

AGRICULTURA: Diversidad planificada

**Material elaborado por Equipo Técnico
del FPTA**

Ing. Agr. Santiago Alvarez
Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri-Prieto
Ing. Agr. (MSc) Luciana Rey
Ing. Agr. (Dra.) Silvana Abbate
Ing. Agr. (Dr.) Oswaldo Ernst
Ing. Agr. (PhD) Gervasio Piñeiro
Lic. Luciano Dabalá

FPTA 357 de “Cultivos de Servicios”

2023



CULTIVOS
DE SERVICIO



TABLA DE CONTENIDO

	página
1. INTRODUCCIÓN	2
2. BENEFICIOS DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO.....	4
2.1. CONTROL DE LA EROSIÓN	4
2.2. AUMENTO DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	6
2.3. MEJORA DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO.....	8
2.4. APORTE DE NITRÓGENO	9
2.5. RECICLAJE DE NUTRIENTES	12
2.6. CONTROL DE MALEZAS	14
2.7. CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS Y POLINIZACIÓN	17
2.8. CONSERVACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO.....	19
3. CONSIDERACIONES	21
3.1. CONSUMO DE AGUA	22
3.2. DEFICIENCIA DE NITRÓGENO.....	24
3.3. CAMBIOS EN DINÁMICA DE POBLACIONES DE FITÓFAGOS .	25
3. CLAVES PARA EL MANEJO	26
3.1. DETERMINACIÓN DE LA VENTANA DE CRECIMIENTO	27
3.1.1. Fijar la fecha de siembra del cultivo de renta sucesor	29
3.1.2. Definir el tiempo de barbecho	29
3.1.2.1. Estimar la relación carbono/nitrógeno del material.....	30
3.1.2.2. Evitar la reinfestación de malezas en cultivos sucesores.....	31
3.1.4. Establecer la fecha de siembra.....	32
3.1.4.1 Método de siembra al voleo.....	32
3.3. IDENTIFICAR LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEMANDADOS POR EL SISTEMA AGRÍCOLA	34
3.4. EJEMPLO DE UN CASO	36
4. EL POTENCIAL DE LAS MEZCLAS.....	37
5. COMENTARIOS FINALES	38
6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	38



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 fundamentalmente por un proceso de simplificación del uso del suelo, que consistió en la sustitución del tradicional sistema de rotación de pasturas con cultivos, por sistemas de agricultura continua basados en el cultivo de soja [1]. Al mantenerse estos sistemas en el tiempo se ha visto afectada la calidad del suelo, lo que se manifiesta en reducida capacidad de aporte de nutrientes (nitrógeno) y pérdida de estructura del suelo [2], [3], así como de la regulación de plagas y enfermedades o de la calidad del agua [4], [5].

El concepto de agricultura sostenible propone hacer un uso inteligente de las capacidades naturales que ofrecen los ecosistemas. Este proceso debe resultar de “diseñar agroecosistemas con múltiples funciones que, por ser sostenidos por la naturaleza, son sostenibles en su naturaleza”[6]. De esta manera, un sistema agrícola podrá capitalizar los beneficios o servicios ecosistémicos [7] que brinda la planificación del uso del paisaje.

Para nuestras condiciones de producción, lograr un sistema agrícola sostenible sin rotar con pasturas es un desafío importante, que requiere de al menos cuatro premisas: i) no laborear el suelo [8]; ii) mantener el suelo cubierto [9]; iii) aumentar la productividad anual [10]; y iv) de la diversidad de cultivos en la rotación [11].

En este sentido, los cultivos de servicio (CS), también conocidos como cultivos de cobertura, pueden cumplir un rol importante en tres (ii, iii, iv) de las cuatro premisas mencionadas. Su incorporación puede mejorar o mantener la capacidad actual de producción, sin incrementar el uso de energía externa de origen fósil (fertilizantes y fitosanitarios de síntesis química) y, por ende, mejorar la eficiencia de uso de los recursos y reduciendo el impacto ambiental. 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 CS, cuyo objetivo principal es reducir el riesgo de erosión. Su implementación ofrece una oportunidad sin precedentes para aumentar la productividad y la diversidad “doméstica” (planificada), promoviendo múltiples



servicios ecosistémicos desde la agricultura (más allá del control 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 (N) al sistema y aumentar el secuestro de carbono [12]–[15] (Figura 1).

El objetivo de este artículo es presentar información sobre los principales beneficios que se pueden obtener por incorporar los CS al sistema de producción y el manejo necesario para alcanzar los beneficios propuestos sin comprometer la productividad del cultivo de renta siguiente. Ahondaremos fundamentalmente, en dos aspectos relevantes para la elección de las especies: i) la capacidad de producción de materia seca y ii) la calidad medida como la relación carbono/nitrógeno (C/N) de la materia seca producida [16]. Mostraremos las principales características de las especies, y la posibilidad que ofrecen los CS mezcla (Figura 1). Lo haremos a partir de información de referencia a nivel regional e internacional, utilizando como ejemplo, en los casos que sea posible, trabajos realizados a nivel local.

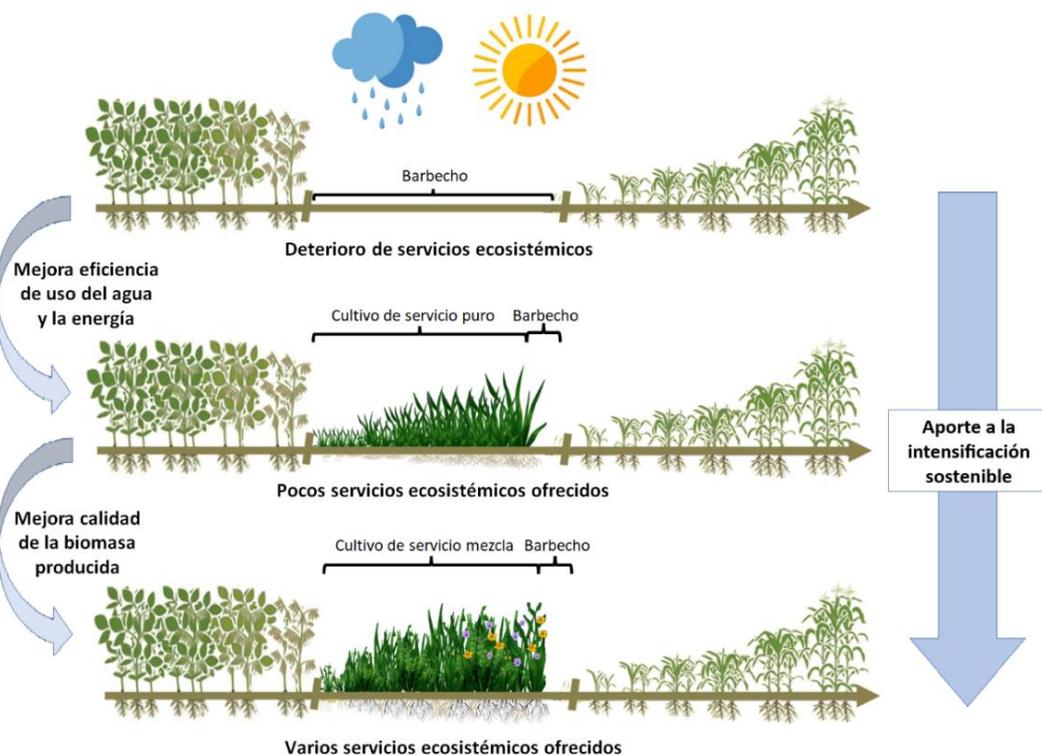


Figura 1. Marco conceptual de proceso de intensificación sostenible de los sistemas agrícolas asociado a la incorporación de CS puros y en mezcla en sustitución de períodos improductivos de barbecho. Elaboración de FPTA de Cultivos de Servicio.

2. BENEFICIOS DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO

En este capítulo se presenta información sobre los beneficios (o servicios ecosistémicos) que ofrece la incorporación de CS a la secuencia de cultivos en sistemas sin labranza. Se abordan los siguientes temas: i) control de la erosión; ii) aumento del carbono orgánico del suelo; iii) mejora de la estructura del suelo; iv) reciclaje de nutrientes; v) aporte de N; vi) control de malezas; vii) control biológico de plagas y polinización; viii) conservación de la humedad del suelo.

