



Cultivos de servicio mezcla para construir sistemas multifuncionales

Autor: Luciano Dabalá

Santiago Alvarez

Ing. Agr. Ayudante, Departamento de Producción Vegetal – EEMAC – Sistemas de producción. Responsable técnico de la Asociación Uruguaya pro Siembra Directa. santiago.alvarez@fagro.edu.uy

Luciana Rey

Ing. Agr. (MSc) Asistente, Departamento de Protección Vegetal – EEMAC – Malherbología. lrey@fagro.edu.uy

1- INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la presión global por aumentar la producción de alimentos ha provocado un importante cambio en el uso del suelo. El proceso estuvo guiado por dos factores: (i) la intensificación y simplificación del uso agrícola del suelo, sustituyendo el tradicional sistema de rotación de pasturas con cultivos, por sistemas de agricultura continua basados en el cultivo de soja (Franzluebbers *et al.*, 2014) y (ii) la expansión de estos sistemas sobre áreas marginales ocupadas tradicionalmente por pasturas perennes o pastizales nativos (Baeza y Paruelo, 2020). Al mantenerse estos sistemas en el tiempo se han visto

afectados servicios ecosistémicos de soporte, como el ciclado de nutrientes y la formación de materia orgánica (Ernst *et al.*, 2018; Novelli *et al.*, 2016), y de regulación, como el control de la erosión, de plagas y enfermedades, de la calidad del agua o de la polinización (Kremen y Miles, 2012; Wingeyer *et al.*, 2015).

Mejorar los servicios ecosistémicos de regulación y soporte, sin perder la capacidad actual de producción, requiere planificar la diversificación del sistema agrícola. La cual considera una serie de prácticas que abarcan: (i) la diversificación de cultivos a escala temporal (rotación) y espacial (mezcla de especies); (ii) el diseño y generación de áreas no cultivables, como los desagües o hábitats semi naturales alrededor del campo; (iii) favorecer la diversidad en el suelo mediante la reducción del laboreo y el uso de enmiendas orgánicas y/o bio insumos (Kremen *et al.*, 2012; Kremen y Miles, 2012).

A nivel local, la normativa legal actual (Ley 19.355 art. 76) que establece que mantener el suelo descubierto está penado por ley, se ha traducido en la inclusión de cultivos de servicio (de cobertura), cuyo objetivo principal es reducir el riesgo de erosión, un servicio ecosistémico de regulación del sistema. Su implementación ofrece una oportunidad

sin precedentes para aumentar la diversidad “doméstica” (planificada) y promover múltiples servicios ecosistémicos desde la agricultura (más allá de la regulación de la erosión), como mejorar la estructura del suelo, el manejo de plagas, maximizar la eficiencia del uso de agua y nutrientes, regular la calidad del aire y del agua, incorporar nitrógeno al sistema y mejorar la productividad neta y el secuestro de carbono (C) a más largo plazo (Alvarez *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2021; Rimski-Korsakov *et al.*, 2016; Sawchik *et al.*, 2015).

Ninguna de las especies que pueden sembrarse en los tiempos improductivos del sistema (barbechos) puede brindar por sí sola todos los servicios ecosistémicos mencionados previamente. Por ejemplo, especies gramíneas comúnmente utilizadas como avenas, centeno o raigrás pueden producir altas cantidades de biomasa de manera económica (bajo costo de semilla y alto porcentaje de implantación), aportando a reducir el riesgo de erosión (Siri-Prieto y Ernst, 2011) o evitando el lavado de nutrientes (Finney *et al.*, 2016). Pero no fijan nitrógeno del aire y generan rastrojos con una alta relación C:N, exigiendo ajustar estrategias de manejo del N en el cultivo de renta siguiente que tengan en cuenta una baja disponibilidad

de este nutriente (Rutan y Steinke, 2019; Sawchik *et al.*, 2015). Por otro lado, leguminosas como tréboles o vicias pueden incorporar al sistema mediante fijación biológica de nitrógeno entre 50 a 100 kg de N ha⁻¹ (Pinto *et al.*, 2021), generando una biomasa de mayor calidad sin la necesidad de nitrógeno adicional. Pero son cultivos menos económicos por el propio costo de la semilla, una implantación menos uniforme y una producción de biomasa más errática en comparación a las gramíneas mencionadas (Elhakeem *et al.*, 2021). De manera similar, una crucífera como el rábano forrajero puede reciclar nutrientes como azufre de manera exitosa, pero tampoco podría aportar nitrógeno extra. Por lo tanto, la siembra de cultivos de servicio (CS) que combinan distintas especies permite, además de hacer un uso más eficiente de la energía solar y el agua disponible (barbecho vs. CS), mejorar la calidad de la biomasa producida (CS puro vs. mezcla), para ofrecer servicios ecosistémicos suplementarios al del control de la erosión, disminuyendo la necesidad de utilizar energía de origen fósil (fertilizantes y fitosanitarios de síntesis química), externa al sistema agrícola (Figura 1).

A pesar de las bondades previamente descritas de la mezcla de especies, de las 200 a 500 mil ha anuales des-

