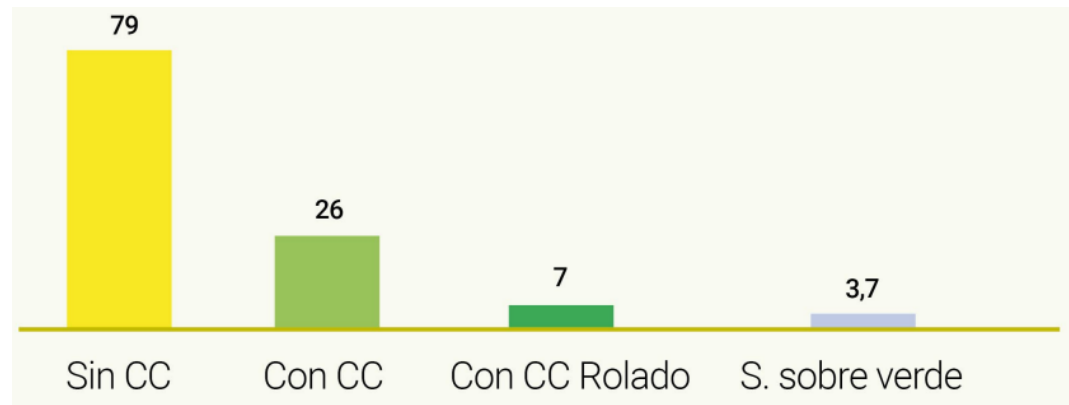


Ilustración 8. Valores EIQ en distintos manejos

Fuente: Sistemas productivos sostenibles (Raspo, Tellechea y Luzzi, 2020).

- Drenaje biológico
- Almacenaje de agua
- Aporte de Carbono
- Aporte de Nitrógeno

Se relaciona a la capacidad de fijación biológica de nitrógeno que pueden hacer los cultivos de servicio y ser aprovechado por el cultivo posterior (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Disminución de la temperatura del suelo

En el cultivo posterior a un cultivo del servicio, el suelo al tener mayor cobertura logra disminuir la temperatura, atenuando el estrés al que puede ser sometido el cultivo (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Control de recargas

Cuando hay excedentes de humedad que no es consumida por los cultivos de granos, los cultivos de servicio pueden contribuir a captar parte de ese exceso y mantener en nivel a la napa freática (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Lixiviación de nutrientes
- Anclaje de los rastrojos de cosecha

Para evitar su voladura durante el tiempo hasta la siembra del cultivo de renta (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Mejorar la estructura del suelo

Inconvenientes de los cultivos de servicio

- Mayor nivel de manejo

Implica otro nivel de planificación porque se está agregando un cultivo más en la rotación que se siembra inmediatamente posterior a la cosecha y que requiere atención al momento de decidir el secado para no comprometer la disponibilidad de agua para el cultivo de verano (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Consumo de agua

El cultivo de servicio consume agua del perfil del suelo, por lo que es importante tratar de elegir especies que logren la mayor producción de materia seca con el menor consumo de agua para que no se comprometa la disponibilidad de agua para el cultivo de renta y que el tiempo entre el secado del cultivo de servicio y la siembra del cultivo estival sea lo suficiente como para que el perfil del suelo esté en condiciones adecuadas de humedad para la campaña. Para analizarlo se tiene en cuenta lo que se conoce como costo hídrico, que es la diferencia entre los contenidos hídricos del cultivo de servicio en relación con el barbecho convencional (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Por lo tanto, es necesario una correcta elección de especies y adecuada fecha de siembra y de secado del cultivo de servicio, analizándolo con la zona geográfica. A partir de esto, es importante hacer enfoque en el manejo del cultivo de servicio para que el consumo de agua no represente una limitante para su implementación (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Dificultad para implantar el siguiente cultivo

Puede ocurrir por el exceso de cobertura sobre el suelo que impida que la cuchilla turbo de la sembradora la corte y coloque de manera correcta la semilla en el fondo del surco, comprometiendo la emergencia de esa semilla, afectando la densidad final y que al existir tanta cobertura se dificulte el andar de la sembradora y haya que parar más seguido (Bertolotto y Marzetti, 2017).

- Nuevas plagas y enfermedades que pueden impactar sobre el cultivo siguiente.
- Inmovilización de nitrógeno

Puede ocurrir con especies con alta relación C/N, como en el caso del centeno, que se genere inmovilización de nitrógeno la descomposición de la cobertura del cultivo sobre el suelo al principio del ciclo del cultivo de renta (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Segundo Punto

Especies utilizadas como cultivos de servicio

Existe una gran variedad de especies que se pueden usar sembradas en forma pura (una sola especie) o consociadas (varias especies). La siembra de una sola especie permite un manejo más simple, pero con menos beneficios y más riesgo frente a adversidades. Por otro lado, en siembras consociadas, se aprovecha los beneficios que aporta cada especie, disminuyendo riesgos externos ya que cada

una tiene un ciclo y adaptabilidad distinta. Sin embargo, el manejo es más dificultoso porque tienen distintos ciclos fenológicos y probablemente se adapten mejor a distintas formas de secado.

Los puntos clave para el manejo de un cultivo de servicio son la siembra, el secado y la cantidad y calidad del residuo remanente (Dughetti y otros, 2013).

Esquema de dinámica de acumulación de materia seca, momento de secado y proporción de residuo remanente para un cultivo de servicio típico

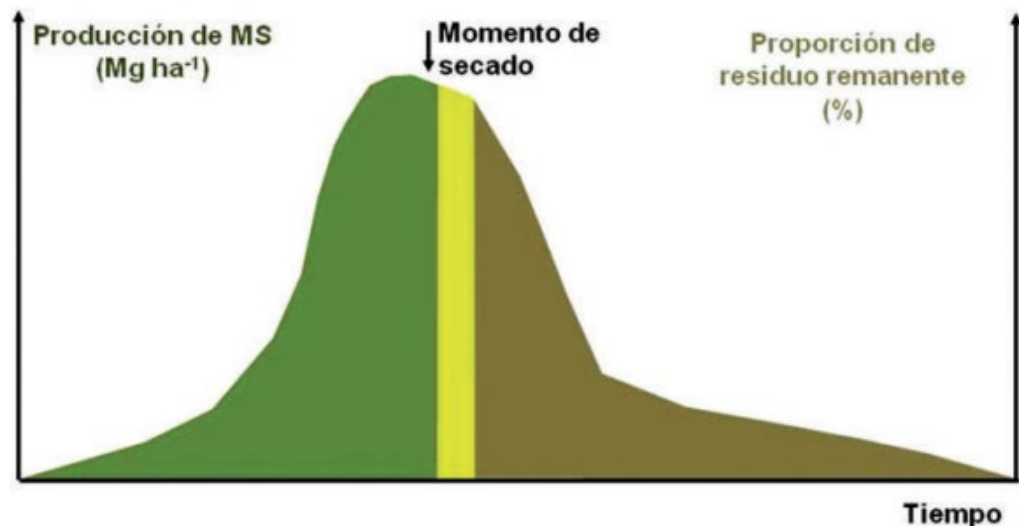


Ilustración 9. Curva de acumulación de MS y relación con el secado y remanente

Fuente: Vicias: bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana (Dughetti y otros, 2013).

Algo muy importante es la elección del cultivo de servicio y los factores más importantes para tener en cuenta son:

- Facilidad de implantación y establecimiento.
- Alta tasa de crecimiento, para generar una rápida cobertura sobre el suelo.
- Abundante producción de biomasa para aportar alta cantidad de rastrojo y que el rastrojo sea de lenta descomposición para lograr más duración del beneficio que otorga la permanencia del rastrojo en el tiempo.
- Resistencia a enfermedades.
- Facilidad de control.
- Viabilidad económica.
- Tolerancia al frío y en zonas marginales también a la falta de agua.

(Dughetti y otros, 2013)

En este trabajo se explicará el manejo para algunas especies haciendo un análisis mayor en las más utilizadas como son el centeno (*Secale cereale*) y la Vicia villosa.

Vicia villosa

Dentro de las leguminosas las más usadas son Vicia Villosa y Vicia Sativa, que pertenecen al género vicia, tribu Viciae, subfamilia Papilionoideae, familia Fabaceae, orden Rosales, clase Dicotiledóneas (Dughetti y otros, 2013).

Son plantas herbáceas anuales de ciclo otoño invierno primaveral, trepadoras, ramificadas y de porte rastrero y semirastreo, con germinación hipogea (Dughetti y otros, 2013).

Vicia Villosa tiene mayor producción de MS (materia seca), tolera mejor el frío y la sequía, tiene un consumo medio de agua, tiene crecimiento más rastrero por lo que cubre el suelo más rápido, la curva de producción es más tardía, aporta nitrógeno al suelo por fijación biológica, se adapta a suelos poco fértiles y presenta mayor plasticidad a la época de siembra. En cambio, Vicia Sativa tiene mayor consumo de agua, es de porte más erecto y la producción es más temprana (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Diferencias en las características morfológicas de las Vicias cultivadas en Argentina

Característica	<i>V. sativa</i>	<i>V. villosa</i>
Foliolos en primera hoja	Dos	Cuatro, ocasionalmente seis
Pubescencia del tallo	Escasa	Densa-sedosa
Tallos de planta adulta	Delgados y frágiles (diámetro = 2 a 4 mm), poco ramificados	Poco consistentes, muy ramificados (largo ~ 100-200 cm)
Foliolos de hojas superiores	Cuatro a 8 pares, ovales, con escotadura y mucrón en el ápice	Cinco a 16 pares, linear-lanceolados hasta aovados-alargados
Estípulas	Dentadas, con un nectario	Enteras, lanceoladas y semi-sagitadas
Racimo floral	Corto (longitud = 15 a 20 mm), axilares, con 1-2 flores	Alargado (largo ~ 150 mm), laxo, unilaterales, con 10-30 flores de 15-18 mm de largo sub-péndulas, violáceas.
Vaina	Lineal, comprimida (largo = 35 a 70 mm, ancho = 5 a 9 mm)	Estipitada, comprimida (largo = 20 a 30 mm, ancho = 5 a 9 mm), glabra
Semilla	Ligeramente aplanada (diámetro = 4 a 5 mm), color variable comúnmente castaño oscuro, café rojizo	Esférica (diámetro = 3,5 a 4,0 mm), negro opaco, aterciopelada
Hilo	Oval-lineal, deprimido en los márgenes y hendidura elevada en la parte media de color claro (largo = 1,8 a 3,0 mm, ancho = 0,5 a 0,8 mm)	Oblongo u ovado, al mismo nivel que la superficie de la semilla, liso y plano (largo = 2,0 a 2,5 mm, ancho = 0,5 a 0,8 mm)

(Parodi 1959, USDA 1962 y 1965, Schoth y Mckee 1962, Fu *et al.* 1996)

Tabla 2: Diferencia de cultivares de vicia

Fuente: Vicias: bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana (Dughetti y otros, 2013).