Se plantearán las necesidades para lograr cada beneficio y el manejo necesario de los CS para alcanzarlo.

2.1. CONTROL DE LA EROSIÓN

La pérdida de suelo debido a la erosión hídrica es el factor más importante de la degradación de la calidad del suelo en el Uruguay. El impacto de las gotas de lluvia rompe los agregados del suelo y el escurrimiento del agua superficial arrastra el suelo suelto. El proceso elimina paulatinamente la capa superficial del suelo, que normalmente es la que contiene las mayores cantidades de materia orgánica y nutrientes. Resultando, por ende, en la pérdida de capacidad productiva (Figura 2).

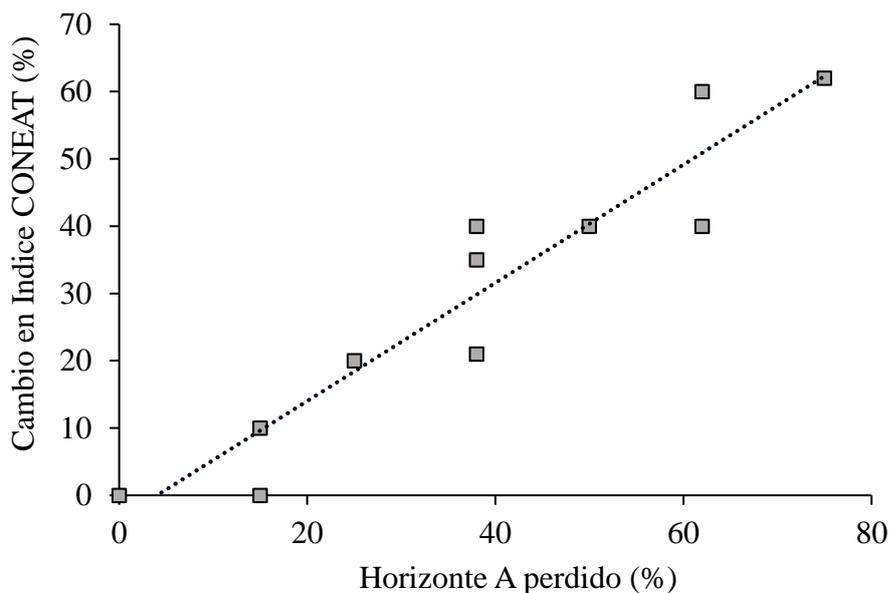


Figura 2. Cambio en el índice CONEAT en función del porcentaje de horizonte A perdido.



Para reducir el riesgo de erosión el diseño de los sistemas agrícolas debe considerar prácticas de manejo que permitan mantener el suelo cubierto la mayor parte del tiempo posible (ya sea con cobertura viva o muerta). En sistemas que rotan con pasturas la clave se encuentra en mantenerse en siembra directa (Figura 2). Pero cuando se eliminan las pasturas de la rotación, es necesario que la secuencia de cultivos evite períodos largos de barbecho y lograr una acumulación de rastrojo tal que evite el impacto directo de las gotas de lluvia con el suelo.

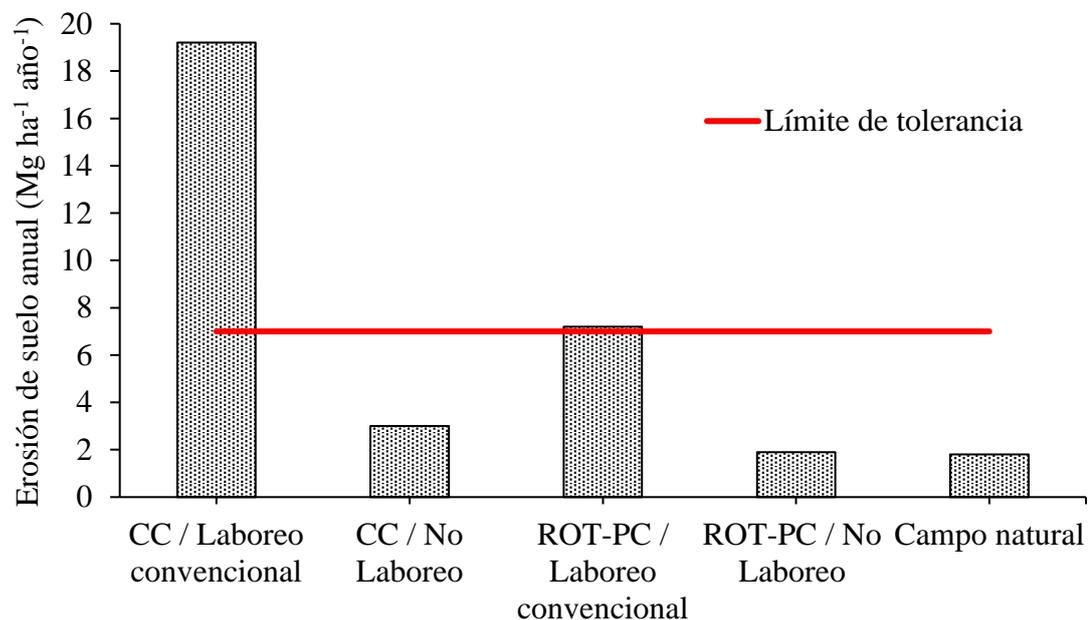


Figura 3. Erosión del suelo con usos de suelo -cultivo continuo (CC) vs. rotación de cultivos y pasturas (ROT-PC)-; y sistemas de laboreo contrastantes en dos Brunsoles Eutrícos (períodos de 6 años en cada suelo) medidos en parcelas de escorrentía. Línea roja indica límite de tolerancia según los planes de uso y manejo. Adaptado de [17].

En el caso de los CS, las gramíneas poseen de manera general un mayor vigor inicial y residuos con una mayor C/N (Tabla 4), lo que les permite lograr una mayor cobertura en menos tiempo y sostenerla por un mayor período. Pero no cualquier nivel de productividad logra un control de la erosión satisfactorio [18]. En el ejemplo presentado a continuación, además de reducir el barbecho a 20 días, el CS de raigrás tuvo que llegar a 4 Mg ha⁻¹ MS para limitar la erosión por debajo de lo establecido en los Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos ([Ley 19.355 art. 304](#)). Similares



niveles de productividad han sido reportados por otros autores como el mínimo para proveer otros servicios ecosistémicos [15], [16], [19].

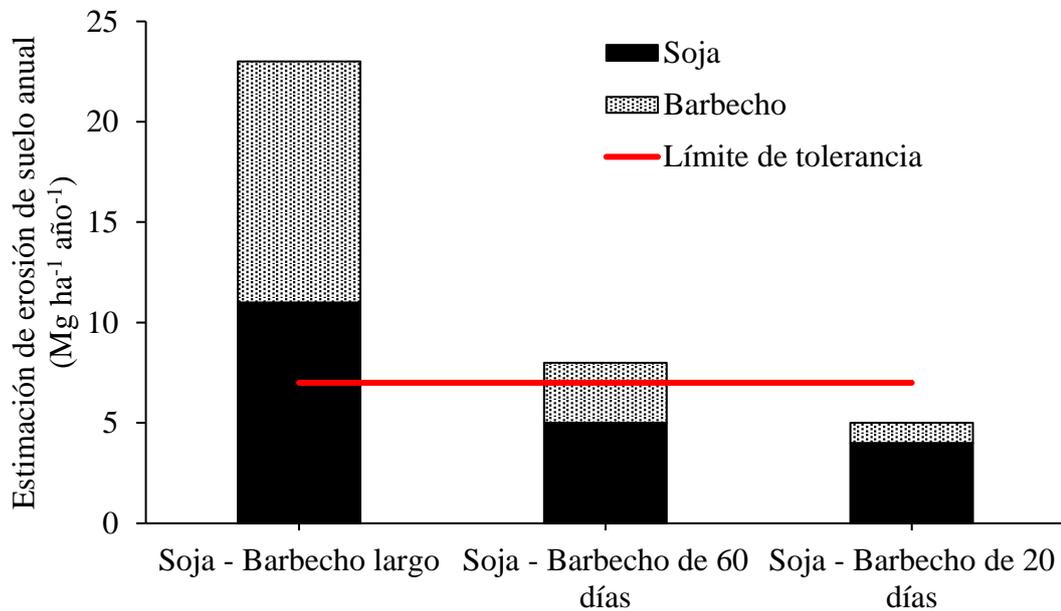


Figura 4. Estimación de suelo perdido ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) utilizando la ecuación de la RUSLE para tres situaciones de manejo del barbecho para soja: i) sin CS; ii) con CS de raigrás de 2 Mg de biomasa seca ha^{-1} (60 días de largo de barbecho); iii) con CS de raigrás de 4 Mg de biomasa seca ha^{-1} (20 días de largo de barbecho) en un Brunosol Eútrico Típico de la Unidad San Manuel (largo de ladera = 50 m y pendiente de 3%) para la localidad de Paysandú, Uruguay. Línea roja indica límite de tolerancia según los planes de uso y manejo. En [18].