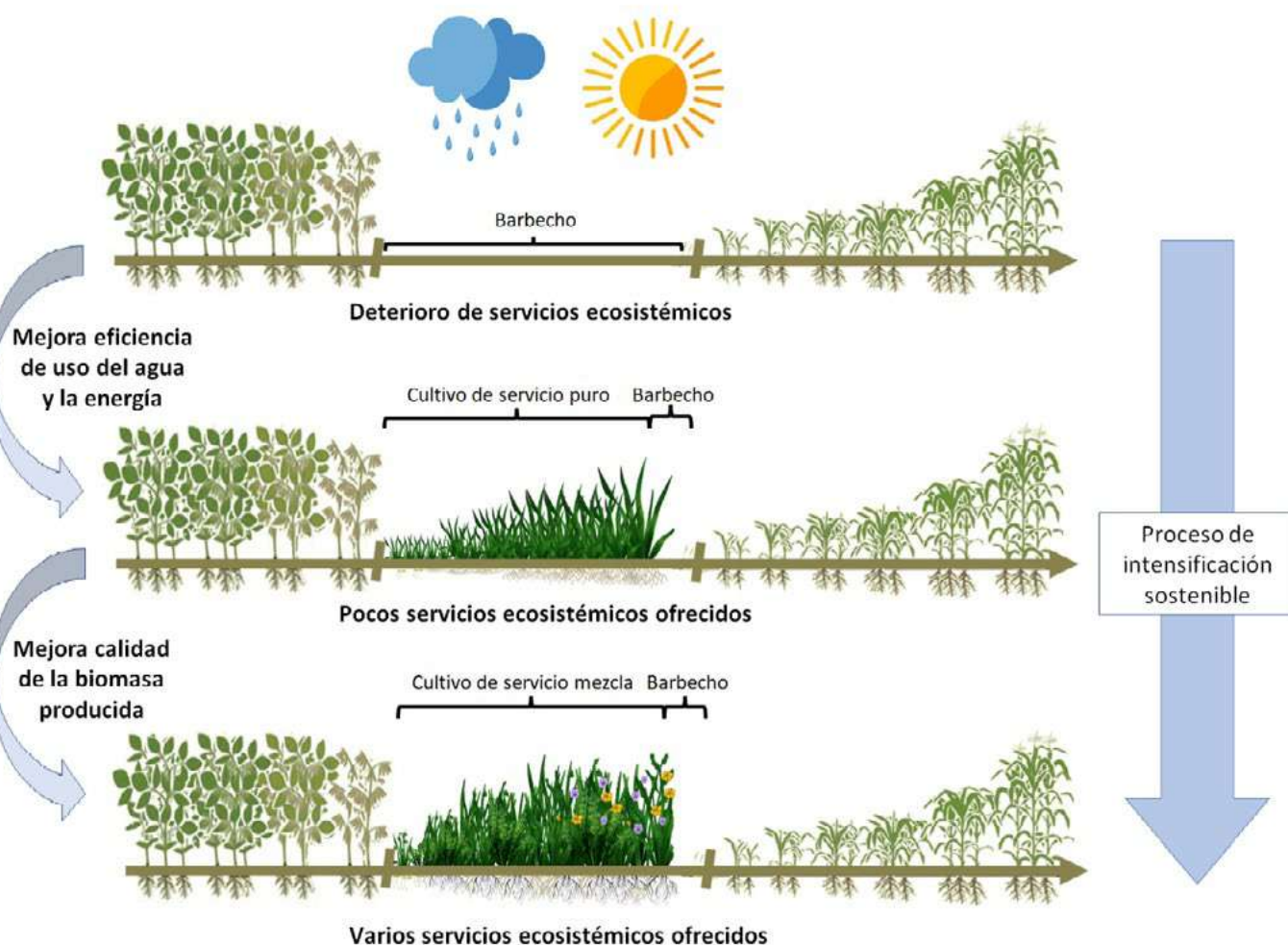


Figura 1. Marco conceptual de proceso de intensificación sostenible de los sistemas agrícolas asociado a la incorporación de cultivos de servicio puros y en mezcla en sustitución de períodos improductivos de barbecho.

tinadas a los CS desde la implementación de los Planes de Uso (Ernst *et al.*, 2021), usualmente los productores optan por la siembra de una sola especie (Peloche *et al.*, 2022).

En este artículo se presenta información sobre los principales criterios para la selección de las especies dentro de una mezcla. Para ello nos basamos en información nacional e internacional y utilizamos como ejemplo resultados preliminares de un experimento de campo local realizado durante dos años (Tabla 1) y de monitoreos de chacra del litoral agrícola del país realizados en el marco del proyecto FPTA 357 de «Cultivos de Servicio» durante 2022.

En EEMAC se evaluaron 11 tratamientos: 1 barbecho sucio, 3 CS leguminosa, 3 CS gramínea y 4 CS mezclas. En este artículo se presenta un resumen de los resultados con algunos de los tratamientos más representativos. Los CS se sembraron con sembradora a una profundidad de 2 cm el 13 de mayo en 2022 y el 6 de junio el 2023 posterior a la cosecha de cultivos de soja. A excepción de las gramíneas el primer año (19/9), en ambos años las fechas de supresión y siembra de maíz fueron el 12 de octubre y el 21 de noviembre, respectivamente.

El monitoreo de chacras consistió en un relevamiento de 90 sitios a lo largo de la principal zona agrícola del país (entre Colonia y Quebracho) registrándose especie/s sembradas, fecha de siembra, método de siembra y fecha de supresión. A supresión se registró la biomasa seca producida. En CS mezcla se determinó la proporción de biomasa correspondiente a cada componente de la mezcla (solo existieron mezclas de gramíneas y leguminosas). Los resultados se presentan por familias de especies gramíneas (ej.: avenas, centeno y raigrás) y leguminosas, siendo estas últimas representadas principalmente por *Vicia villosa*.

2- CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES DENTRO DE UNA MEZCLA

El criterio para seleccionar las especies se debe basar en una serie de características y pasos que garanticen que la mezcla aporte las funciones que el sistema necesita. Para ello es necesario considerar: (i) la necesidad del sistema de cultivo; (ii) la compatibilidad con la rotación; (iii) la compatibilidad de las especies; (iv) el método de siembra; (v) el método de supresión; y (vi) el potencial de invasión (Figura 2).

Necesidad del sistema de cultivo

La elección de las especies debe comenzar en primera instancia por la identificación de los principales problemas o necesidades de servicios ecosistémicos que tiene la chacra donde va a ser sembrado el CS. Como ya fue mencionado, las especies difieren en la cobertura del suelo

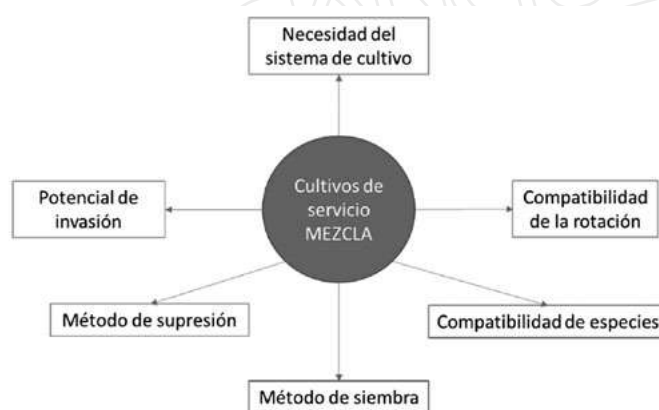


Figura 2. Principales criterios para la elección de las especies componentes de una mezcla. Adaptado de Chapagain *et al.* (2020).

Tabla 1. Características generales de los cultivos de servicio evaluados en el experimento de campo sembrado durante 2022 en la EEMAC. DDA = día del año

Cultivos de servicios	N agregado kg ha ⁻¹	P agregado kg ha ⁻¹	Densidad siembra kg ha ⁻¹	Largo de ciclo días	
				2022	2023
Período					
<i>Vicia villosa</i>	0	50	25	153	133
<i>Lupino angustifolius</i>	0	50	120	153	133
<i>Av. strigosa</i>	46	50	32	131	133
<i>Av. byzantina</i>	46	50	52	131	133
<i>Av. strigosa</i> AD <i>V. villosa</i>	0	50	32 25	153	133
<i>Av. strigosa</i> BD <i>V. villosa</i>	0	50	16 25	153	133
<i>Av. byzantina</i> <i>V. villosa</i>	0	50	21 25	153	133
<i>Av. byzantina</i> <i>V. villosa</i>	0	50	21 25	153	133

*En las mezclas el componente gramínea (*Av. byzantina ystrigosa*) fue suprimido el 20/9.

que pueden lograr, en la cantidad de raíces, la capacidad de aportar nitrógeno, la cantidad y relación C:N de la biomasa producida o en la atracción de polinizadores, entre otros (Chapagain *et al.*, 2020; Garba *et al.*, 2022). Por lo tanto, al diseñar el CS mezcla, es necesario pensar en la combinación de especies óptimas (especies y proporción) que promuevan los servicios ecosistémicos deseables para el sistema en cuestión.