A corto plazo, se puede notar un cambio en la disponibilidad de N ya que al tener una baja relación C/N se descompone rápidamente, libera N y está disponible más rápidamente en el suelo para el cultivo posterior. También va a favorecer al aporte de materia orgánica, a la conservación de la humedad y la mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas en el suelo (Dughetti y otros, 2013).

La vicia villosa tiene un ciclo de crecimiento de tipo indeterminado, que al momento de la floración aún tienen un desarrollo vegetativo, lo cual es una característica que favorece a la acumulación de materia seca en estadios reproductivos, en comparación a Vicia sativa, que tiene un ciclo de crecimiento determinado, en el que la superposición entre el crecimiento vegetativo y reproductivo es de un 20% y la floración es más rápida (Dughetti y otros, 2013).

En planteos que se utilicen alguna especie de vicia como antecesor de cultivo de soja, es importante ajustar la fecha de siembra y tratar de implantarla lo antes posible porque tiene menos plasticidad a la hora de sembrar ya que durante el invierno tiene latencia y el crecimiento es muy pobre. Entonces pensando en sembrar soja hacia fin de octubre o principio de noviembre en la región pampeana, una siembra tardía de vicia estaría limitando la producción de MS porque el período entre siembra y momento de secado sería menor (Dughetti y otros, 2013).

Cuando se elige un como cultivo de servicio a una leguminosa pueden tener distintos resultados sobre el cultivo de verano que le sigue. En los siguientes gráficos se observan las curvas teóricas de respuesta de rendimiento al fertilizante (dosis de nitrógeno), esperables con cultivo de servicio de leguminosa como antecesor (+), o con barbecho (-) en cultivos de renta de verano con gramíneas como, por ejemplo, maíz tardío (Dughetti y otros, 2013).

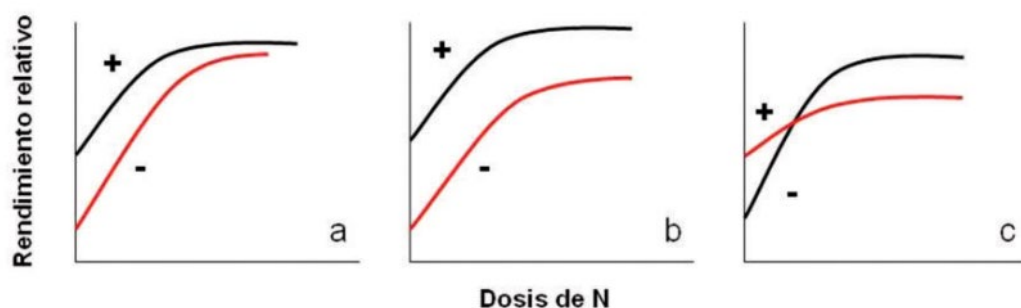


Ilustración 10. Rendimiento en base a dosis de N

Fuente: Vicias: bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana (Dughetti y otros, 2013).

En la curva “a”, se observa el aporte de N realizado por el cultivo de servicio, que a bajas dosis se evidencia más claro la diferencia en rendimiento con respecto al antecesor con barbecho y que a medida que la dosis de N es mayor las curvas tienden a acercarse porque la diferencia en el rendimiento es menor. En la curva “b” se observa que la diferencia en rendimiento se mantiene constante a pesar del aumento en la dosis de N y esto puede deberse no solo al aporte de nitrógeno por parte del cultivo de servicio, sino que también puede deberse a una mejora en la conservación de la humedad por mayor cobertura o en propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la curva “c”, puede ocurrir que el cultivo de servicio disminuya el rendimiento sobre el cultivo de renta en comparación con el de antecesor de barbecho tradicional, debido

probablemente a un mal manejo que impacta sobre la reserva de agua del perfil del suelo y condiciona al cultivo estival (Dughetti y otros, 2013).

Centeno

Por otro lado, las gramíneas se caracterizan por la capacidad para fijar carbono por parte de su biomasa aérea y las raíces, que de estas el 40 % del carbono pasa a estar disponible para el siguiente cultivo, sus residuos se pueden mantener por más tiempo por la alta relación C/N de sus tejidos, tienen un sistema radical en forma de cabellera que aumenta la macroporosidad del suelo, mejorando la infiltración y el drenaje del perfil por la distribución de raíces (Raspo, Tellechea y Luzzi, 2020).

En general las gramíneas invernales se distinguen entre sí por su precocidad, la tolerancia a estrés hídrico, sales, encharcamiento y bajas temperaturas, permitiendo establecer en cada zona la que se adapte mejor (Álvarez, 2020).

La especie más utilizada suele ser el centeno (*Secale cereale*), que es tolerante al frío y sequía, con un sistema radicular comparable al del trigo, pero más fasciculado y desarrollado, se adapta a gran variabilidad de suelos, con buen control de malezas, bajo consumo de agua, buena producción de MS y mayor plasticidad en la fecha de siembra. Se adapta bien a zonas semiáridas, y se lo considera un cultivo precoz con un 24% del total de la producción de materia seca en otoño, 43% en invierno y 33% en primavera. Además, tiene la característica de tener propiedades alelopáticas que están dadas por el alto contenido de ácidos hidroxámicos que se encuentran en forma de metabolitos secundarios en sus tejidos, que inhiben el crecimiento y desarrollo de malezas (Aunchain Crusich y otros, 2022).

Otras especies utilizadas son avena (*Avena sativa*) y triticale (*Triticum x Secale*).

Indicadores productivos del cultivo de centeno desde el año 2000 a la actualidad

Campaña	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2000/01	394950	89495	129750	1450
2001/02	359650	64029	86530	1351
2002/03	338040	56450	79150	1402
2003/04	340490	38601	36670	950
2004/05	293700	62460	91870	1471
2005/06	206990	28675	33070	1153
2006/07	221100	14750	17483	1185
2007/08	227180	38700	77180	1994
2008/09	202850	33580	33859	1008
2009/10	152100	26430	25135	951
2010/11	158600	24100	44460	1845
2011/12	156040	23405	43110	1842
2012/13	162850	22725	39700	1747
2013/14	310280	31965	52130	1631

Cultivos de servicio, su impacto sobre los sistemas agrícolas y el efecto sobre los indicadores de calidad edáfica

2014/15	319170	51112	97398	1906
2015/16	331690	34390	60676	1764
2016/17	307520	40890	78810	1927
2017/18	322710	45034	86098	1912
2018/19	344708	49321	86566	1755
2019/20	726379	108532	221201	2038
2020/21	667809	86000	135945	1581
2021/22	919737	116508	225510	1936