2.2. AUMENTO DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

No es necesario ahondar en la ya consabida importancia que tiene el carbono orgánico del suelo (COS), propiedad que representa la materia orgánica del suelo, en mantener una buena fertilidad y estructura del suelo [20], y, por ende, para mantener o mejorar la productividad de los cultivos [21]. Pero sí es importante remarcar que el contenido de COS depende del tipo de suelo -ej.: más arcilloso, más potencial de acumulación de COS- [22] y de su manejo, siendo clave en este último aspecto: i) la intensidad de uso del suelo es decir la cantidad de cultivos por año [3]; ii) el tipo de cultivos incorporados en la secuencia -ej.: maíz vs. soja- [14], [23], [24]; iii) el manejo nutricional del cultivo [25]; iv) el manejo de los residuos -ej.: laboreo o retiro por enfardado o como materia prima para producir bioenergía (cangrejo)- [26].



En un proyecto FPTA previo [27], trabajando con 370 chacras de productores CREA, se estimó que entre un 45 y 90% de los predios (según la velocidad de descomposición de los residuos considerada) presentaban un balance de COS negativo (Figura 3a). Para alcanzar un balance positivo se estimó necesario ingresar al sistema al menos 4,3 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹, lo que equivale a producir 7,3 Mg de residuos ha⁻¹ año⁻¹ o mantener una intensidad de cultivo mayor a 1,6 (Figura 3b).

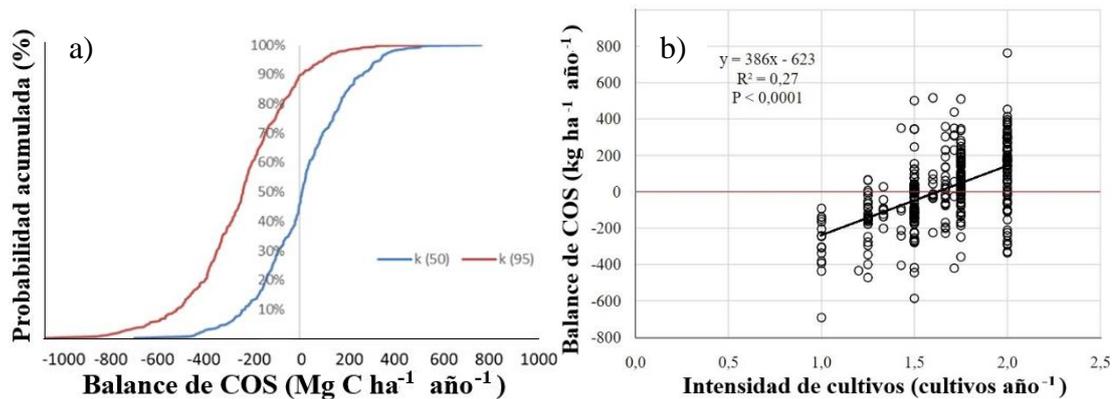


Figura 3. a) Distribución de balances COS para el total de unidades productivas evaluadas (370), estimado a partir de la **tasa** de descomposición máxima probable (cuartil 95) y la tasa de descomposición media (cuartil 50). b) Balance de COS utilizando la tasa de descomposición media en función de la intensidad de cultivos. En [27].

Tres caminos parecen ser los posibles para alcanzar estos niveles de productividad: i) incorporar en la rotación cultivos de renta más productivos (maíz/sorgo); ii) aumentar la intensidad de cultivos de renta; iii) aumentar la productividad de todos los cultivos que integran la secuencia; iii) incorporar CS en períodos improductivos.

Al aumentar la productividad anual por medio de la incorporación de CS, si bien se incrementa el ingreso de C al suelo, no deja de ser importante la/s especie/s utilizadas como CS (Figura 5). En Argentina [27], encontraron que, luego de cinco años, CS leguminosas o mezclas de especies, que fueron menos productivos que las gramíneas (siempre en el rango de 3 a 5 Mg de MS ha⁻¹) lograron un mejor balance de COS, promoviendo una mayor acumulación. Concluyendo que no solo importa la cantidad de material incorporado al sistema, sino también la calidad del material (C/N).

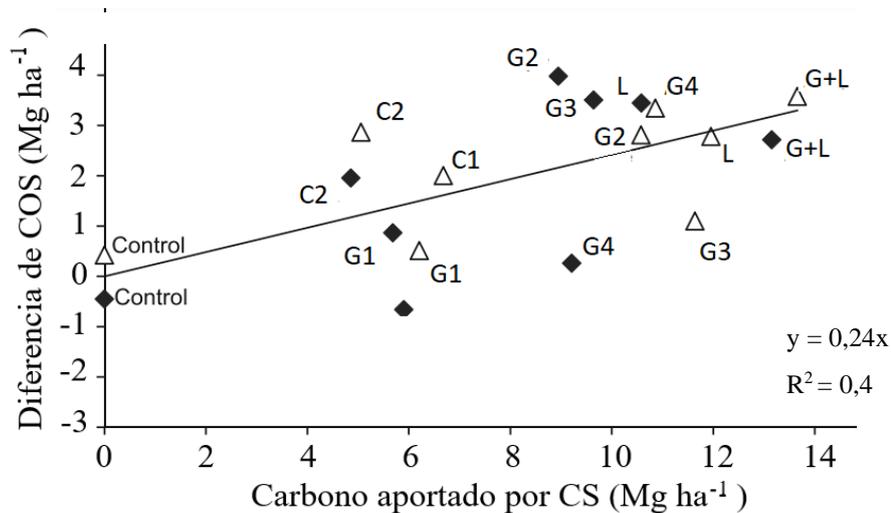


Figura 5. Relación entre la entrada de carbono proveniente de la biomasa aérea de CS (x) y el cambio en los niveles de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en 2.200 Mg de suelo ha⁻¹ (y) después de seis años con o sin CS (control) y con (triángulo transparente) o sin fertilización (rombo negro). La producción de biomasa aérea se encuentra en [28]. G4: avena; G3: cebada; G2: raigrás; G1: pasto común; L: vicia villosa; G + L: avena + vicia; C1: canola; C2: rábano forrajero; Control: sin CS. En [29].

2.3. MEJORA DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

Construir una buena estructura del suelo se basa en i) limitar la erosión -generando cobertura del suelo-, ii) minimizar la destrucción de los agregados del suelo -no laboreando- [17], iii) mantener una alta productividad aumentando la productividad e intensidad de uso del suelo [3] y iv) poniendo especial énfasis en la cantidad de raíces y el tipo de sistemas radiculares incorporados -diversificando-. En resumen, lograr una buena estructura del suelo está fuertemente asociado a las estrategias de manejo que promueven los servicios ecosistémicos mencionados en las dos secciones previas.

En el caso de los CS, estos pueden generar un aporte diferencial, si se seleccionan las especies en función del tipo de arquitectura del sistema radicular. En general, raíces fibrosas y extensas (gramíneas) promoverán una mayor agregación. Mientras que raíces finas como las de las leguminosas una mejor estabilidad de los agregados.



Imagen 1. Tipo de raíces. De izquierda a derecha: fibrosa fina de *Vicia* sp., pivotante de *Lupinus* sp., pivotante de colza; fibrosa de raigrás. Créditos: Nicolás Baraibar, Guillermo Siri-Prieto y Santiago Alvarez.