Por ejemplo, sistemas en agricultura continua que poseen una alta intensidad de la fase agrícola (número de cultivos de renta/año), y, por lo tanto, un alto nivel de extracción de nutrientes, pueden tener problemas asociados a la capacidad de suministro de nutrientes (Ernst *et al.*, 2020). En este caso, mezclas de especies que incorporen nitrógeno por fijación biológica (leguminosas) y tengan una alta capacidad de reciclar nutrientes (gramíneas y crucíferas), podrían cumplir con los servicios ecosistémicos demandados.

Algunos de estos aspectos pudieron ser evidenciados en el experimento realizado en la EEMAC, donde se encontraron diferencias en la cantidad de la biomasa seca producida entre los distintos tratamientos y en la relación C:N (Tabla 2). Este aspecto es clave porque rastrojos con una relación C:N < 24 promueven procesos de mine-

ralización neta (liberación de nutrientes a la solución del suelo), mientras que rastrojos con una relación C:N > 24 promoverán un proceso de inmovilización de nutrientes, disminuyendo la concentración de estos en el suelo para un momento dado, pudiendo generar problemas de déficit nutricional en el cultivo de renta que requieran un ajuste de la fertilización (Rutan y Steinke, 2019; Sawchik *et al.*, 2015).

La relación C:N es altamente dependiente del porcentaje de leguminosa en el CS. En la Figura 3, se aprecia una correlación negativa entre el aumento en la proporción de la biomasa aérea de leguminosas y la relación C:N hasta llegar a un valor aproximado de 10-15:1. De dicho gráfico se puede interpretar que sería necesario un 35% de biomasa seca de leguminosa en el CS para tener una C:N inferior a 24. Valor a partir del cual, el aumento en la proporción de leguminosas, no provoca cambios relevantes en la relación C:N.

La calidad (relación C:N) y el aporte de nitrógeno de los distintos CS de este experimento explicó la variabilidad en cuanto al contenido de nitratos en los primeros 15 cm de suelo a la siembra del maíz y en V6, medidos en el primer año sobre algunas de las parcelas con CS. Posterior al cultivo de *Av. byzantina* los valores fueron inferiores a 10 ppm de N-NO₃⁻, mientras que posterior a *Vicia villosa* y las mezclas siempre fueron superiores a 20 ppm (Figura 4b).

Sin embargo, los sistemas normalmente son más complejos y podrían, además, demandar otros servicios, como el de mejorar el control de malezas o aportar carbono a partir de las raíces. En el primer caso, es necesario considerar especies que tengan una alta tasa de crecimiento inicial y un mayor poder de interferencia, volviéndolas más competitivas por luz, nutrientes y agua. Por otra parte, resulta importante seleccionar especies que presenten rastrojos con una relación C:N que evite que este sea descompuesto rápidamente (Finney *et al.*, 2016), permitiendo mantener la cobertura del suelo por más tiempo. En nuestro estudio todos los CS que lograron un 80% de cobertura de suelo, lograron un control de malezas superior al 90% (Figura 4a). Sin embargo, el rastrojo de un CS leguminosa (ej.: *Vicia*

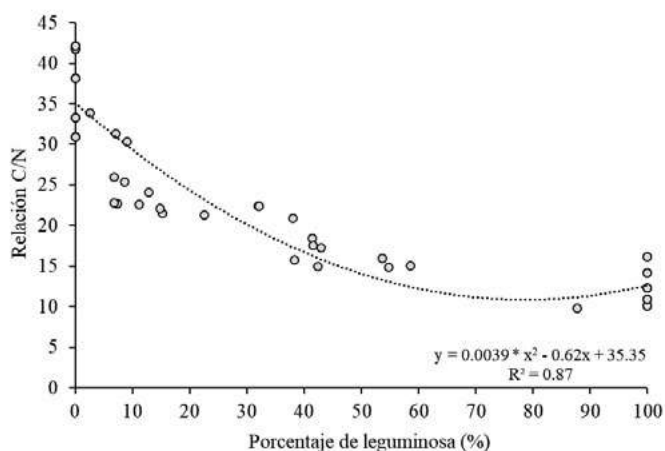


Figura 3. Relación C:N en función del porcentaje de leguminosas de los CS para dos años de evaluación.

Tabla 2. Producción biomasa aérea, nitrógeno aportado por biomasa aérea, relación carbono/nitrógeno (C:N) y biomasa radicular de los cultivos de servicio evaluados durante los dos años de experimentos.

	Biomasa aérea	N biomasa aérea	Relación C/N	Biomasa radicular
Unidades	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	#	Mg ha ⁻¹
<i>Vicia villosa</i>	4,7 bc	195 a	11 a	0,7 c
<i>Lupino angustifolius</i>	4,4 c	119 ab	15 ab	0,5 c
<i>Avena strigosa</i>	8,7 a	92 b	40 d	1,3 a
<i>Avena byzantina</i>	7,4 abc	85 b	38 d	1,2 ab
<i>Av. Strigosa</i> BD + <i>V. villosa</i>	7,5 ab	174 ab	19 bc	1,0 bc
<i>Av. Strigosa</i> AD + <i>V. villosa</i>	8,0 a	158 ab	24 c	1,3 a
<i>Av. byzantina</i> AD + <i>V. villosa</i>	6,9 abc	132 ab	22 bc	1,0 bc
<i>Av. byzantina</i> BD + <i>V. villosa</i>	6,6 abc	147 ab	19 bc	1,1 abc