Tabla 3: Evolución de indicadores de centeno

Fuente: datos SAGPyA

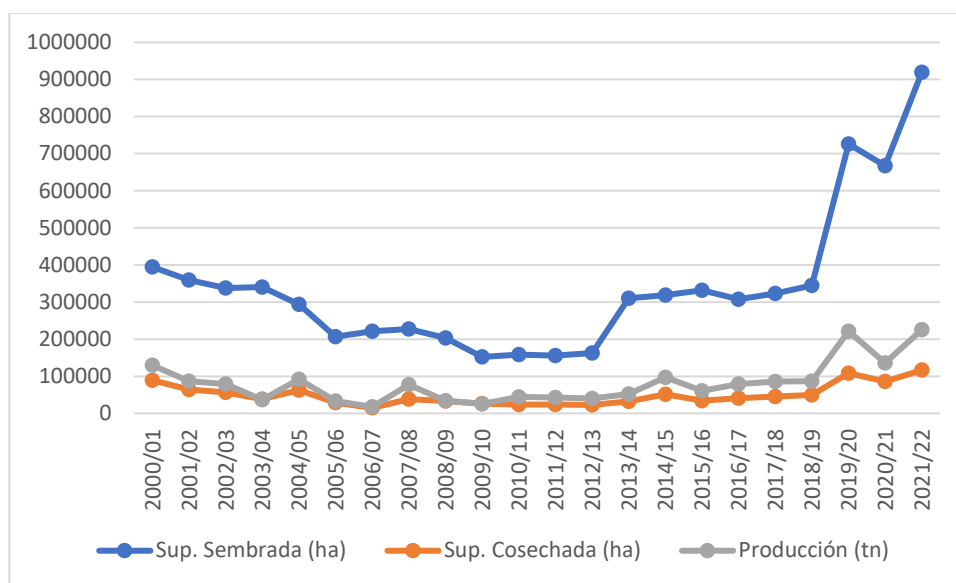


Ilustración 11. Curvas de indicadores

Fuente: datos SAGPyA

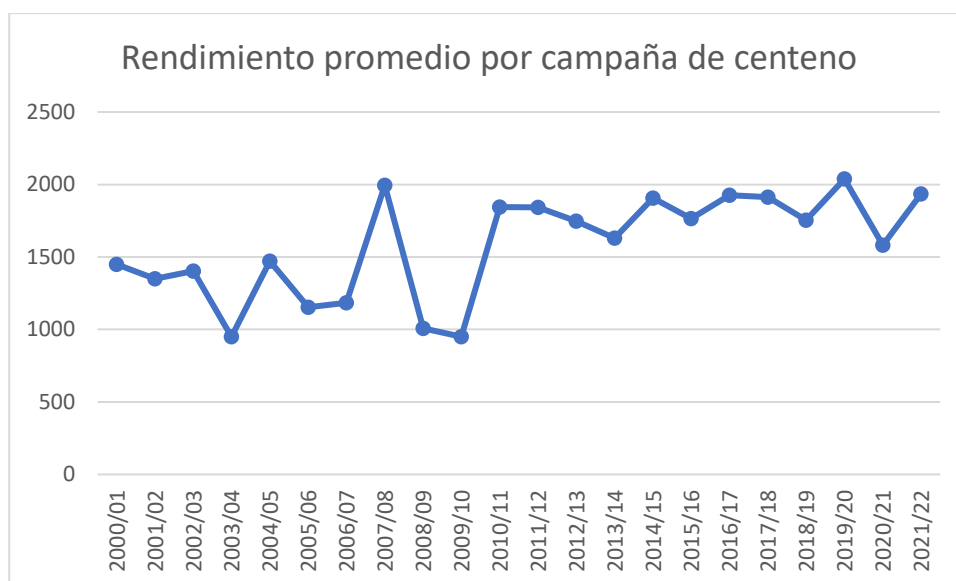


Ilustración 12. Curva de rendimiento de centeno

Fuente: datos SAGPyA

También se pueden utilizar crucíferas o brassicáceas, como el nabón forrajero (*Raphanus sativus*) o colzas (*Brassica rapa*) que se suelen usar en mezcla con otras especies y se caracterizan por un sistema radicular pivotante que actúa como un “subsolador o descompactador biológico” mejorando la infiltración en el suelo (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Siembra

En cuanto a la siembra de vicia se realiza con sembradora de grano fino o al voleo aéreas o terrestres (que permiten adelantar la siembra, ya que se realiza con el cultivo de renta en pie aun sin cosechar, aunque los resultados son más disímiles y no se logra una buena distribución y producción de MS) desde fin del verano hasta el invierno, lo ideal sería lograr siembras tempranas para maximizar la producción de MS que va desde 500 a 7200 kg MS/a, lograr cubrir el suelo lo antes posible, estimular la competencia con malezas y aprovechar el crecimiento otoñal. Una densidad media de siembra puede ser alrededor de 40-50 pl/m² y se realiza la inoculación previa a la siembra. Se puede fertilizar a la siembra con fósforo (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Una práctica importante durante la siembra es la inoculación de la semilla para garantizar que esté la cepa específica de la bacteria y sea más eficiente la fijación biológica de N, que se realiza mediante la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, que representa entre el 75 y 90 % de la acumulación total de N en la biomasa de vicia, del cual se estima que el 85 a 90 % se encuentra en la biomasa aérea y el restante 10 a 15 % en las raíces. Para que la fijación de N sea eficiente el color interno de los nódulos debe ser rojizo. Se considera que *Vicia villosa* acumula aproximadamente 36 kg N/ha por tn de MS (Dughetti y otros, 2013).

En cuanto a la siembra de centeno se hace con sembradoras de grano fino o al voleo aéreas o terrestres. La época de siembra es desde abril hasta junio. La densidad de siembra se apunta a 150-200 pl/m² pura y los herbicidas para el manejo son los mismos que se pueden utilizar para el trigo (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Siembras aéreas pueden ser una buena alternativa para lograr implantar el cultivo de manera anticipada sin esperar a la cosecha para hacerlo, pero hay que tener en cuenta algunas consideraciones:

- Una alta humedad relativa favorece la emergencia.
- Es preferible hacerla antes de una lluvia.
- Habría que aumentar la densidad de siembra porque los coeficientes de logro tienden a ser bajos, propios de la forma en que se siembra por el menor contacto del suelo con la semilla.
- Sembrar antes de la senescencia del cultivo de renta.
- Habría que tener cuidado con fitotoxicidad si se usan herbicidas en el cultivo en pie.

Cultivos de servicio, su impacto sobre los sistemas agrícolas y el efecto sobre los indicadores de calidad edáfica

- Hay que tener en cuenta el peso específico de las semillas porque se puede generar una incorrecta distribución.
- En general, son siembras menos precisas, con una distribución no tan eficiente y una producción de MS menor.
- La semilla de vicia villosa es de mayor tamaño, requiere mayor imbibición y se dificulta generar las condiciones para que se pueda anclar correctamente. En cambio, la semilla de centeno puede anclarse de mejor manera al suelo y prosperar mejor.

(Raspo, Tellechea y Luzzi, 2020)

Características de diferentes especies usadas como cultivos de servicio

	Nombre vulgar	Nombre científico	Fijación de N atmosférico	Capturador de N ¹	Mejorador de suelo ¹	Control de erosión	Control de malezas	Alelopatía	Alhago de malezas	Aptitud para pastoreo	Resistencia	Vel. de crecimiento	Duración del residuo	Largo del ciclo vegetativo	Tolerancias a					Riesgos ⁴		
															Calor	Sequía	Sombra	Inundación	Baja fertilidad	Potencial maleza	Insectos	Enfermedades
Gramíneas	Raigrás	Lolium multiflorum	-	MB	MB	MB	MB	B	E	MB	C	MB	MB	MB	M	M	MB	MB	M	P	R	R
	Cebada	Hordeum vulgare	-	MB	MB	E	MB	MB	MB	MB	A	MB	E	B	MB	MB	B	M	MB	PM	PM	PM
	Avena	Avena sativa	-	MB	B	MB	E	MB	E	B	A	E	B	M	M	M	M	B	B	N	PE	R
	Centeno	Secale cereale	-	E	E	E	E	E	E	B	A	E	E	MB	B	MB	MB	B	E	PM	PE	R
	Trigo	Triticum aestivum	-	MB	MB	MB	MB	M	MB	MB	A	MB	MB	MB	B	B	B	P	B	PE	PM	PM
	Trigo sarraceno ¹	Fagopyrum esculentum	-	P	B	M	E	MB	E	P	S	E	P	M	B	P	M	M	M	P	R	N
Crucíferas	Mostazas	Sinapis alba y Bassica juncea	-	B	MB	MB	MB	MB	MB	B	C	MB	M	B	B	MB	B	M	M	PM	R	N
	Nabón	Raphanus sativus	-	E	MB	MB	WE	MB	E	B	A	MB	M	B	B	M	B	M	M	PE	R	N
	Nabo	Brassica napus y B. rapa	-	MB	B	MB	MB	MB	B	B	A	MB	B	MB	M	B	B	M	M	PM	PM	N
Leguminosas	Trebol de alejandría	Trifolium alexandrinum	E	MB	MB	MB	E	M	MB	E	N	E	B	E	MB	B	MB	B	B	N	PE	R
	Trebol encarnado	Trifolium incarnatum	MB	B	MB	MB	MB	M	B	E	C	B	B	M	B	M	MB	M	B	PE	P	R
	Arveja	Pisum sativum subsp. arvense	E	M	B	MB	B	M	MB	MB	A	MB	M	B	M	B	M	M	M	N	PE	PM
	Vicia	Vicia villosa	E	M	MB	B	B	B	MB	B	A	M	M	MB	M	B	B	M	M	PE	PE	N
	Medicagos	Medicago sp.	B	M	B	B	MB	M	MB	MB	S	E	B	MB	E	MB	MB	M	B	PE	PM	N
	Trebol rojo	Trifolium pratense	MB	B	MB	B	MB	B	B	E	A	M	M	B	M	M	MB	B	M	PE	PM	R
	Trebol subterráneo	Trifolium subterraneum	E	M	MB	MB	E	MB	E	MB	C	B	MB	MB	B	MB	MB	B	E	PE	P	PE
	Trebol de olor	Melilotus officinalis y M. alba	E	M	E	MB	MB	M	B	MB	C	B	MB	MB	MB	E	M	M	E	PM	PM	N
	Trebol blanco	Trifolium repens	E	M	B	MB	MB	B	MB	E	S	M	M	E	B	B	MB	MB	B	PE	PE	R

¹No es una gramínea sino una Polygonacea. ²Capacidad de absorber y almacenar excesos de nitrógeno del suelo. ³Aporte de materia orgánica y mejora de la estructura del suelo. ⁴Riesgos para el cultivo posterior al de cobertura.

P = Pobre. M = Medio. B = Bueno. MB = Muy bueno. E = Excelente. N = Nunca. A = A veces. C = Comúnmente. S = Seguramente. B = no es un problema. R = rara vez es un problema menor. PE = puede ser un problema menor. PM = puede ser un problema moderado. P = es un problema.

Ilustración 13. Características de especies como cultivos de servicio

Fuente: Cultivos de cobertura: bases para su manejo en sistemas de producción (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Finalización de los cultivos de servicio

La fecha de finalización es fundamental en un planteo con cultivos de servicios porque tiene que ser en el momento apropiado en que la producción de MS es mayor y para que no comprometa en la disponibilidad hídrica al cultivo de renta posterior. Ese período de tiempo tiene que ser el suficiente para que el suelo recupere humedad y esté en condiciones para la siembra. El momento para terminar un cultivo de servicio debería ser antes de que empiece la floración o el final del encañado, ya que es cuando los cultivos empiezan a demandar más agua. Esta situación sería la ideal frente en zonas donde la humedad puede ser un condicionante o en lugares donde la recarga del perfil no sea tan rápida. La fecha de finalización puede modificarse de acuerdo con las características de la

región o en base a situaciones puntuales del ambiente como puede ser un año con mayores precipitaciones que presentan excesos hídricos u otro más seco (Dughetti y otros, 2013).

Para terminar con el ciclo de un cultivo de servicio se puede llevar a cabo de manera química o mecánica. Hay que tratar de lograr al momento de secado una alta producción de materia seca para que también el control de malezas posterior a la finalización del cultivo de servicio sea correcto (Dughetti y otros, 2013).

En el caso de las leguminosas, la tasa de fijación biológica de N es máxima en floración, el momento de secado debería ser hasta este punto ya que si avanza el ciclo del cultivo se empieza a traslocar el N fijado hacia las partes reproductivas, por eso que este momento determina la cantidad de N fijado y la cantidad de biomasa aérea que queda sobre el suelo (Dughetti y otros, 2013).