2.4. APORTE DE NITRÓGENO

Gran parte de los servicios ecosistémicos que serán descritos, pueden ser solucionados implementando sistemas agrícolas complejos que contemple, como ya ha sido mencionado, el no laboreo, una alta intensidad y diversificación del uso del suelo. Sin embargo, la eliminación de las pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas de la rotación, por sistemas con una alta intensidad de uso del suelo generada en base a cultivos de renta [30], ha llevado a la pérdida del servicio ecosistémicos “aporte de N orgánico” y, por ende, al agotamiento de este recurso [2], [31]. Para mantener o aumentar el rendimiento de los cultivos, ha sido necesario un incremento sostenido a través del tiempo en la cantidad de fertilizantes inorgánicos como la urea (Figura 6). Además de una mayor dependencia del costo de insumos externos, el incremento en el uso de fuentes nitrogenadas de base amoniacal es una de las principales causas de acidificación de los suelos del país [32], proceso de degradación del suelo que limita la productividad de los cultivos.

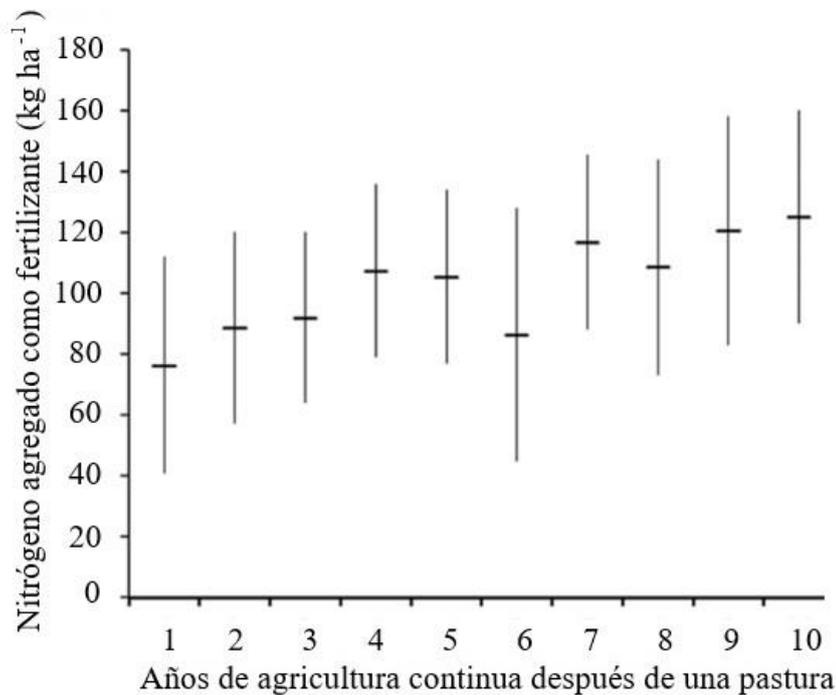


Figura 6. Nitrógeno total agregado como fertilizante siguiendo las recomendaciones actuales para la producción de trigo en Uruguay en función del número de años de agricultura continua después de una pastura mezcla de leguminosa y gramínea. En [2].

En este sentido, tanto desde el punto de vista ambiental como productivo, los CS de base leguminosa pueden ser herramienta clave para mejorar la economía del N. Siendo un beneficio que puede tener un impacto inmediato en el margen neto del cultivo de renta siguiente [33], [34]. Por ejemplo, en maíz, distintos autores han reportado aumentos en el rendimiento en zonas con una baja productividad o una disminución en el uso de N en zonas con un alto nivel productivo [35].

El proceso que lo explica es la capacidad que tienen las leguminosas de, mediante la simbiosis con especies de bacterias como *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*, aportar N “nuevo” al sistema por el mecanismo de fijación biológica de N atmosférico. Algunos factores como el pH del suelo, la temperatura y la humedad del suelo pueden afectar el proceso de fijación, pero normalmente la tasa de fijación de N estará determinada por el potencial genético de la especie de leguminosa y la cantidad de N disponible en el suelo. Para nuestras condiciones, [13] encontraron para 10 leguminosas con potencial uso como CS, que, del total de N absorbido, entre un 46 y



60% provino del proceso de fijación biológica (N “nuevo”). Manteniéndose relativamente constante ante cambios en la producción de biomasa (entre 3,4 y 9,1 Mg ha⁻¹).

Además, de su capacidad de aportar N “nuevo”, la leguminosa se diferencia de cultivos no leguminosos, por poseer una mayor capacidad de acumular N por cantidad de biomasa producida, generando un residuo de menor C/N y, por ende, de más rápida descomposición. Mayor el aporte de N y menor la C/N del CS, mayores serán las posibilidades de incrementar el nivel de nitratos en suelo a la siembra del cultivo de renta sucesor en comparación a situaciones de barbecho sin CS. Para superar el nivel de nitratos en suelo en comparación a un barbecho largo, parecen ser necesarios superar los 100 kg N ha⁻¹ y/o lograr una C/N menor a 30 (Figura 7a y 7b).

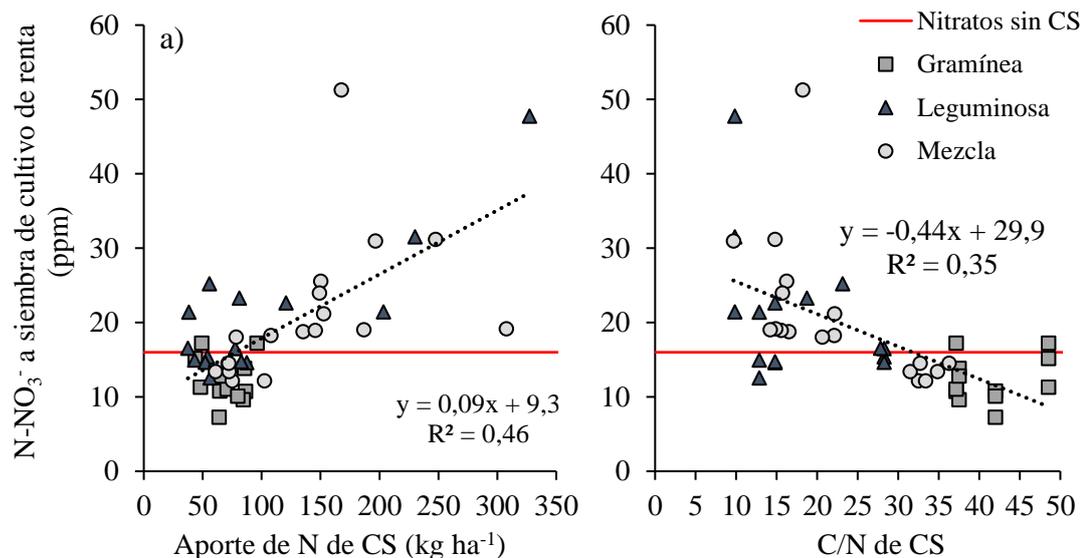


Figura 7. Relación entre el nitrógeno como nitrato (N-NO₃⁻) en suelo a siembra del cultivo de renta (30-45 días según sitio y manejo) en función del a) aporte de nitrógeno por hectárea y b) la relación Carbono/Nitrógeno de la biomasa producida por el CS. N-NO₃⁻ sin CS indica el valor promedio de testigos sin CS. Fuente: FPTA de Cultivos de Servicio, 2022.

Por ejemplo, si se considera la media de concentración de N de las avenas que se sembraron en los experimentos del FPTA de INIA La Estanzuela y EEMAC y se multiplica por el rango de productividad obtenido en chacras de productores, el N aportado por el suelo y recuperado por estos cultivos está entorno a los 25-80 kg ha⁻¹, con una C/N (40-50), por lo que difícilmente quede disponible para el cultivo de renta

siguiente (Tabla 1 y Figura 7b). En el caso de las leguminosas, superan los 100 kg ha⁻¹ de N absorbido con mayor frecuencia -a partir de 3,3 Mg ha⁻¹ aproximadamente- por poseer una mayor concentración de N en planta (Tabla 1). Al tener una relación C/N menor a 30, existe alta probabilidad de lograr una mayor acumulación de nitratos en suelo a la siembra del cultivo de renta (Figura 7b). Si bien el rango más probable de aporte de N se encuentra entre 70-140 kg ha⁻¹, en los experimentos conducidos en EEMAC, en sintonía con lo reportado por otros autores, algunas leguminosas superaron los 200 kg ha⁻¹ (Figura 7a), lo cual demuestra su potencial.