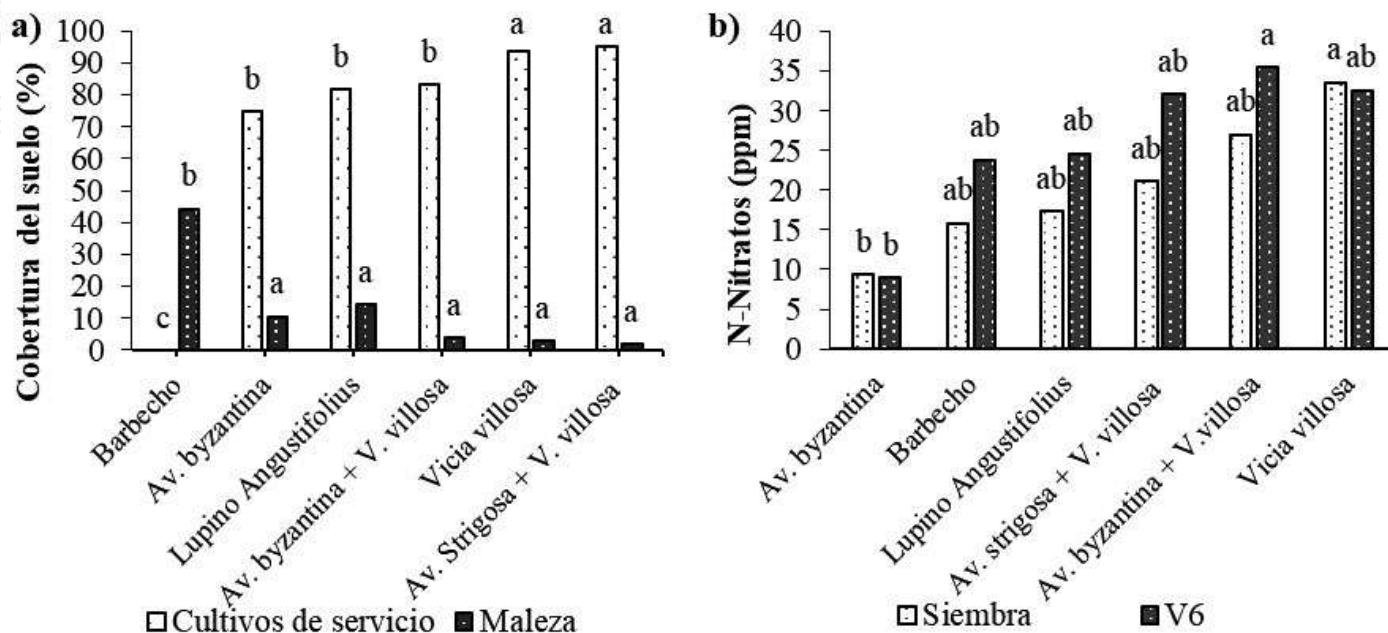


Figura 4. a) Cobertura del suelo (%) por cultivo de servicio (barra blanca con puntos negros) y por malezas (barra negra con puntos blancos); y b) Nitrógeno como nitratos (ppm) a siembra (barra blanca con puntos negros) y a V6 (barra negra con puntos blancos) para el año 2022. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. El método utilizado para la comparación de medias fue Tukey.

villosa) se descompondrá más rápidamente por poseer una muy baja C:N, lo que podría favorecer el enmalezamiento dentro del sistema en comparación a CS que posean una mayor relación C:N (Pittman *et al.*, 2020).

Otro caso, podría ser en el que se pretende mejorar el servicio de control de la erosión, o reducir las pérdidas por evapotranspiración durante el cultivo renta. Al igual que para el control de malezas, se requieren especies que generen una alta cantidad de residuo que no se descompongan rápidamente. Sin embargo, es usual que los cultivos utilizados con estos fines posean una muy alta relación C:N al momento de su supresión ($C:N > 40$) promoviendo el ya explicado proceso de inmovilización. Esta situación puede ser resuelta con la incorporación en la mezcla de una leguminosa que disminuya la relación C:N (Figura 3).

Por último, el aporte de raíces por su potencial aporte de

carbono a los suelos debería ser un factor determinante en la inclusión y selección de los CS. Los resultados de ambos años de experimentos indican que tanto la elección de la familia de especies como la productividad propia de los CS es determinante de la producción biomasa radicular (Tabla 2 y Figura 5). De la Figura 5 se desprende una relación raíz/ parte aérea, por lo que se podría estimar la producción de biomasa radicular general para los CS multiplicando por 0,15 la producción de biomasa aérea.

A través de una mayor diversidad de especies se puede aumentar los servicios ecosistémicos que brinda la siembra de estos cultivos. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la multifuncionalidad es limitada, ya que en la medida que se modifican los componentes de la mezcla (quito o sumo especies) y su proporción (importancia relativa de cada especie) algunos servicios se verán favorecidos y otros perjudicados.

Ciertos productores pueden valorar por su propio sistema de producción que las especies ofrezcan la posibilidad de generar un beneficio o ingreso extra a través de la generación de forraje (ej.: pastoreo o retiro mecánico). Este puede ser un mecanismo eficaz para aumentar la funcionalidad y la adopción de los CS (Piñeiro *et al.*, 2022). Siempre y cuando se tome en cuenta que no debe ser el objetivo principal, ya que un retiro excesivo de la biomasa producirá en detrimento de los servicios ecosistémicos buscados para el sistema (Mailhos, 2017). Incluso si se convierte el beneficio del servicio ecosistémico ofrecido (ej.: aporte de nitrógeno, control de malezas) a un valor económico (ej.: equivalente en USD de Urea y de herbicidas utilizados, etc.), el margen neto podría ser incluso mayor al del pastoreo.

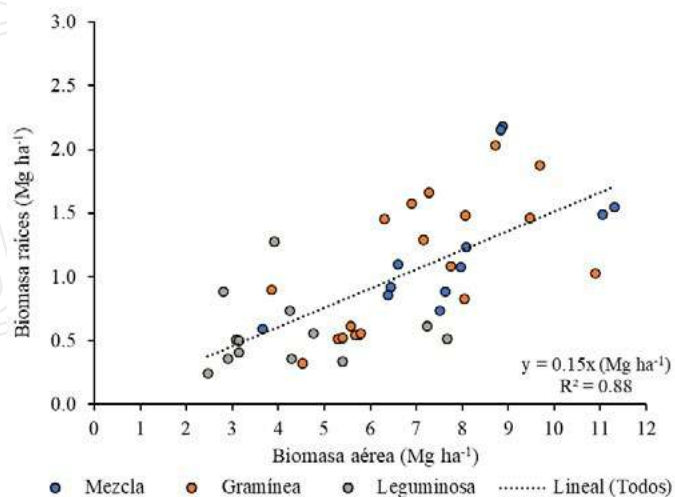


Figura 5. Gráfico de dispersión entre biomasa seca de raíces y biomasa seca aérea para todos los CS en los dos años de evaluación.

Compatibilidad de la rotación

Una vez valorados los servicios ecosistémicos que el sistema necesita, se debe determinar cuáles de las especies que ofrecen dichos servicios encajan con la rotación de cultivos establecida, ya que el período de crecimiento de los cultivos de renta utilizados en la rotación determinará la ventana de crecimiento disponible para los CS. Actualmente, por ser la soja el principal componente de la rotación agrícola, en la región prima la elección de especies invernales como CS. Sin embargo, también existen especies que pueden ajustarse a siembras de verano como el Trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* L.), distintas especies del género *croton* (*juncea*, *spectabilis*, etc) o

gramíneas como la moha.

Para especies de invierno, estudios realizados a nivel local han estimado en torno a 150 días el período de crecimiento necesario en especies puras para alcanzar 4-5 Mg ha⁻¹ de biomasa seca (Sawchik *et al.*, 2015), considerado por algunos técnicos e investigadores como el mínimo indispensable para que los CS cumplan con sus funciones (Finney *et al.*, 2016; Siri-Prieto y Ernst, 2011).