En vicia una producción de 5 tn MS/ha pueden inhibir la emergencia de muchas especies de malezas anuales. En cambio, cuando la producción es entre 3 a 5 tn MS/ha, la emergencia de las malezas puede ser suprimida o estimulada, teniendo en cuenta condiciones y especies. A su vez, al tratarse de un cultivo con baja relación C:N y descomponerse más rápidamente puede ocurrir que la inhibición de la emergencia de malezas sea menos eficiente que una gramínea en la que su tiempo para descomponerse es mayor y por lo tanto permanece más tiempo sobre la superficie del suelo. En el caso de centeno, el momento para finalizar el ciclo se determina cuando alcanza el 50% de espigazón que es cuando se acerca al máximo de materia seca sin comprometer demasiado la reserva del agua del suelo (Dughetti y otros, 2013).

Secado químico

Se realiza mediante la aplicación de agroquímicos y es la forma más utilizada en Argentina. La Vicia Villosa es tolerante al glifosato en estadíos avanzados, por lo que si se lo usa solo no genera un buen control. Para obtener buenos resultados se puede utilizar el glifosato en mezcla con dicamba o fluroxipir o 2,4-D. Por otro lado, para el secado químico de una gramínea como el centeno se utiliza glifosato (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Secado mecánico

Se trata del rolado de los cultivos de servicios con un rolo faca o rolo triturador de rastrojo que tienen un cilindro de 30 a 60 cm de diámetro con cuchillas sin filo a su alrededor que no cortan los tallos, sino que dañan el tejido vascular de las plantas causando que se sequen. Esta técnica supone una disminución importante en el uso y aplicaciones de agroquímicos pudiéndose llevar a cabo tanto en gramíneas como en leguminosas. Puede ocurrir que el rolado no sea completamente eficiente en el control como si lo es el secado químico, ya que pueden ocurrir rebrotes, aunque no sean tan significativos (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Para el caso de gramíneas es más eficiente cuanto más avanzado se encuentra el cultivo en su estado fenológico, siendo antesis el momento recomendado. El rolado se realiza perpendicularmente al sentido de la siembra de la gramínea o al cruce de esta (45°). Luego la siembra del cultivo posterior se realiza en la misma dirección de rolado (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Para el rolado de la vicia, se lleva a cabo en el estadio de floración avanzada entre R6 y R7, cuando son visibles pequeñas vainas. Antes de este momento hay más posibilidades de encontrar rebrote, aunque puede haberlo en cualquier estadio (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Ciclo fenológico del cultivo de Vicia

- Emergencia (E): 90% de las plántulas emergidas, con las dos primeras hojas expandidas.
- Comienzo de la floración (CF): primera flor abierta
- Plena floración (PF): más del 50% de las plantas con flores.
- Fin de floración (FF): menos del 10% de las plantas con flores abiertas
- Formación de vainas (FV): 50% de las plantas con la primera vaina en expansión.
- Vainas verdes (VV): más del 75% de las vainas llenas de color verde
- Vainas amarillas (VA): más del 75% de las vainas cambiando a color marrón.
- Madurez (M): 75% de las plantas con presencia de la primera vaina decolorada y seca, sumado al amarillamiento y senescencia de las hojas.

(Dughetti y otros, 2013)

En la siguiente imagen se grafica el ciclo fenológico basado en el estado de desarrollo de los cinco nudos superiores que se puede usar en forma complementaria a los estadios mencionados anteriormente.

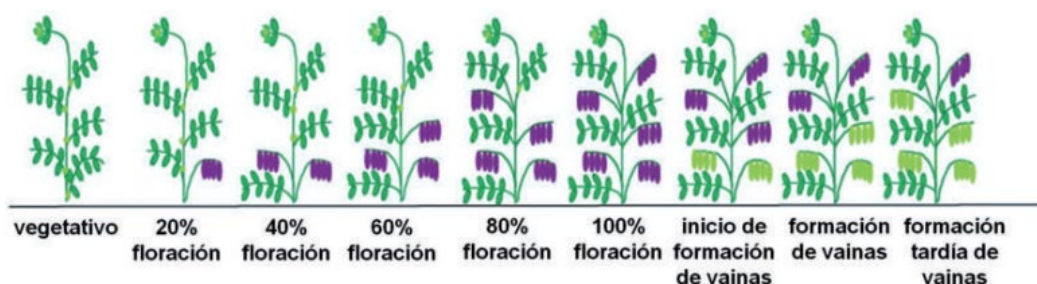


Ilustración 14. Ciclo fenológico de Vicia

Fuente: Vicias: bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana (Dughetti y otros, 2013).

Cuando se trata de asociaciones de especies, para realizar el rolado, hay que esperar a que madure la especie más tardía (Dughetti y otros, 2013).

Esquema teórico de acciones en barbecho químico tradicional vs con cultivo de servicio

	Esquema de barbecho químico	Esquema con CC
Herbicidas de otoño	Para control de lo nacido + control residual	Para control de lo nacido. Normalmente sin residualidad
Siembra	No	Sí
Semilla + curado	No	Sí
Herbicidas de primavera	Para control de lo nacido + control residual	Para secado del CC. Puede reemplazarse por el rolado
Herbicidas preemergentes del cultivo posterior	Sí	Sí
Herbicidas postmergentes del cultivo posterior	Sí	Igual o menos que en el esquema de barbecho químico

Ilustración 15. Distribución de acciones

Fuente: Cultivos de cobertura: bases para su manejo en sistemas de producción (Bertolotto y Marzetti, 2017).

Tercer punto

Análisis de casos

En un establecimiento en la localidad de Pascanas y Chazón, ubicadas en la provincia de Córdoba se analizaron tres lotes donde se realizaron cultivos de servicio en la campaña 22/23 y se evaluó como fue su impacto en el rendimiento y en las tareas realizadas y costos productivos durante el ciclo productivo, teniendo en cuenta la significativa falta de precipitaciones que sufrió la zona.

El análisis se llevó a cabo en tres lotes del establecimiento, en los cuales, dos contaron con cultivos de servicio en la campaña y el restante tuvo un manejo con barbecho químico tradicional. Uno de los lotes está ubicado en la zona rural de Chazón (con cultivo de servicio) y dos en la zona rural de Pascanas (uno con cultivo de servicio y otro con barbecho químico tradicional).

Ubicación geográfica



Ilustración 16. Ubicación del establecimiento

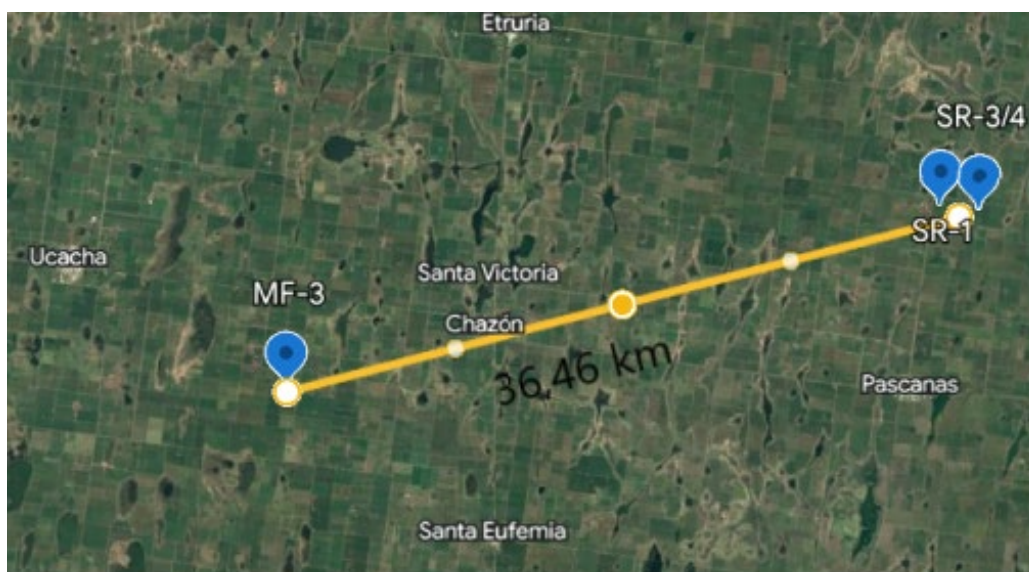


Ilustración 17. Ubicación de lotes

La distancia entre el lote MF-3 y los lotes SR-1 y SR-3/4 es de 36,46 km

Precipitaciones campaña 22/23

Las precipitaciones son medidas con pluviómetros ubicados en los campos. Los valores no corresponden a datos de las localidades.

Fecha	Chazón	Pascanas
	[mm]	[mm]

Cultivos de servicio, su impacto sobre los sistemas agrícolas y el efecto sobre los indicadores de calidad edáfica

14/5/2022	3	5
28/6/2022	2	4
8/8/2022	0	23
18/9/2022	14	15
21/9/2022	7	6
5/10/2022	4	8
19/10/2022	17	14
25/10/2022	35	6
11/11/2022	35	36
19/11/2022	24	35
20/11/2022	22	17
30/11/2022	15	0
7/12/2022	10	12
14/12/2022	4	8
23/12/2022	12	15
1/1/2023	16	18
12/1/2023	48	30
17/1/2023	3	8
20/1/2023	12	20
24/1/2023	8	6
27/1/2023	35	52
1/2/2023	18	15
8/2/2023	8	0
13/2/2023	9	13
16/2/2023	3	7
22/2/2023	6	6
6/3/2023	5	1
21/3/2023	35	5
22/3/2023	40	46
24/3/2023	4	32
2/4/2023	2	5
12/4/2023	7	18
460		491

Tabla 4: Precipitaciones

Rotación de cultivos por lote desde campaña 11/12

Lote	Has	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	21 / 22	22 / 23
MF-3	40	Soja	Trigo/Soja2°	Soja	Trigo/Soja2°	Soja	Soja	Alq. MANÍ	Trigo/Soja2°	Maíz	Soja	Trigo/Soja2°	CS/Soja
SR-1	120	Soja	Soja	Trigo/Soja2°	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo/Soja2°	Soja	Maíz	Soja
SR-3/4	134	Trigo/Soja2°	Soja	Maíz	Soja	Soja	Trigo/Soja2°	Maíz	Soja	Soja	Trigo/Soja2°	Maíz	CS/Soja

Ilustración 18. Rotaciones

En el lote MF-3 ubicado en la zona rural de Chazón se utilizó como cultivo de servicio centeno puro.