Por otra parte, los CS mezcla combinarán características de ambas especies. Se levanta el piso de productividad que impone la siembra de leguminosas puras y, por ende, también se diluye la concentración de N de la biomasa total producida. En consecuencia, se logran aportes de N más estables que serán dependientes de la proporción de biomasa generada por una u otra especie (Tabla 1). Existiendo al igual que para el caso de las leguminosas, posibilidades de lograr un aporte potencial de N que supere los 150 kg ha⁻¹.

Tabla 1

Rangos de biomasa producida en base a relevamientos de chacra, rango de concentración de nitrógeno y relación carbono/nitrógenos determinados en ensayos en INIA La Estanzuela y EEMAC y estimación del aporte de nitrógeno a partir de la media de la concentración de N y los rangos de productividad. FPTA de Cultivos de Servicio, 2022.

Especie	Producción de biomasa (Mg ha⁻¹)	Concentración de nitrógeno en planta (%)	C/N a supresión	Aporte de nitrógeno (kg ha⁻¹)
Vicia villosa	2,2 – 4,7	1,8 - 4,2	10 - 23	70 - 140
Avena sp.	2,5 – 8,2	0,9 – 1,1	40 - 50	25 - 80
Mezcla V+G	4,7 – 9,7	1,3 – 2,8	15 - 33	120 - 130*

***Valor más alto de biomasa se multiplicó por concentración más baja. Asumiendo que los CS mezcla que más producen tienen una mayor proporción de biomasa de gramíneas.**

2.5. RECICLAJE DE NUTRIENTES

Además de aporte de N al sistema, los CS pueden reciclar nutrientes, al absorberlos del suelo y liberarlos luego de suprimidos durante la descomposición de sus residuos. La capacidad de reciclar nutrientes esenciales es dependiente de la

especie, especialmente de la cantidad de materia seca que pueden producir y de la concentración de nutrientes en planta (Tabla 2). Por ejemplo, si bien las gramíneas tienen una menor concentración de K que las leguminosas y crucíferas, poseen una mayor capacidad de producir biomasa, por lo que podrían aún con una menor concentración de nutrientes, reciclar mayores cantidades [71].

También dependerá de la capacidad de explorar el suelo de las raíces de las distintas especies, ya que la acción deseada consiste en enriquecer los primeros horizontes del suelo a partir de la transferencia de nutrientes que se encuentran en las capas más profundas. Siendo necesario aclarar, que esto no solo dependerá de la capacidad de las raíces de los cultivos, sino que también de la propia profundidad y las características del suelo que pueden limitar su crecimiento.

Tabla 2

Concentración de algunos nutrientes esenciales para distintas especies que pueden ser utilizadas como CS. A la derecha se presenta la bibliografía consultada para armar la tabla. P = fósforo; K = potasio; S = azufre; Mg = Magnesio.

Nutriente	P	K	S	Mg	Bibliografía consultada
Absorción total (kg nutriente Mg ⁻¹ MS)					
Avena sativa	4	18	6	4	[36] [71]
Cebada	4	20	4	3	[36]
Raigrás	3	19	3	3	[37]
Colza	15	65	12	10	[36]
Vicia villosa	4	-	2	3	[12], [38] [71]
Vicia sativa	4	32	1	3	[36], [38]–[40]
Arveja	6	25	2	7	[37]

Para el caso del fósforo (P), algunos autores han reportado una mayor disponibilidad de este nutriente a la siembra del cultivo siguiente luego de algunos CS en comparación a situaciones que se mantuvieron en barbecho. Lo cual se encuentra asociado a mecanismos que poseen algunas especies (como el género Lupino) que le permiten solubilizar P menos lábil, en formas químicas solubles de mayor disponibilidad, absorberlo durante su etapa de crecimiento y luego de suprimido, liberarlos durante el proceso de descomposición.

Al igual que para el caso del N, la disponibilidad de los nutrientes que pasan a formas orgánicas (ej.: azufre o 50% del fósforo) al ser absorbidos por las plantas, será



dependiente de la C/N del material vegetal. Cuanto mayor sea la C/N menor será la velocidad de descomposición y, por lo tanto, menor la posibilidad de que el nutriente retenido quede disponible para el cultivo siguiente.

2.6. CONTROL DE MALEZAS

Los problemas de malezas son resultado, fundamentalmente, de una disminución de la diversidad de la secuencia de cultivos. La simplificación lleva a repetir las prácticas para el control de malezas. Mismos cultivos sembrados y mismas fechas de siembra y cosecha llevan a una mayor dependencia en el uso de herbicidas y a una alta intensidad. La misma estrategia de control repetida año a año ha llevado, por las propias características de algunas especies, a la aparición de nuevos biotipos resistentes a los principios activos utilizados (Figura 8). Una tendencia a nivel mundial que ha determinado una pérdida en la capacidad de producción y aumento de los costos.

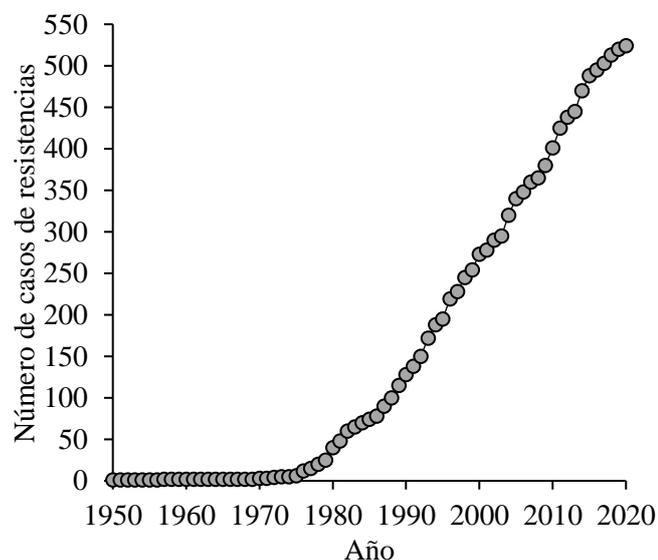


Figura 8. Evolución cronológica de aparición de resistencias en el mundo. En [41].

Regular la población de malezas exige un control integral. Además de monitorear la chacra, rotar y mezclar principios activos y controlar la calidad de aplicación, es necesario incorporar prácticas culturales complementarias al control químico como aumentar la diversidad de la secuencia y mantener una cobertura permanente del suelo.



La bibliografía nacional e internacional es extensa sobre el aporte de los CS al control de malezas, reportando reducciones del enmalezamiento presente de hasta un 90% (Figura 9). A nivel nacional estos resultados se han obtenido en diferentes condiciones de producción ([42]–[45]). Sin embargo, incluir CS en la rotación no siempre implica un efectivo manejo de malezas. Los resultados serán dependientes de: i) las especies utilizadas como CS, ii) el manejo productivo de los mismos y iii) de las especies malezas objetivo [44].

En cuanto a las especies utilizadas, CS gramíneos (avenas, centeno o raigrás) mostraron supresiones cercanas al 90% en todos los años evaluados. Mientras que CS leguminosas (Trébol persa y Trébol vesiculoso) lograron supresiones significativamente menores que las gramíneas (67%) (Figura 9). Con excepción de *Vicia villosa*, única que ha logrado una supresión similar a las gramíneas.

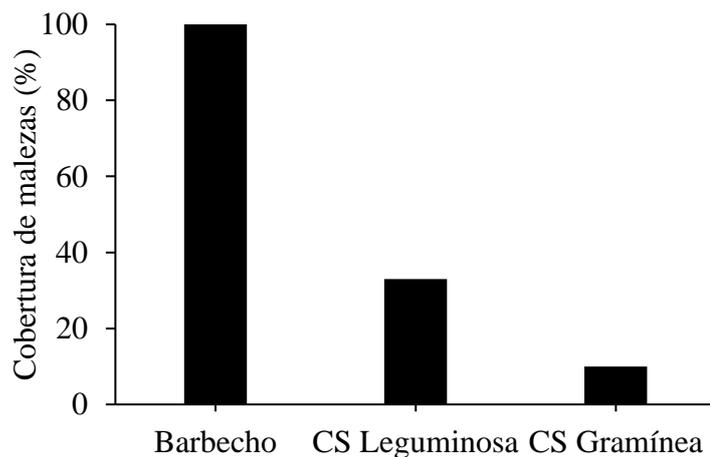


Figura 9. Resumen de resultados de experimentos sobre el impacto en la inclusión de leguminosas o gramíneas como CS en el porcentaje de cobertura invernal a supresión. Adaptado de [43]–[45].