Del relevamiento de chacras de productores durante la zafra 2022 surge que para el caso de los CS puro (principalmente las leguminosas), es necesario alcanzar los 150 días de crecimiento para lograr niveles de biomasa óptimos (Figura 6d), lo que implica que la siembra debe ser previo al 15 de mayo (Figura 6c). Sin embargo, el número de días

Tabla 3. Resumen de los servicios ecosistémicos que pueden necesitar los sistemas agrícolas, las características deseables a la hora de seleccionar las especies para cumplir con determinado servicio ecosistémico y las especies utilizadas en el mercado local que tienen la característica deseable. Adaptado de Chapagain *et al.* (2020).

Servicio ecosistémico	Características deseables	Especies
Reducir la erosión	Alta tasa de crecimiento inicial	Centeno Avena sp.
	Rastrojo de baja descomposición (Alta C:N)	Raigrás
Controlar malezas	Alta tasa de crecimiento inicial	Centeno Avena sp.
	Rastrojo de baja descomposición (Alta C:N)	Raigrás
	Rápida captura de agua y nutrientes	<i>Vicia villosa</i>
	Alelopatía	Nabo Forrajero
Aumentar materia orgánica particulada del suelo (POM)	Alta producción de raíces finas	Centeno Avena sp.
	Alta relación C:N	Raigrás
Aumentar materia orgánica asociada a la fracción mineral del suelo (MOAM)	Alta producción de raíces finas	Vicia sp.
	Baja relación C:N	Treboles sp.
Aumentar reciclaje de nutrientes / reducir pérdidas por lavado	Alta profundidad de raíces	Centeno Avena sp.
	Rápida captura de nutrientes	Raigrás
	Alta absorción nutrientes	Nabo forrajero
Mejorar propiedades físicas suelo (infiltración, aireación, estabilidad de agregados, etc)	Alta producción de raíces finas	Centeno Avena sp.
	Alta producción de raíces gruesas	Raigrás Vicia sp. Trébol sp. Nabo Forrajero
Reducir emisiones de gases de efecto invernadero (N ₂ O)	Rápida captura de nitrógeno del suelo	Centeno Avena sp.
	Alta absorción nitrógeno	Raigrás
Aumentar nitrógeno del suelo	Fijación biológica de nitrógeno	Vicia sp. Trébol sp.
Disminuir pérdidas de agua por evaporación	Alta cantidad de rastrojo en superficie	Centeno Avena sp.
	Rastrojo de baja descomposición (Alta C:N)	Raigrás
Aumentar polinizadores	Alta producción de flores y polen	Vicia sp. Trébol sp.

para alcanzar el límite de 4 a 5 Mg ha⁻¹ es menor en los CS mezcla (Figura 6d), explicado por una mayor productividad general de estos cultivos (Figura 6b). Similares resultados han sido obtenidos en relevamientos de chacras de otros productores de la región, donde se observan incrementos en la producción de biomasa de entre un 15 a 20% al comparar CS mezclas vs. puros (Piñeiro *et al.*, 2022).

En sistemas que poseen una alta frecuencia de cultivos de segunda, la siembra temprana de los CS es un desafío real. En este sentido, cuando el período de crecimiento se encuentra limitado por fechas de cosecha tardías (sojas y maíces de segunda) la siembra al voleo en precosecha de los CS es una alternativa viable con distinto grado de éxito en función del antecesor de verano (soja > maíz) e

invierno (canola > trigo > cebada), las condiciones durante el establecimiento del CS (humedad y temperatura) y las especies utilizadas (ver capítulo 2.4).

Aunque la bibliografía internacional es concluyente acerca de que la mezcla más productiva no produce más biomasa que el monocultivo más productivo (Elhakeem *et al.*, 2021; Finney *et al.*, 2016), suele observarse una mayor estabilidad en la producción de la mezcla en distintos ambientes (Wending *et al.*, 2019). Lo cual probablemente sea debido, a que si analizamos la información ambiente por ambiente es probable que una especie pura destaque sobre el resto en cuanto a productividad, pero al observar el comportamiento de los CS en diferentes ambientes las mezclas de especies normalmente logran una mayor