En el lote SR-3/4 ubicado en la zona de Páscaras se realizó en 100 ha cultivo de servicio de centeno puro y en 30 ha se optó por vicia villosa pura.

La densidad de siembra del centeno fue de 70 kg/ha en ambos lotes mientras que para la vicia villosa fue de 20 kg/ha.

En cuanto al rendimiento, debido a la fuerte falta de precipitaciones, se evidenciaron mermas muy considerables.

Lote MF-3

Rendimiento promedio: 11,2 qq/ha

En este lote con cultivo de servicio de centeno, ubicado en la zona de Chazón, el rendimiento fue menor con respecto a los otros dos lotes estudiados del establecimiento. Esta diferencia pudo deberse a varios motivos, entre ellos, menores precipitaciones como se mostró en la tabla de precipitaciones o fecha de siembra tardía con respecto a los lotes de Pascanas.

Manejo

Actividades realizadas durante la campaña 22/23

Especies sembradas de cultivo de servicio: centeno puro

Actividad	Fecha	Producto	Dosis	Unidad	Cantidad total	Lote
Siembra centeno Semilla	15/05/2022	Centeno Don Enrique	70	Kg/ha	2800 kg	40 ha
Curasemilla		Premis	100	Cc/1000 kg		
Pulverización terrestre	7/10/2022	Roundup full II Supernova	2 0.05	Lts/ha Lts/ha	80 lts 2 lts	40 ha
Siembra soja Semilla	14/11/2022- 15/11/2022	DM 46I20 iPRO STS	70	Kg/ha	3010 kg	40 ha
Inoculante		Pack Y-TERRA soja				
Pulverización terrestre	15/11/2022	Roundup full II	1.5	Lts/ha	64.5 lts	40 ha
		Dual gold	1	Lts/ha	43 lts	
		Sumisoya	0.13	Lts/ha	5.59 lts	
		Supernova	0.05	Lts/ha	2.15 lts	
Pulverización terrestre	3/12/2022	Roundup control max	1.6	Lts/ha	68.8	40 ha
		Cletodim	0.6	Lts/ha	25.8	
		Aceite mineral	1.1	Lts/ha	47.3	
Pulverización terrestre	9/02/2023	Roundup control max	1.6	Kg/ha	64	40 ha
		Abamectina 3.6%	0.125	Lts/ha	5	
		Bifentrin	0.1	Lts/ha	4	
		Cletodim	0.6	Lts/ha	24	
		Aceite metilado	0.25	Lts/ha	10	

Tabla 5: Actividades en campaña 22/23

Mapa de rendimiento

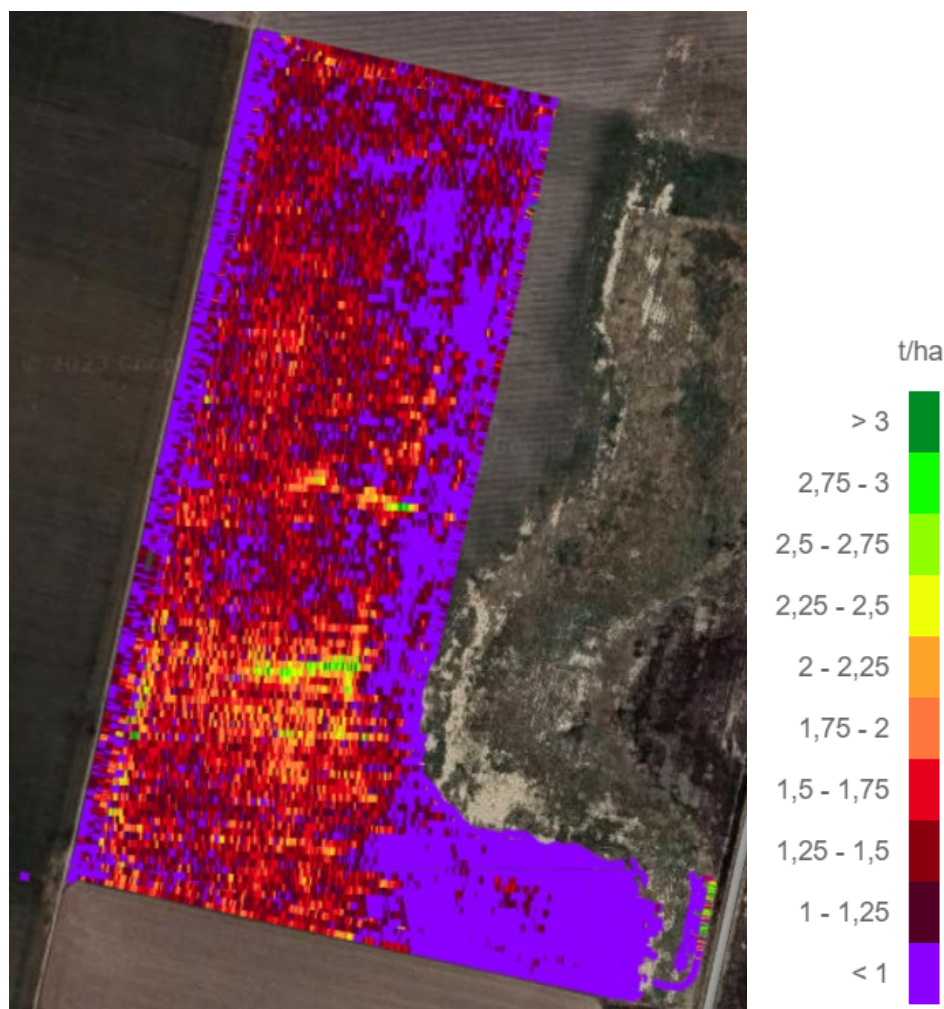


Ilustración 19: Mapa de rendimiento

Lote SR-3/4

Rendimiento promedio: 17,2 qq/ha corregido a 19,67 qq/ha, a partir de los kilos medidos por las tolvas, ya que en una zona del lote no estuvo en funcionamiento el humidímetro y no se pudo calcular el rendimiento.

Fecha de siembra: 31/10/2022 y 01/11/2022

Manejo

Actividades realizadas durante la campaña 22/23

Especies sembradas de cultivos de servicio: centeno puro en 85 ha y vicia villosa pura en 45 ha

Actividad	Fecha	Producto	Dosis	Unidad	Cantidad total	Lote
Fertilización	3/05/2022	Urea 46-0-0	45	Kg/ha	6030 kg	85ha
Siembra CS Semilla	4/05/2022		70	Kg/ha	5950 kg	85 ha

Fertilización		Centeno Don Enrique	20	Kg/ha	900 kg	45 ha
Curasemilla		Vicia villosa				
		Ascasubi				
		INTA	100	Cc/1000kg		
		Premis	25	Kg/ha	2125 kg	
Inoculante vicia		Fosfato monoamónico				
		11-52-0-0				
Pulverización terrestre	26/09/2022	Roundup full II	2	Lts/ha	268 lts	85 ha
		Supernova	0.045	Lts/ha	6.03 lts	
Siembra Soja	31/10/2022-1/11/2022	DM 40I21 iPRO STS	70	Kg/ha	9380 kg	130 ha
Inoculante		Pack Y-TERRA soja		Para 3000 kg		
Pulverización Terrestre	31/10/2022	Rounduo full II	1.5	Lts/ha	201lts	130 ha
		Dual gold	1	Lts/ha	134 lts	
		Sulfentrazone	0.5	Kg/ha	67 kg	
		Supernova	0.05	Lts/ha	6.7 lts	
Pulverización Terrestre	12/12/2022	Roundup control max	0.9	Kg/ha	99 kg	110 ha
		Cletodim	0.7	Lts/ha	77 lts	
		Aceite mineral	1	Lts/ha	110 lts	
Pulverización aérea	9/02/2023	Abamectina 3.6%	0.125	Lts/ha	16.75 lts	130 ha
		Aceite metilado	0.25	Lts/ha	33.5 lts	

Tabla 7: Actividades en campaña 22/23

Mapa de rendimiento

El área violeta que se observa en la parte superior y central izquierda corresponde a una zona donde no se midió rendimiento porque el humidímetro estaba sin colocar por reparación. El rendimiento real corregido del lote es 19,67 qq/ha. Entonces el rendimiento final se obtuvo a partir de los kilogramos medidos en las tolvas al momento del pesaje para almacenar.

En este lote el rendimiento promedio fue 2,37 qq/ha superior al lote SR-1 con barbecho químico tradicional en una campaña con marcada deficiencia de precipitaciones.