El éxito se basa principalmente en tres características deseables en las especies: i) rápido crecimiento inicial; ii) alta producción de biomasa; iii) alta C/N de la biomasa producida. Un rápido crecimiento inicial le permitirá al CS lograr una mayor colonización y cobertura del suelo y por lo tanto una mayor interferencia por competencia de luz y nutrientes con las malezas presentes [44]. Luego de suprimido, una producción de biomasa y una alta C/N del rastrojo permitirá mantener la cobertura del suelo por más tiempo, evitando futuras emergencias de malezas. Por otro lado, se



han reportado situaciones de alelopatía de algunas especies en laboratorio, que puede permitir un mejor control del enmalezamiento y de una potencial reinfestación con malezas de los cultivos sucesores.

El éxito en la interferencia dependerá tanto de las características de las especies, como de las prácticas de manejo asociadas al CS. Dentro de estas, es importante sembrar sobre un escenario libre de malezas, la tecnología y densidad de siembra, el manejo nutricional en casos de suelos de baja fertilidad y la posible utilización de herbicidas selectivos.

Por último, la elección de la especie también debe estar acompañada del conocimiento del tipo de enmalezamiento presente en la chacra. De este dependerán los flujos y momentos de emergencia de las malezas presentes, la sensibilidad a la luz y los herbicidas que puedan ser utilizados. Como toda herramienta de control, existen diferencias en la respuesta a la inclusión de los CS entre las especies de malezas. Resultados del Grupo de Malherbología de la EEMAC [43]–[45] han demostrado que malezas como: *Conyza* spp., *Bowlesia incana*, *Coronpus didymus*, *Anagallis arvensis*, *Cerastium glomeratum*, *Poa annua* y *Lolium multiflorum* se vieron afectadas por la utilización de CS. Mientras que crucíferas como los nabos no han sido controladas.

Además del efecto supresor de los CS sobre las malezas invernales, el control del enmalezamiento con los CS excede esta etapa, ofreciendo la posibilidad de controlar malezas pensando en el sistema en su conjunto. Los CS siempre deberán buscar beneficios a nivel del: (i) enmalezamiento invernal presente durante el ciclo del cultivo, (ii) el enmalezamiento del barbecho siguiente, (iii) el enmalezamiento del cultivo sucesor y (iv) sobre el enmalezamiento invernal del siguiente año.

La supresión del enmalezamiento primavero estival, se logra a partir de la cobertura vegetal del suelo generada por el residuo del CS anterior, que como ya ha sido mencionado debe ser de lenta descomposición para poder mantenerse por más tiempo [44]. En cuanto al efecto residual sobre el invierno siguiente, el mismo se logra, mayormente, evitando que las malezas presentes durante el invierno en el que fue sembrado el CS alcancen el estado reproductivo, para de esta manera disminuir el banco de semillas del suelo a largo plazo.



Es importante destacar que los CS implican un efectivo manejo de malezas, siempre que las malezas presentes en el campo sean susceptibles a esta herramienta, que la elección de la especie a utilizar contemple este objetivo y que el manejo de cada especie sea óptimo, respetando y garantizando todos sus requerimientos.

2.7. CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS Y POLINIZACIÓN

Las evidencias indican cada vez más la necesidad de que los agroecosistemas desempeñen un papel importante en la conservación de la biodiversidad [46], [47]. En Uruguay, la simplificación de los sistemas de producción y sus consecuencias, en parte ya mencionadas en la introducción de este artículo, han llevado a una pérdida en la biodiversidad [48]. Estudios a nivel mundial han relacionado esta pérdida de diversidad con un declive y extinción de especies de artrópodos [49].

Los artrópodos (que incluye insectos, arañas y crustáceos) son los animales invertebrados que conforman el grupo más abundante y diverso del reino animal, y cumplen diversas funciones en nuestros agroecosistemas como el control biológico de plagas [50], la regulación de la polinización [51] y el ciclado de nutrientes [52]. Por lo tanto, garantizar estos servicios, resultará de preservar la abundancia y diversidad de artrópodos.

En chacras agrícolas de Uruguay, se ha confirmado que la abundancia de predadores (enemigos naturales) presentes en la vegetación espontánea de los márgenes de las chacras y la proporción de campo natural en el paisaje, se asocia positivamente con su abundancia en los cultivos de soja [53]. Evidencia de que un aumento de la diversidad especies vegetales promueve la biodiversidad de organismos benéficos (Figura 10). Sin embargo, la promoción de la preservación de estas áreas resulta poco atractiva para los técnicos y productores, debido a su nulo aporte económico inmediato. Por lo tanto, el desafío se encuentra en planificar la diversidad de la rotación, para que, a la vez que se generan hábitats propicios para el desarrollo de organismos benéficos [49], [54], se promuevan otros servicios ecosistémicos que pueden generar un impacto inmediato en la rentabilidad del sistema (aporte de N, control de malezas, etc).

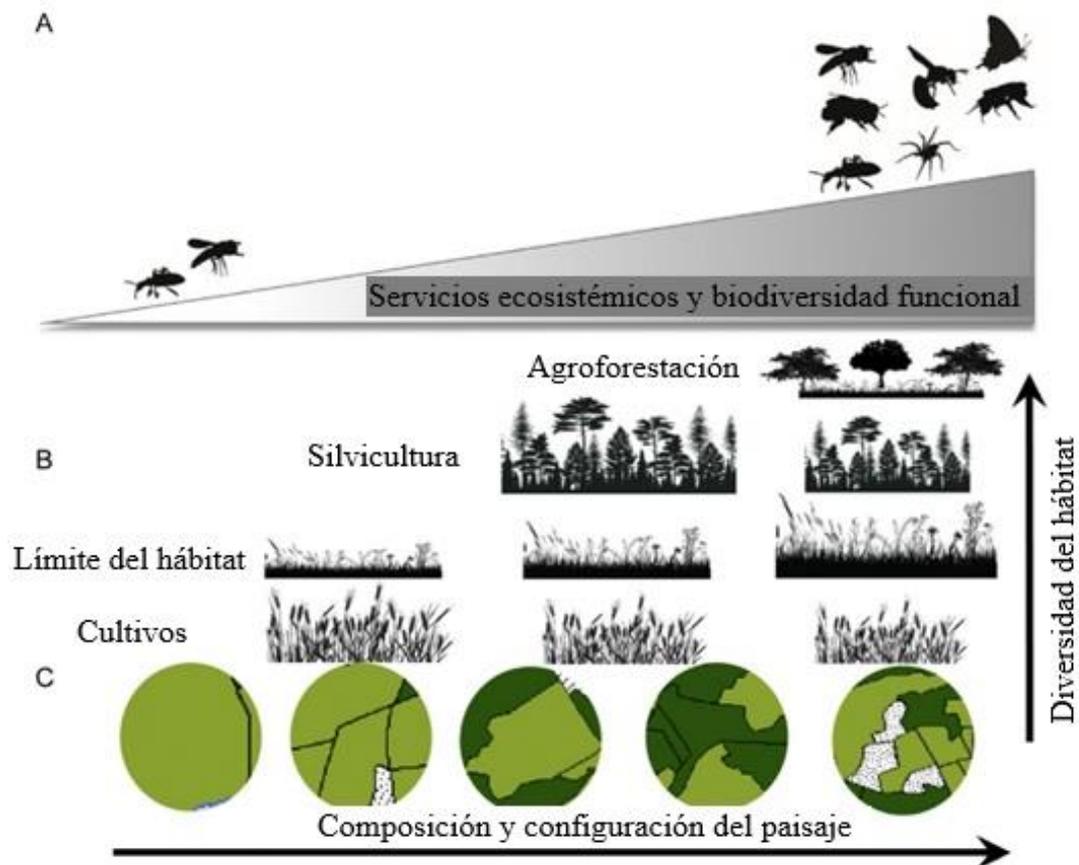


Figura 10. Relación entre (A) la biodiversidad funcional que presta servicios ecosistémicos (polinización, biocontrol natural) en apoyo de los rendimientos de los cultivos y (B) la diversidad de hábitats a lo largo de un (C) gradiente de composición y configuración del paisaje que va de desde monocultivos estructuralmente sencillos hasta diversos mosaicos de hábitats y cultivos con altas densidades en los bordes que facilitan el máximo desbordamiento de los servicios. En [55].