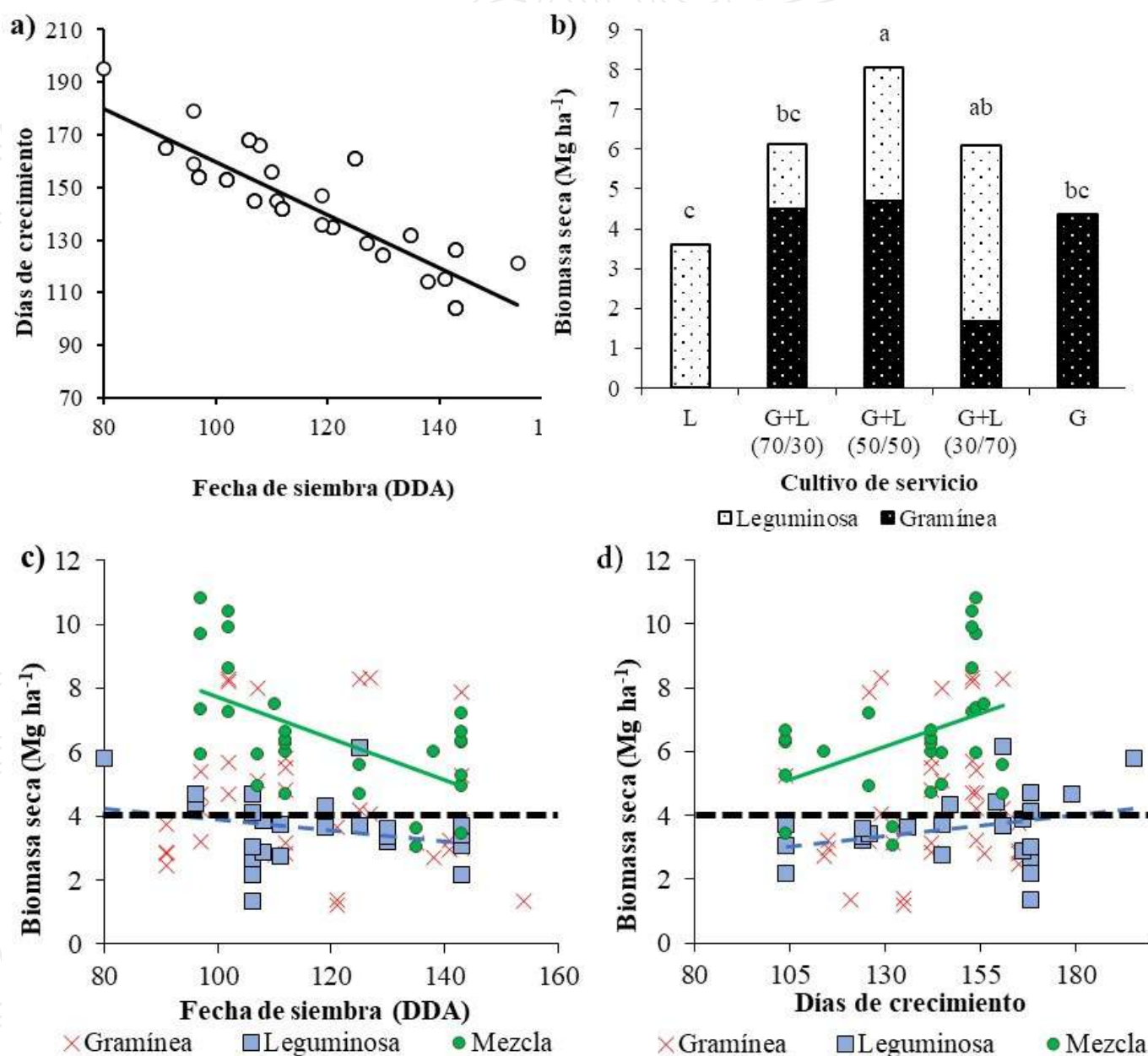


Figura 6. Resultados del monitoreo de 90 sitios a nivel comercial. A) Días de crecimiento del cultivo de servicio en función de la fecha de siembra (DDA = Día del año (ej.: 120 = 30 de abril)). b) Biomasa seca producida en función del tipo de cultivo de servicio (L = leguminosa; G = gramínea; entre paréntesis se encuentra la proporción en la mezcla). c) Biomasa seca del cultivo de servicio en función de la fecha de siembra. d) Biomasa seca en función de los días de crecimiento (fecha de siembra – fecha de supresión) del cultivo de servicio. Línea negra con rayas indica límite de productividad de 4 Mg ha⁻¹ (Sawchik *et al.*, 2015). Para gráficos c y d, cruces rojas indican cultivo de servicio gramínea, cuadrados azules son leguminosa y círculos verdes mezclas. El color de la línea de tendencia se asocia al color de cada cultivo de servicio. Línea de tendencia sólida indica que la regresión lineal es significativa con 95% de confianza. Línea de tendencia punteada indica que la regresión lineal es significativa con 90% de confianza.

estabilidad productiva, por tener una mayor capacidad de adaptación a diferentes condiciones (Elhakeem *et al.*, 2021). Esto puede explicar porque en análisis de bases de datos de productores que realizan agricultura en diferentes ambientes, la media de productividad sea mayor al mezclar especies en comparación con CS de una especie (Piñeiro *et al.*, 2022).

Compatibilidad de las especies

Al seleccionar las especies de una mezcla, se debe considerar que sean complementarias, para evitar la competencia por recursos como la luz, los nutrientes o el agua en el suelo. Algunos aspectos para tener en cuenta para lograr una buena compatibilidad de especies son: el porte (ej.: erecto o rastrero), el tipo de cobertura del suelo (altas y abiertas, cortas y densas o tipo enredaderas), el crecimiento inicial, el período en el que se ubican las mayores tasas de crecimiento (otoño-invernales o primaverales) y la arquitectura y profundidad de las raíces.

Utilizar especies con similares características probablemente llevará a que compitan por los mismos recursos, mientras que las especies con formas de crecimiento diferentes tienen más probabilidades de ser complementarias.

Por ejemplo, dentro del género avena, sustituir en una mezcla con gramíneas a la avena negra (*Av. strigosa*), que tiene un muy rápido crecimiento inicial, por la avena común (*Av. byzantina*), que posee un crecimiento inicial más lento, permite reducir la competencia durante el establecimiento de la especie leguminosa. También existen sinergias entre especies como puede ser el caso de especies gramíneas que por ser «vecinas» de las leguminosas en una mezcla, se aprovechan de un ambiente enriquecido en nitrógeno (Nyfeler *et al.*, 2011). Sinergia que es muy útil en ambientes deficitarios en este nutriente.

Para el caso de especies muy competitivas como las

gramíneas, se puede disminuir su dominancia en la mezcla al reducir su densidad comparando a como se siembra pura.

Método de siembra

Al mezclar especies se debe considerar que se adapten al método de siembra utilizado (al voleo o en la línea) y si es en la línea, a la profundidad de siembra. Por ejemplo, entre las leguminosas, a nivel local, en el litoral oeste del país *Vicia villosa* ha mostrado resultados positivos en siembras al voleo, alcanzando niveles de productividad similares a siembras con sembradora (Figura 7). También el Trébol alejandrino ha mostrado resultados satisfactorios en la región este del país (Sawchik *et al.*, 2015). Esta ventaja les permite ser sembrados en mezclas con gramíneas previo a la cosecha de cultivos de verano. Con la consecuente ventaja operativa de no competir en el tiempo por la maquinaria (sembradora) con los cultivos de renta de invierno. Además de ser una opción más económica.

Con respecto a siembras en la línea, la profundidad de siembra es el principal obstáculo de compatibilidad de las especies. En estos casos la siembra se debe ajustar en función de la especie que sea más susceptible a la profundidad (leguminosas > crucíferas > gramíneas).

Tanto en siembras al voleo como en la línea (cuando se posee un solo cajón de siembra), el ajuste de la densidad de siembra se debe realizar en función de cantidad total por hectárea que se va a utilizar (suma de las densidades de todas las especies). Siendo clave realizar una mezcla homogénea de las especies.

Método de supresión

La utilización de herbicidas para el secado de los CS es la práctica más usual entre los productores agrícolas del país. La tolerancia a los herbicidas puede ser variable entre las especies. En el caso de las gramíneas y crucíferas como los nabos, se logran controles satisfactorios a dosis normales de glifosato (48%) del orden de 2,5 Mg ha⁻¹. Sin embargo, para especies leguminosas es necesaria combinar principios activos. Por ejemplo, para *Vicia villosa*, una especie medianamente tolerante al glifosato, es recomendable mezclar glifosato con otro herbicida como dicamba o fluoxipir para mejorar el control (Bertolotto y Marzetti, 2017). Es necesario considerar que en la medida que una mezcla aumente el número de especies, es probable que se necesiten dos o más principios activos para lograr un control satisfactorio de los CS, sumado a los principios activos necesarios para controlar las malezas que hayan permanecido en esta etapa.