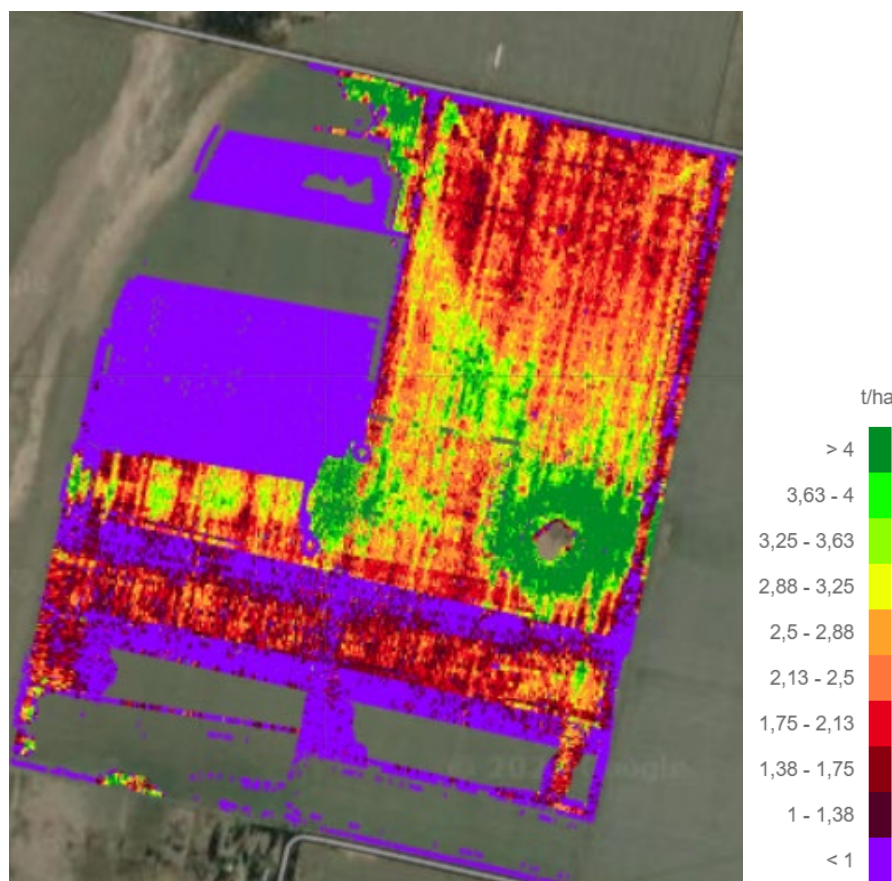


Ilustración 20. Mapa de rendimiento

Lote SR-1

Rendimiento promedio: 17,3 qq/ha

Fecha de siembra: 29 y 30 de octubre de 2022

Manejo

Actividades realizadas durante la campaña 22/23

Lote sin cultivo de servicio con un barbecho tradicional.

Actividad	Fecha	Producto	Dosis	Unidad	Cantidad total	Lote
Pulverización terrestre	10/09/2022	Roundup full II	1.8	Lts/ha	216 lts	120 ha
		2,4D advance	0.15	Lts/ha	18 lts	
		Metsulfurón	0.00	Kg/ha	0.96 kg	
		Supernova	8	Lts/ha	4.8 lts	
			0.04			
Siembra soja Semilla	28/10/2022-	DM 46I20 iPRO STS	70	Kg/ha	8400 kg	120 ha

Inoculante	30/10/2022	Pack Y-TERRA soja		Pack para 3000 kg		
Pulverización terrestre	29/10/2022	Roundup full II	1.5	Lts/ha	180 lts	120 ha
		Dual gold	1	Lts/ha	120 lts	
		Sulfentrazone	0.5	Kg/ha	60 kg	
		2,4D	0.5	Lts/ha	60 lts	
		Advance Supernova	0.05	Lts/ha	6 lts	
Desparramada	5/11/22	Clartex	3	Kg/ha	60 kg	20 ha de bajo
Pulverización terrestre	13/12/22	Roundup control max	0.9	Kg/ha	108	120 ha
		Cletodim	0.7	Lts/ha	84	
		Aceite mineral	1	Kg/ha	120	
		Manto	0.11	Lts/ha	13.2	
Pulverización terrestre	9/1/23	Roundup control max	1.5	Kg/ha	82.5 kg	55 ha
		Fomesafen	1.2	Lts/ha	66 lts	
		Benazolin	0.6	Lts/ha	33 lts	
		Supernova	0.05	Lts/ha	2.75 lts	
Pulverización aérea	9/2/23	Abamectina 3,6%	0.12	Lts/ha	15 lts	120 ha
		Cletodim	5	Lts/ha	72 lts	
		Aceite metilado	0.6	Lts/ha	30 lts	
			0.25	Lts/ha		

Tabla 8: Actividades en campaña 22/23

Mapa de rendimiento

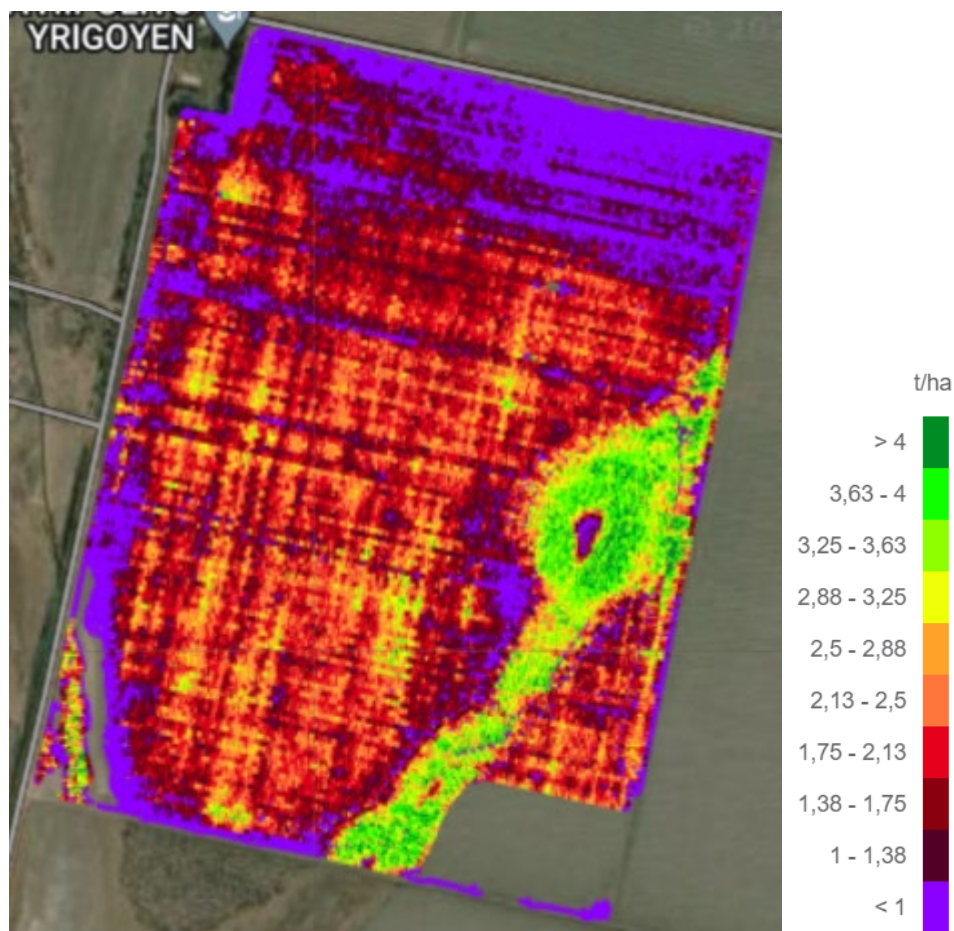


Ilustración 21. Mapa de rendimiento

Comparación de imagen de vegetación en campaña 23/24

Luego de la cosecha de soja de primera en los lotes SR-3/4 (izquierda) y SR-1 (derecha), se sembró trigo para la campaña 23/24. En las siguientes imágenes se observa el mapa de vegetación al 16/09/2023 y al 05/11/2023, que muestra el nivel de biomasa verde en el lote y permite comparar el crecimiento de distintos cultivos en los lotes a lo largo del tiempo y se pudo notar la mayor biomasa en el lote de la izquierda, que contó con cultivos de servicio en la campaña previa y probablemente esta diferencia se evidenció por mayor cobertura de rastrojo en el lote que permitió conservar más la humedad y sobrellevar de mejor manera la falta de precipitaciones durante el otoño e invierno. A su vez, estas imágenes se pueden correlacionar con el futuro rendimiento esperado y se podría decir que el lote SR-3/4 tendería a rendir más que el SR-1. La diferencia que se observó puede resultar en buena medida por los efectos del cultivo de servicio, ya que la rotación y el manejo productivo en ambos lotes fue el mismo.