En este sentido, los CS son una de las herramientas más prometedoras. Debido, entre otros aspectos, a la amplia gama de especies botánicas disponibles, a la posibilidad de utilizar más de una especie y, por lo tanto, ofrecer varios servicios ecosistémicos (Figura 1), pero sobre todo, al hecho de que pueden ser realizados sin la necesidad de recurrir al uso de fitosanitarios (insecticidas, herbicidas y fungicidas).

Para promover los organismos benéficos mediante la inclusión de CS, uno de los puntos a considerar es que las especies seleccionadas incorporen recursos florales. Las fuentes de néctar y polen resultan de importancia para la supervivencia y reproducción



de los predadores y parasitoides [56], [57] y su eficacia para reducir las poblaciones de plagas [58]–[60].

En este sentido, estudios realizados en la Estación Experimental de INTA Marcos Juárez (Córdoba) concluyen de manera general que el control natural de plagas aumenta en sistemas diversificados que incorporaron CS. Específicamente, encontraron que los CS multiespecie contribuyen a incrementar la diversidad de familias de artrópodos de hábitos aéreos en el cultivo de renta sucesor [72]. Mientras que para el caso de *Vicia villosa*, determinaron que la abundancia de predadores que habitan el suelo es considerablemente mayor en comparación con los sitios bajo barbecho químico. Para el caso de chinches predadoras como *Orius*, *Tropiconabis*, *Geocoris*, *Podisus* (frecuentes en nuestros sistemas), el reemplazo del barbecho químico, por un CS multiespecie favoreció la supervivencia de estos enemigos naturales debido a que auspicia de refugio contra las bajas temperaturas y además les proporciona presas alternativas. Esto favorece la presencia temprana de chinches predadoras en cultivos de verano, logrando como consecuencia un retraso en la necesidad de insecticidas [73].

Si bien son claros los beneficios de incrementar la diversidad de la cobertura vegetal del paisaje mediante la incorporación de los CS a los sistemas productivos, existen posibles cambios en la dinámica de poblaciones de insectos plaga que también deben ser considerados. Los mismos serán abordados en el capítulo CONSIDERACIONES.

2.8. CONSERVACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO

Todas aquellas prácticas que reducen la evaporación y el escurrimiento de agua tendrán un efecto positivo en la conservación de la humedad del suelo por una mejora en la eficiencia de almacenamiento de agua. En la EEMAC, evaluaron el escurrimiento de agua bajo distintas rotaciones, labranzas y cantidad de rastrojo sobre el suelo (Figura 10). Como resultado se destaca que, aún en sistemas sin labranza, la presencia de residuos en superficie redujo a la mitad la pérdida de agua por escorrentía.

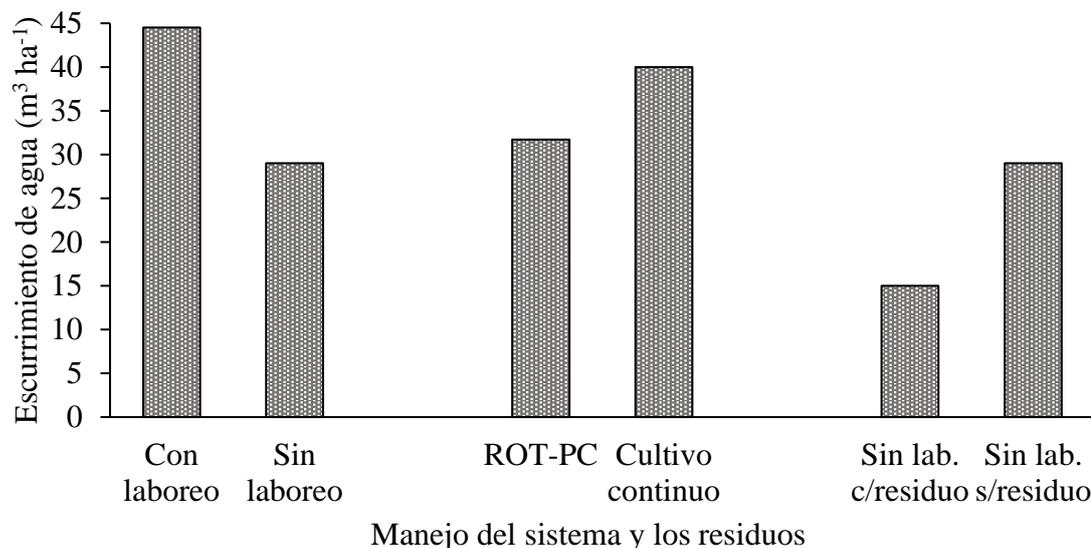


Figura 10. Escorrimento de agua en rotaciones de largo plazo de EEMAC en respuesta a sistema de labranza (con laboreo *vs.* sin laboreo), sistema agrícola (rotación de cultivos y pasturas -ROT-PC- *vs.* cultivo continuo) y sin laboreo, pero con residuo *vs.* sin residuo.

La inclusión de CS en la rotación en sustitución de largos períodos de barbecho mejora la eficiencia de almacenamiento del agua proveniente de las precipitaciones, que es consecuencia de dos factores: i) la cobertura generada por los residuos luego de la supresión, que reduce la pérdida de agua por evaporación (Tabla 3) y reducción de la escorrentía desde la supresión del mismo hasta el establecimiento del cultivo de renta siguiente [19]; y ii) por una mejora en la capacidad de almacenamiento de agua como consecuencia de una mejora a mediano plazo de la estructura del suelo [61].

Tabla 3.

Promedio de 3 períodos de barbecho (julio-setiembre) donde se evaluó el efecto de la presencia de distintas cantidades de residuo en superficie sobre la eficiencia de acumulación del agua en un suelo de 1,8 m de profundidad a siembra del cultivo sucesor. Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Adaptado de [62].

Residuo (Mg ha ⁻¹)	Precipitaciones (mm)	Agua almacenada (mm)	Eficiencia de acumulación ¹ (%)
0	318	72c	22,6c
1	318	99b	31,1b
2	318	100b	31,4b
4	318	116b	36,5b
8	318	139a	43,7a
12	318	147a	46,2a

¹Eficiencia de acumulación del agua precipitada = (precipitaciones/agua almacenada) * 100.



Normalmente, las diferencias en el contenido de agua al comparar suelos con residuo en superficie vs. suelos desnudos se producen durante períodos cortos sin precipitaciones (7-14 días), no cuando las condiciones se mantienen en el tiempo por períodos prolongados [63]. Mantener, aunque sea por períodos cortos de tiempo una mayor humedad del suelo, es clave para evitar breves períodos de estrés en los cultivos (especialmente en cultivos susceptibles como maíz), y muy importante para poder extender las condiciones de siembra en primavera.

Gramíneas como el raigrás, centeno o avenas han sido reportadas como efectivas en la conservación de la humedad del suelo. Debido a su mayor capacidad de producción de biomasa y a la lenta capacidad de descomposición sus residuos (C/N alta), que permite que se mantengan en superficie por un mayor período de tiempo. Sin embargo, un exceso de biomasa también puede ser contraproducente en este aspecto. Un resumen de 117 experimentos realizados en distintas regiones concluyó que la mejor eficiencia de almacenamiento de agua se logra con niveles de producción inferiores a 5 Mg ha⁻¹.

En el siguiente capítulo se profundizará en el consumo del agua, ya que también es necesario considerar algunos aspectos como el clima, el tipo de suelo y el propio manejo de los CS para evitar problemas generen un déficit hídrico en el cultivo de renta siguiente.