En sistemas en siembra directa existe otra alternativa poco extendida entre los productores agrícolas del país, pero utilizada hace décadas en Brasil y Paraguay, que es el secado mecánico a través del rolado. El cual consiste en

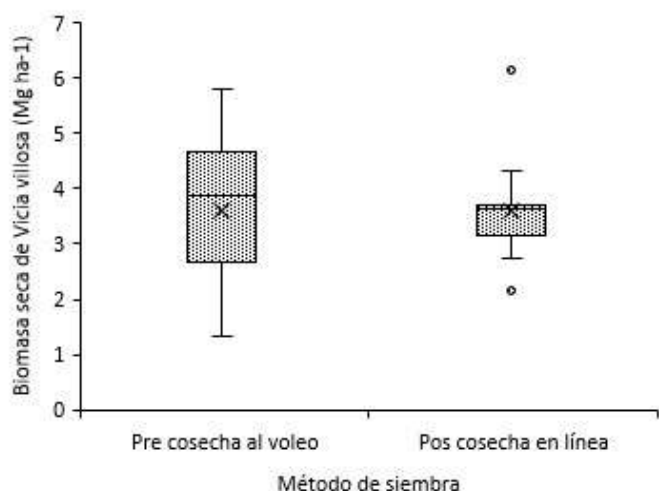


Figura 7. Gráfico de cajas y bigotes para la producción de biomasa seca de *Vicia villosa* según si el método es pre cosecha al voleo (n = 9) o pos cosecha en línea (n = 13). La cruz muestra el valor medio para cada método.

pasar por encima del cultivo un cilindro de entre 30-60 cm de diámetro (rolo) que contiene hojas sin filo y al cual se le ajusta su peso para dañar el tejido vascular de la planta provocando su secado sin cortar ni arrancar (Creamer y Dabney, 2002). Esta alternativa permite eliminar o reducir la dosis habitual de herbicidas para terminar el ciclo de los CS, además de depositar el residuo de manera uniforme sobre la superficie del suelo, mejorando la cobertura y así la supresión de malezas, la retención de humedad y la conservación del suelo (Creamer y Dabney, 2002). Sin embargo, no puede ser utilizado para interrumpir todas las especies. Existen experiencias exitosas con gramíneas como centeno, avena, trigo y cebada, o leguminosas como *Vicia villosa*, Trébol encarnado o arveja (Baigorriáet *al.*, 2012; Chapagain *et al.*, 2020). También es necesario considerar que gran parte del éxito depende del estado fenológico en el cual se realiza la práctica. Por ejemplo, para el caso de las gramíneas el momento óptimo es en antesis. Si se realiza antes puede existir rebrote y después se puede formar semilla viable, pudiendo convertirse la especie rolada en una maleza dentro del sistema. En el caso de *Vicia villosa* se recomienda que la especie haya superado el 100% de floración (estadio 6-7 en escala de Mischleret *al.* (2010), previo a que genere semilla viable.

Por estos motivos, seleccionar especies compatibles para el rolado es un verdadero desafío porque no solo es importante que la especie sea susceptible al rolado, sino que también debe ser compatible el momento en que las especies son susceptibles. Este caso de incompatibilidad dado por el momento en el que cada especie alcanza el

estado fenológico óptimo para ser rolada se puede ejemplificar con mezclas de *Vicia villosa* y gramíneas de ciclo corto como es el caso de la *Av. strigosa*. Ambas pueden rolarse, sin embargo, *Av. strigosa* llegará a antesis varias semanas antes que *Vicia villosa* a 100% de floración. En contraste la *Av. byzantina* posee un ciclo más largo que le permite tener una mayor compatibilidad con *Vicia villosa*. Una alternativa a este problema podría ser la combinación de herbicida + rolado o rolar dos veces en diferentes momentos a un mismo CS mezcla.

Potencial de reinfestación

Un aspecto relevante en la elección de las especies es la posibilidad de que estas se conviertan en malezas en el sistema si no son controladas de la manera apropiada. Esta conversión se produce cuando los CS alcanzan estados reproductivos antes de ser desecados, provocando una entrada al banco de semillas del suelo, logrando germinar en las estaciones invernales siguientes.

Una vez alcanzado el suelo, las semillas viables pueden germinar en un alto porcentaje al invierno siguiente. En algunas situaciones, dependiendo del grado de dormancia que presente la semilla de cada especie de servicio, esta reinfestación puede darse por más de un invierno.

La forma de evitar esto es desecando el cultivo de forma previa a que el mismo alcance el estado de antesis. Además del momento de desecación, elegir correctamente la tecnología a utilizar será clave para que la reinfestación de especies de cultivo no suceda. Este punto hace referencia especialmente a la desecación mecánica utilizando un



Foto 1. a) Cultivo de servicio mezcla rolado. Créditos = Roberto Gibson. a) Rolo faca. Créditos = Alfred Regehr.

rolo. Esta tecnología exige que el cultivo se encuentre en estado de antesis (gramíneas) o en floración (leguminosas) generando que la reinfestación real suceda en muchas situaciones. En cuanto a la desecación química, especies que demuestren cierta tolerancia a muchos principios activos o presenten estrategias de sobrevivencia como son la generación de rizomas, impedirán alcanzar una desecación total.

Por otra parte, otra de las problemáticas de permitir que los cultivos alcancen estado reproductivo, serían los cruzamientos espontáneos entre las especies de servicio y las malezas resistentes presentes en la chacra, especialmente cuando estas últimas poseen mecanismos de polinización cruzada. Este podría ser el caso de los nabos forrajeros utilizados como CS y las malezas crucíferas (la mayoría con serios problemas de resistencia a más de un principio activo) y el caso del raigrás diploide con posibilidad de cruzarse con el raigrás resistente presente en el potrero. Debido a estos cruzamientos espontáneos con biotipos resistentes, empeora el problema antes mencionado, debido a que el potencial de reinfestación de cada especie no solo podrá generar una importante interferencia con cultivos invernales que vengan después, sino que complicará su control debido al problema de resistencia adquirido.

Es necesario considerar los posibles problemas de reinfestación mencionados cuando se seleccionen las especies a incluir en la mezcla, y ser riguroso con el momento y el método de terminación del cultivo para dejar la chacra libre de plantas involuntarias (malezas) en el sistema.

3- COMENTARIOS FINALES

Transitar por un proceso de intensificación sostenible requiere el diseño de sistemas agrícolas que maximicen la eficiencia en el uso de los recursos naturales (agua, energía solar y nutrientes) y minimicen el uso de fuentes de energía de origen fósil.

En este sentido, incorporar mezclas de especies que aporten multifuncionalidad y estabilidad productiva es clave para ofrecer los servicios ecosistémicos que cada sistema agrícola puede demandar. En este artículo les mostramos las principales consideraciones que deben tener para elegir la mezcla de especies óptima a partir de bibliografía recabada a nivel local e internacional, utilizando en varios casos como puede ser logrado con prácticas claras desarrolladas a nivel local.

Sin embargo, entendemos que es clave continuar generando investigación sobre algunos temas que hoy no tienen respuesta. Por ejemplo:

La adaptación de las diferentes especies a los distintos ambientes (clima y suelo) del país. Particularmente para las especies leguminosas y crucíferas que utilizamos en nuestra región, ¿Cómo se comportan en los diferentes

ambientes?

Número de especies óptimo y su composición. ¿Hasta cuándo sumar especies es beneficioso? ¿Cuál es el número de plantas por metro cuadrado óptimo de la especie más dominante para que no suprima al resto de las especies que componen la mezcla?

La tecnología de siembra al voleo. ¿Con cuánta cantidad de rastrojo o cobertura del suelo la siembra al voleo deja de ser viable? ¿Qué antecesores de invierno y verano permiten siembras al voleo exitosas? ¿Cuáles son las densidades óptimas si consideramos todas esas variables?