Índice de vegetación al 16/09/2023

Lote SR-3/4 vs Lote SR-1

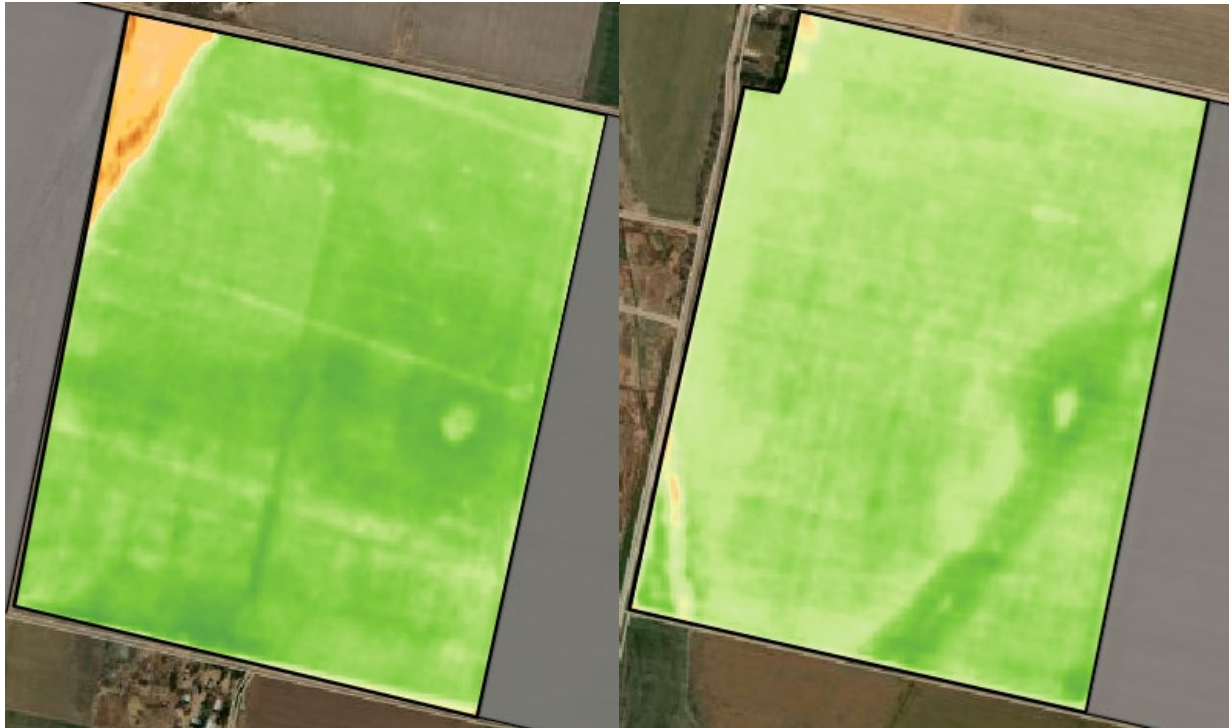


Ilustración 22. Índices de vegetación

Índice de vegetación al 05/11/2023

Lote SR-3/4 vs Lote SR-1

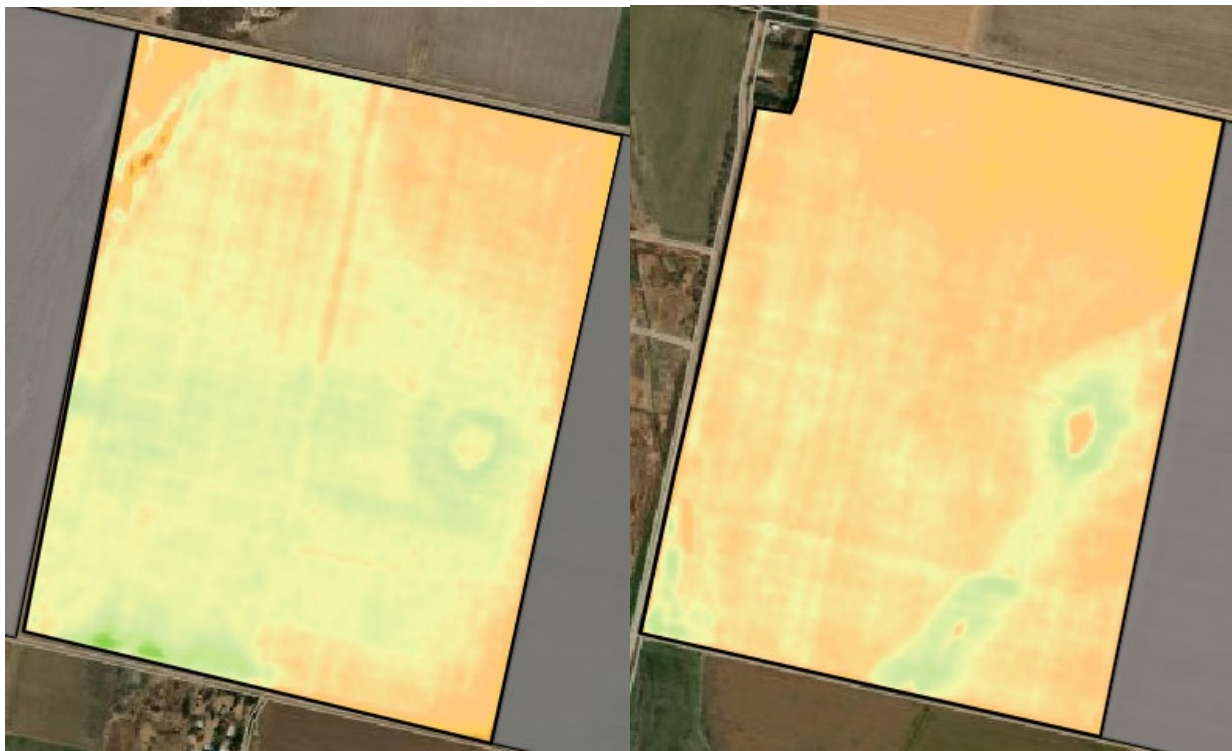


Ilustración 23. Índices de vegetación

Mapa de rendimiento

Lote SR-3/4 vs Lote SR-1

En las siguientes imágenes se observa el rendimiento de trigo para ambos lotes en la campaña 23/24. El lote de la izquierda, el SR-3/4, en buena parte fue afectado por heladas tardías de octubre que disminuyeron en gran medida el rendimiento. En cambio, la parte sur del mismo lote y el lote SR-1 fueron afectados en menor proporción.



Ilustración 24. Mapas de rendimiento

En la siguiente imagen se muestra lo que fue el rendimiento para la parte del lote SR-3/4 que no se heló, resultando en un rendimiento para las 44,5 ha de 23,54 qq/ha, siendo superior en 2,84 qq/ha a los 20,7 qq/ha de rendimiento promedio del lote SR-1. Así como se observó en ambos lotes para la campaña 22/23, el rendimiento en el lote que se hizo cultivos de servicio fue mayor también en la campaña de trigo y probablemente si no hubiese sido afectado por las heladas, la diferencia de rinde se hubiese visto reflejada también en el resto del lote, por lo que la incorporación de cultivos de servicio con un manejo adecuado no representa un condicionamiento en el rendimiento de los cultivos de renta posteriores, como en este caso soja de primera en la campaña 22/23 y trigo en la actual campaña 23/24.



Ilustración 25. Mapa de rendimiento

Estructura de costos de lote de barbecho tradicional y lote con cultivo de servicio

En la siguiente tabla, se muestran los costos directos fijos para los siguientes lotes durante la campaña 22/23 para determinar cuánto sería la erogación de llevar a cabo un cultivo de servicio y la diferencia en aplicaciones de herbicidas que se ahorrarían durante el ciclo del cultivo de renta. A partir de esto, se obtuvo como resultado que los costos directos fijos para el lote con cultivo de servicio fueron 426,64 u\$s/ha mientras que para el lote con barbecho químico tradicional fueron 316,7 u\$s/ha, es decir que en el lote con cultivos de servicio los costos directos fijos fueron 109,94 u\$s/ha superiores al lote con barbecho tradicional.

Como las cantidades de insumos son distintas para ambos lotes por tener distinta superficie, se hizo el siguiente cálculo para obtener los costos en u\$s/ha a fin de compararlos; $(\text{cantidad total} * \text{u}\$/\text{unidad}) / \text{has del lote} = \text{u}\$/\text{ha}$. A partir de esto se obtuvieron los resultados de costos directos fijos por ha para ambos planteos.

Costos									
Lote SR-1 (120 ha) con barbecho tradicional					Lote SR-3/4 (130 ha) con cultivos de servicio				
Actividad	Cantidad total	Unidad	u\$s/unidad	u\$s/ha	Actividad	Cantidad total	Unidad	u\$s/unidad	u\$s/ha
Servicio de aplicación	5	Unidad	10	50	Servicio de aplicación	4	Unidad	10	40
Servicio de siembra	1	Unidad	72,5	72,5	Servicio de siembra	2	Unidad	72,5	145

Cultivos de servicio, su impacto sobre los sistemas agrícolas y el efecto sobre los indicadores de calidad edáfica

Servicio de desparramada clartex	1	Unidad	13	13	Servicio de fertilización al voleo de urea	1	Unidad	13	13
Semilla DM 46I20 iPRO STS	8400	kg	0,8	56	Semilla DM 40I21 iPRO STS	9380	kg	0,8	57,72
Inoculante Pack Y-TERRA soja	2,8	packs	271	6,32	Inoculante Pack Y-TERRA soja	3,12	packs	271	6,50
Dual gold	120	lts	14,3	14,30	Curasemilla premis	0,595	lts	55	0,25
Sulfentrazone	60	kg	27,4	13,70	Semilla Centeno Don Enrique	5950	kg	0,53	24,26
2,4D advance	78	lts	7,6	4,94	Semilla Vicia villosa Ascasubi INTA	900	kg	2,4	16,62
Clartex	60	kg	9,8	4,90	Abamectina 3,6%	16,75	lts	8,9	1,15
Cletodim	156	lts	11,3	14,69	Urea ¹	6030	kg	0,568	26,35
Fomesafen	66	lts	9,6	5,28	Fosfato monoamónico ¹	2125	kg	0,908	14,84
Benazolin	33	lts	51,9	14,27	Roundup full II	469	lts	6,2	22,37
Aceite mineral	120	lts	3,5	3,50	Roundup control max	300	lts	7,8	18
Aceite metilado	30	lts	13,9	3,48	Supernova	12,73	lts	12,92	1,27
Supernova	13,55	lts	12,92	1,46	Dual gold	134	lts	14,3	14,74
Abamectina 3,6%	15	lts	8,9	1,11	Sulfentrazone	67	kg	27,4	14,12
Manto	13,2	lts	36,8	4,05	Cletodim	77	lts	11,3	6,69
Metsulfurón	0,96	kg	44,5	0,36	Aceite mineral	110	lts	3,5	2,96
Roundup control max	190,5	lts	7,8	12,38	Aceite metilado	33,5	lts	3,1	0,80
Roundup full II	396	lts	6,2	20,46					
Total				316,70					426,64

Tabla 8: Costos

¹: los valores de urea y MAP utilizados son a abril de 2023.

Margen bruto

El margen bruto es una medida de resultados que involucra presupuestos parciales no totales que resulta de Ingresos Brutos – Costos directos (fijos + variables).

En este caso se realizó un margen bruto para los lotes SR-1 y SR-3/4 ubicados en la zona de Pascanas. Los costos fijos fueron mostrados anteriormente en la tabla de costos y se calcularon los costos de cosecha y gastos de comercialización y un precio a cosecha de mayo de 340 u\$/tn. Teniendo en cuenta que el rinde del lote SR-3/4 fue superior al lote SR-1, la diferencia en el margen bruto se redujo en comparación a lo que fueron los costos fijos, siendo superior para el lote SR-1. A pesar de esto, los resultados obtenidos en los márgenes brutos son bajos debido a las condiciones climáticas marcadamente desfavorables durante la campaña. Sin embargo, vimos que, frente a un rendimiento superior en el lote con cultivos de servicio, se tendió a disminuir la mayor diferencia que existía en los costos directos fijos, es decir, que, suponiendo un mayor rendimiento en un cultivo de renta implantado sobre un cultivo de servicio, la diferencia real frente a un lote con barbecho tradicional sería de 50 u\$/ha como se muestran en las siguientes tablas de los márgenes brutos.