El impacto de los CS en el sistema. ¿Cuál es el impacto de la inclusión de los CS en la dinámica de malezas luego 2 o 3 años? ¿Y en la dinámica de nitrógeno? ¿Qué beneficios podemos esperar de su inclusión sostenida en el tiempo (ej.: estructura del suelo, biología del suelo, dinámica de enemigos naturales, entre otros)?

Su rentabilidad. ¿Qué podemos esperar desde el punto de vista del margen económico? ¿Es posible reducir el uso de insumos manteniendo un mismo nivel de productividad?

Algunas de estas preguntas podrán ser respondidas parcialmente durante el transcurso de este proyecto. Pero la mayor parte de estos temas requiere de una plataforma de investigación que integre a instituciones de investigación, asociaciones de productores y empresas privadas. Para que los resultados generados sean de base científica y adaptables a nuestras condiciones de producción.

4- AGRADECIMIENTOS

A los productores y técnicos que participan del proyecto FPTA 357 de «Cultivos de Servicio», por abrirnos sus puertas para realizar el seguimiento de los cultivos y por compartir con nosotros sus principales incertidumbres. A las sociedades y cooperativas de productores que participan del proyecto: Sociedad de Fomento Rural de Colonia Suiza, Cooperativa Agraria Suplementada San Pedro, Unión Rural de Flores, Asociación Rural de Soriano, Sociedad Rural de Río Negro y COPAGRAN. A técnicos e investigadores de la Asociación Uruguaya pro Siembra Directa (Ausid) y la EEMAC por su apoyo constante en la coordinación de actividades y ejecución del proyecto. A INIA por la financiación del proyecto en su conjunto y a las empresas MEGAAGRO, PGG Wrightson Seeds y Lage Cía. S.A. por el aporte de los insumos para los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M.** (2012). Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. In Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción (Vol. 1).
- Baeza, S.; Paruelo, J. M.** (2020). *Land use/land cover change (2000-2014) in the rio de la plata grasslands: An analysis based on MODIS NDMI time series*. Remote Sensing, 12(3), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs12030381>
- Bertolotto, M.; Marzetti, M.; AAPRESID.** (2017). Manejo de malezas problema: Cultivos de cobertura. Rem - Aapresid, 7, 28–30. <http://aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2017/09/AAP-Original-Cultivos-de-cobertura.pdf>
- Chapagain, T.; Lee, E. A.; Raizada, M. N.** (2020). *The potential of multi-species mixtures to diversify cover crop benefits*. In Sustainability (Switzerland) (Vol. 12, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12052058>
- Elhakeem, A.; Van der Werf, W.; Bastiaans, L.** (2021). *Radiation interception and radiation use efficiency in mixtures of winter cover crops*. Field Crops Research, 264(February), 108034. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108034>
- Ernst, O.; Alzueta, M.; Ernst, F.; Romero Rüsck, F.; Barriola, I.; Bagnato, C.; Álvarez, S.; & Piñeiro, G.** (2021). Cuantificación de los cambios recientes en el uso del suelo en el litoral Oeste Uruguayo. Cangüé, 44, 22–32.
- Ernst, O. R.; Dogliotti, S.; Cadenazzi, M.; Kemanian, A. R.** (2018). *Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield*. Field Crops Research, 217(November 2017), 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.014>
- Finney, D. M.; White, C. M.; Kaye, J. P.** (2016). *Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures*. Agronomy Journal, 108(1), 39–52. <https://doi.org/10.2134/agnonj15.0182>
- Franzluubbers, A. J.; Sawchik, J.; Taboada, M. A.** (2014). *Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 190, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017>
- Garba, I. I.; Bell, L. W.; Williams, A.** (2022). *Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis*. Agronomy for Sustainable Development, 42(34), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00760-0/Published>
- Kremen, C.; Iles, A.; Bacon, C.** (2012). *Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based*. 17(4).
- Kremen, C.; Miles, A.** (2012). *Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs*. Ecology and Society, 17(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Novelli, L. E.; Caviglia, O. P.; Piñeiro, G.** (2016). *Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks*. <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- Nyfelner, D.; Huguenin-Elie, O.; Suter, M.; Frossard, E.; Lüscher, A.** (2011). *Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 140(1–2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022>
- Pelocche, D.; Courdin, V.; Cidade, G.; Malarini, F.; Mas, L.; Morán, E.; Pereyra, M.; Sanchis, M.; Alvarez, S.** (2022). CULTIVOS DE SERVICIO: características de su adopción en los sistemas agrícolas. Revista INIA, 70, 97–101. <http://www.inia.uy>
- Piñeiro, G.; Madias, A.; Bosaz, L.; Berenstecher, P.; Pinto, P.; Della Chiesa, T.; Pasman, N.; Penco, R.; Rivetti, G.; Boero, L.; Bardeggia, F.; Reddel Bianco, T.; Peña Sotullo, V.; Liggera, M.; Rivelli, M.; Macor, M. E.; Robledo, G.; González, A.; Bucco, N.; Fernández Paez, S.** (2022). Red de Cultivos de Servicios - Aapresid - BASF.
- Pinto, P.; Rubio, G.; Gutiérrez, F.; Sawchik, J.; Arana, S.; Piñeiro, G.** (2021). *Variable root: shoot ratios and plant nitrogen concentrations discourage using just aboveground biomass to select legume service crops*. Plant and Soil, 463(1–2), 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04916-x>
- Pittman, K. B.; Barney, J. N.; Flessner, M. L.** (2020). *Cover crop residue components and their effect on summer annual weed suppression in corn and soybean*. WeedScience, 68(3), 301–310. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.16>
- Rimski-korsakov, H.; Álvarez, C. R.; Lavado, R. S.** (2016). Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 21(Cc), 1–6.
- Rutan, J.; Steinke, K.** (2019). *Corn Nitrogen Management Following Daikon Radish and Forage Oat Cover Crops*. Soil Science Society of America Journal, 83(1), 181–189. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.07.0269>
- Sawchik, J.; Siri Prieto, G.; Ayala, W.; Barrios, E.; Bustamante, M.; Ceriani, M.; Gutiérrez, F.; Mosqueira, J.; Otaño, C.; Pérez-Bidegain, M.** (2015). El sistema agrícola bajo amenaza: ¿qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas? IV Simposio Nacional de Agricultura., IV(November), 149–168.
- Siri-Prieto, G.; Ernst, O.** (2011). Raigrás como cultivo de cobertura: Efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. Cangüé, 31, 18–27.
- Wendling, M.; Charles, R.; Herrera, J.; Amossé, C.; Walter, A.; Büchi, L.** (2019). *Effect of species identity and diversity on biomass production and its stability in cover crop mixtures*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 281, 81–91.
- Wingeyer, A. B.; Amado, T. J. C.; Pérez-Bidegain, M.; Studdert, G. A.; Perdomo Varela, C. H.; Garcia, F. O.; Karlen, D. L.** (2015). *Soil quality impacts of current South American agricultural practices*. Sustainability (Switzerland), 7(2), 2213–2242. <https://doi.org/10.3390/su7022213>