Lote SR-1

Total Costos Fijos u\$/ha		316,70
Gastos comercialización	u\$/Tn	% s/PrecioBruto
Fletes corto y largo	34,99	10,29%
Impuestos + sellado	5,10	1,50%
Paritaria	2,25	0,66%
Comision acopio	6,80	2,00%
Zarandeo	2,25	0,66%
Secado	6,15	1,81%
Gastos Comercializacion	57,54	16,92%
Total Gastos Comercializacion u\$ x ha		99,55
Costos Cosecha (Costo Variable) u\$/ha	9,00%	52,94
Total Costos Variables u\$/ha		152,49
Margen Bruto x ha		
Rendimiento	tn/ha	1,730
Precio	uss / tn	340,00
Ingreso Bruto	u\$/ha	588,20
Total Costos Directos Fijos	u\$/ha	316,70
Total Costos Directos Variables	u\$/ha	152,49
Margen Bruto x ha		u\$/ha 119,01

Tabla 6: MB Lote SR-1

Se consideró una tarifa para el flete corto y largo de 12.772,54 \$/tn para 270 km que es la distancia entre el establecimiento y el puerto de Rosario donde se entregan los granos, obtenida a partir de la Federación de Transportadores Argentinos de septiembre 2023. El tipo de cambio seleccionado fue 365 \$/u\$ por lo que la tarifa es 34,99 u\$/tn.

Lote SR-3/4

Total Costos Fijos u\$/ha		426,64
Gastos comercialización	u\$/Tn	% s/PrecioBruto
Fletes corto y largo	34,99	10,29%
Impuestos + sellado	5,10	1,50%
Paritaria	2,25	0,66%
Comision acopio	6,80	2,00%
Zarandeo	2,25	0,66%
Secado	6,15	1,81%
Gastos Comercializacion	57,54	16,92%
Total Gastos Comercializacion u\$ x ha		113,19
Costos Cosecha (Costo Variable) u\$/ha	9,00%	60,19
Total Costos Variables u\$/ha		173,38
Margen Bruto x ha		
Rendimiento	tn/ha	1,967
Precio	uss / tn	340,00
Ingreso Bruto	u\$/ha	668,78
Total Costos Directos Fijos	u\$/ha	426,64
Total Costos Directos Variables	u\$/ha	173,38
Margen Bruto x ha	u\$/ha	68,76

Tabla 7: MB Lote SR-3/4

Se consideró una tarifa para el flete corto y largo de 12.772,54 \$/tn para 270 km que es la distancia entre el establecimiento y el puerto de Rosario donde se entregan los granos, obtenida a partir de la Federación de Transportadores Argentinos de septiembre 2023. El tipo de cambio seleccionado fue 365 \$/u\$ por lo que la tarifa es 34,99 u\$/tn.

Diferencias entre cultivos de servicio de centeno y vicia villosa

A continuación, a modo de conclusión de lo explicado en el trabajo, se enumeran las diferencias entre centeno y vicia villosa partir de la práctica en el establecimiento y de los conceptos teóricos desarrollados.

Centeno	Vicia Villosa
Ciclo más corto	Crecimiento rastrero logrando una mejor cobertura del suelo
Crecimiento erecto	Poco crecimiento invernal, se lo puede asimilar a una alfalfa con latencia invernal. Se trata de una especie otoño invierno primaveral con mayor crecimiento en primavera y un pico en otoño

Mayor plasticidad en fecha de siembra	Más sensible a atrasos en la fecha de siembra, que condicionan la producción de MS en caso de que sea antecesor a soja de primera
Relación C/N más alta, implica una lenta descomposición y más lenta la liberación de nutrientes	Relación C/N más baja, por lo que la degradación de la biomasa ocurre más rápido en el tiempo
Aporte de C	Fijación biológica de N
Secado químico, más efectivo con glifosato	Secado químico necesita otro herbicida aparte de glifosato porque es medianamente tolerante
Es más eficiente para siembras aéreas	Puede haber rebrote cuando se la rola por eso es importante el momento de rolado
En mezclas con vicia villosa habría que bajar la densidad porque puede generarle mucha competencia y ahogarla o se podría pensar en alguna variedad de ciclo largo	Permite realizar siembras más tempranas
Mejor como antecesor de leguminosas	Mejor como antecesor de gramíneas
Cuando se siembra sobre maíz, impide el volado de los residuos más livianos del rastrojo, permitiendo que la distribución de la cobertura se mantenga uniforme evitando la generación de micro áreas de suelo descubierto	Menos viable para siembras aéreas porque la semilla es de mayor tamaño, requiere mayor imbibición y se dificulta generar las condiciones para que se pueda anclar correctamente
	Tiene el inconveniente que una vez seca puede enrollarse por el viento y volarse. Por esta razón, se la mezcla con centeno para que actúe como protección al volado de la cobertura.

Tabla 8: Diferencias

Conclusión

En conclusión, en este trabajo se quiere contribuir a demostrar que la implementación de cultivos de servicio tiende a una mejora de los sistemas agrícolas. Es importante considerar que los cultivos de servicio hay que planificarlos, diseñarlos y manejarlos para que sumados a un planteo agrícola adecuado conformen un avance en los sistemas de producción, aumentando el rendimiento de los cultivos y mejorando las propiedades del suelo a lo largo del tiempo.

En cuanto a lo analizado en el trabajo, pudimos determinar que un cultivo de servicio puede implicar un costo adicional para el productor pero que cuenta con efectos positivos a corto, mediano y largo plazo y habría que considerarlo como

un progreso en el sistema productivo ya que los beneficios de esta práctica se ven reflejados en los indicadores de calidad edáfica y en los rendimientos de los cultivos de renta conforme pasan las campañas y se logra profundizar en una rotación agrícola intensiva complementada con cultivos de servicio logrando tener el mayor tiempo posible el suelo cubierto con cobertura vegetal. Además, en este caso, pudimos determinar que frente a una campaña 22/23 con una sequía muy severa, se pudo obtener rendimientos superiores en lotes con antecesores de cultivos de servicio, incluidos en la rotación. Entonces, el consumo de agua del perfil del suelo por parte de un cultivo de servicio no es un condicionante severo para no llevar a cabo esta práctica.

Como comentario final, a partir de los beneficios explicados en el trabajo, se debería tratar de incluir los cultivos de servicio en las rotaciones.

Bibliografía

- Ahunchain Crusich J, Felló Rivero L, Soba Bentancur M E. Cobertura del suelo, captura y uso de la radiación y el agua, por vicia y centeno con antecesores de soja (Tesis de grado), Universidad de la República (2022).
- Álvarez C, Fernández R, Rillo S, Frasier I, Quiroga A. Cuándo, para qué y cómo usamos un cultivo de cobertura? San Luis: INTA ediciones, 2020. EEA San Luis, n° 197 (diciembre 2020), p 1-7.
- Álvarez C, Andrade J, Angeli A, Bello J, Berton M C, Bilbao A, Bonamico P, Burzaco L, Carabaca L, Cazado L, Caviglia O, Fernández R, Gallo S, García Frugoni F, Garibaldi F, Giorno A, Gómez Carella D, Granieri L, Frasier I, Levantini S, López D, Loza V, Noellemeyer E, Micheloud J, Permigeat F, Pinto P, Piñeiro Guerra G, Pérez D, Pérez Méndez N, Míguez F, Poggio S, Pozzi R, Prieto Angueira S, Quiroga A, Radrizzani J, Raspo S, Rey M, Rovea A, Saaby G, Sörenson F, Therisod G, Tiftonell P, Turchi D, Ventura J, Viglizzo E, Villarin S, Sistemas productivos sostenibles, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, AACREA, 1^{era} Edición, 2020, páginas 71-177.
- Aparicio V, De Gerónimo E, Hernández Guijarro K, Pérez D, Portocarrero R, Vidal C. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Balcarce, Buenos Aires; Famaillá, Tucumán; Reconquista, Santa Fe. Ediciones INTA, 1^{era} Edición, 2015.
- Bedmar F, Gianelli V. Malezas e invasoras en la Argentina. Tomo I: ecología y manejo. Capítulo XIV: comportamiento de los herbicidas en el suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires; Editorial de la Universidad Nacional del Sur, 1^{era} edición, 2015, ISBN 978-987-655-053-6.
- Bernardo V, Garita S, Ripodas J I, Gonzalez M, Arango C y Ruscitti M. Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agroforestal. La Plata, Editorial edulp, 1^{era} edición, 2020, Libro digital ISBN 978-987-8348-41-4, pág 64.
- Bertolotto M y Marzetti M, (2017), Manejo de malezas problema: cultivos de cobertura, REM AAPRESID, ISSN N°2250-5342 (versión papel) / ISSN N° 2250-5350 (versión on-line), volumen VII: 5-27.

- Brihet, J, Gayo, S, Regeiro, D, (2021), Cultivos de cobertura, Relevamiento de tecnología agrícola aplicada, ISSN 2591-4871, N°42: 2-7.
- Conti M. Principios de edafología. Argentina. Editorial facultad de agronomía, segunda edición, 2000, ISBN 950-43-9315-2.
- Díez Ochoa J F. Evaluación del efecto alelopático del centeno como cultivo antecesor (Trabajo de intensificación para optar por el título de Ingeniero Agrónomo), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 2021.
- Dughetti A C, Iurman D, Marinissen J, Galantini J A, Vanzolini J I, Renzi J P, De la Rosa Fernández L, Vigna M, Cantamutto M A, Kiehr M, Baffoni P, Gigón R, López R, Delhey R, Nadal S, Frayssinet S, (2013), Vicias: bases agronómicas para el manejo en la Región Pampeana, ISBN 978-987-521-470-5.
- Jesmid Bohóquez Vivas D. Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales (Tesis de Maestría en Ciencias-Química), Universidad Nacional de Colombia (2020).
- Paz Narváez I E. Microorganismos del suelo. Bogotá. Editorial UC (Universidad del Cauca), 1^{era} Edición, 2020.
- Restovich S. Los cultivos de cobertura y sus beneficios en la producción de alimentos, Pergamino, Argentina. INTA, ISSN 2718-6458, 2022.
- Ruffo M L, Parsons A T, Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas, Universidad de Illinois, Estados Unidos, publicado en Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 2004.