3. CONSIDERACIONES

En el capítulo previo se resumió con información concreta y utilizando distintos ejemplos algunos de los beneficios que pueden ser obtenidos por la incorporación de los CS en los sistemas de producción. Pero no todas las especies brindan los mismos servicios ecosistémicos, por lo tanto, al planificar la rotación se debe tener claro que servicios ecosistémicos va a demandar el sistema agrícola y que especies (más manejo) pueden ofrecer los servicios ecosistémicos buscados. Pero, ante todo, se debe considerar que, en el afán de intentar alcanzar los objetivos planteados, se contemplen dos aspectos que son clave para no perjudicar al cultivo de renta sucesor: i) el consumo de agua; ii) la inmovilización de nutrientes. Sumados a otros como evitar la infestación de cultivos posteriores y problemas asociados a plagas.



3.1. CONSUMO DE AGUA

Cuando el CS sustituye un período de barbecho invernal largo, el cambio en el contenido de agua disponible a la siembra del cultivo de renta siguiente será el resultado de la diferencia entre la salida de agua del suelo debido al consumo de agua del CS y la mejora en la conservación de agua del suelo que genera la acumulación de residuos después de suprimido el CS.

Distintos autores han reportados cambios positivos, neutros o negativos en la acumulación total de agua a la siembra del cultivo de renta por la incorporación de los CS [19], [64]. Ya que, si bien los CS tienen el potencial de mejorar la eficiencia en la acumulación de agua del suelo, esta mejora no siempre es lo suficientemente grande como para compensar el agua consumida por estos. Este riesgo o impacto potencial negativo depende una serie de factores como el clima (precipitaciones), el tipo de suelo (almacenamiento de agua) y el manejo del CS.

Respecto al clima, un metaanálisis que involucró 1203 estudios en los que se comparaban situaciones en barbecho vs. con CS bajo distintas condiciones climáticas, concluyó que, si bien existió una tendencia general en la reducción del contenido de agua en el suelo a la siembra del cultivo de renta, cuando las precipitaciones anuales superaron los 700 a 1000 mm, las diferencias en el contenido de agua por incorporar CS fueron bajas e incluso el rendimiento del cultivo de renta tendió a aumentar [64]. Lo cual puede estar explicado por dos aspectos: i) en primera instancia la cobertura de los residuos permitirá una mejor eficiencia de almacenamiento del agua precipitada post siembra del cultivo de renta; y ii) ya con una similar o mejor condición hídrica, otros aspectos por los cuales pudieron ser sembradas los CS como el aporte de nutrientes o el control de malezas también posibilitarán alcanzar un mayor rendimiento en comparación a haber mantenido el suelo en barbecho. Del metaanálisis realizado, se puede concluir que, incorporando una serie de prácticas de manejo de los CS, el consumo de agua no debería ser un problema frecuente para nuestras condiciones promedio de precipitaciones anuales. Sin embargo, la alta variabilidad intra e interanual de la región, obliga a contemplar año a año el pronóstico climático para evitar un impacto negativo en el rendimiento del cultivo sucesor.



La importancia del tipo de suelo radica en su capacidad de almacenar agua. Características que afecten la capacidad de almacenar y retener el agua, como la profundidad o la textura, serán relevantes para definir estrategias de manejo de los CS. Por ejemplo, suelos superficiales tendrán una menor capacidad de almacenar agua, por lo tanto, la recarga del suelo demandará menos milímetros de agua, y, en consecuencia, serán mayores las posibilidades de que esta ocurra en menos tiempo. Pero, por el contrario, en suelos profundos, donde la capacidad de almacenar agua puede jugar un rol clave en la resiliencia y estabilidad del rendimiento de los cultivos, es necesario contemplar que el consumo de agua no sea desmedido.

Por ejemplo, [18] concluyeron luego de tres años de experimentos sembrando raigrás como CS sobre un Brunosol Eútrico Típico en el litoral norte de Uruguay, que 20 días de barbecho permitió alcanzar la cantidad de biomasa objetivo ($4\text{-}5 \text{ Mg ha}^{-1}$) y una alta probabilidad de lograr una adecuada disponibilidad de agua a la siembra (Figura 11) que no condicionara el rendimiento del cultivo. En sintonía con lo concluido por [19], que encontraron luego de un metaanálisis de 117 estudios que, en condiciones de secano, 20 días es el mínimo necesario para no limitar el rendimiento de los cultivos.

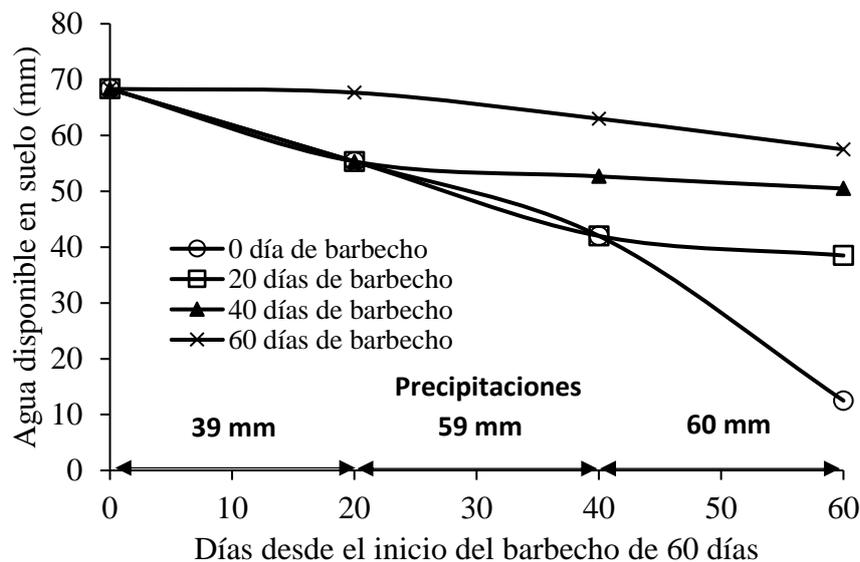


Figura 11. Promedio de 3 años (2004-2006) de evolución del agua disponible del suelo (0 a 70 cm de profundidad) según el largo de barbecho (0, 20, 40, 60 días) de un CS de raigrás.



Tipo de suelo: Brunosol Eutrico Típico. Precipitaciones indica el promedio para los 3 años de los milímetros precipitados en cada intervalo (0-20, 20-40, 40-60). Adaptado de [18].

Entender la complejidad de la interacción clima-suelo es clave para definir estrategias de manejo que eviten un impacto negativo en el cultivo sucesor. En sistemas bajo cero laboreo sin remoción de los residuos dos características de manejo de los CS son clave: i) el tiempo de barbecho; y ii) las especies elegidas.

3.2. DEFICIENCIA DE NITRÓGENO

Los CS pueden generar una deficiencia de N, y de otros nutrientes de ciclo similar como el azufre, si el manejo de estos favorece el proceso de inmovilización a la siembra del cultivo sucesor. Esta situación es menos relevante para soja, por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, e importante para los cultivos que requieren de altas cantidades de N disponible en suelo para producir como el maíz.

Un resumen de tres años de experimentos sobre CS realizados en la EEMAC, muestra que CS de tipo gramínea generaron una deficiencia de N en maíz que ni siquiera pudo ser suplida con el agregado de fertilizantes nitrogenados. Lo cual se traduce en una menor eficiencia de uso de este (rendimiento relativo kg de N ha⁻¹ y apoya la teoría de que otros nutrientes esenciales también están siendo inmovilizados en el suelo. Mientras que, por el contrario, CS de tipo leguminosa lograron un mayor rendimiento sin agregado de N e incluso respondieron mejor (mayor eficiencia) al agregado de N, necesitando menos cantidades para lograr los rendimientos más altos (Figura 12).

Este proceso está fundamentado como ya ha sido mencionado en este artículo en la capacidad de producción y la C/N de las distintas especies. La mayor productividad de las gramíneas le permite absorber más nutrientes del suelo [71], y su alta C/N, trae como consecuencia que algunos de estos (pero particularmente importante el N) queden inmovilizados en el suelo. El proceso de inmovilización ocurre normalmente con C/N superiores a 25 (Tabla 4).

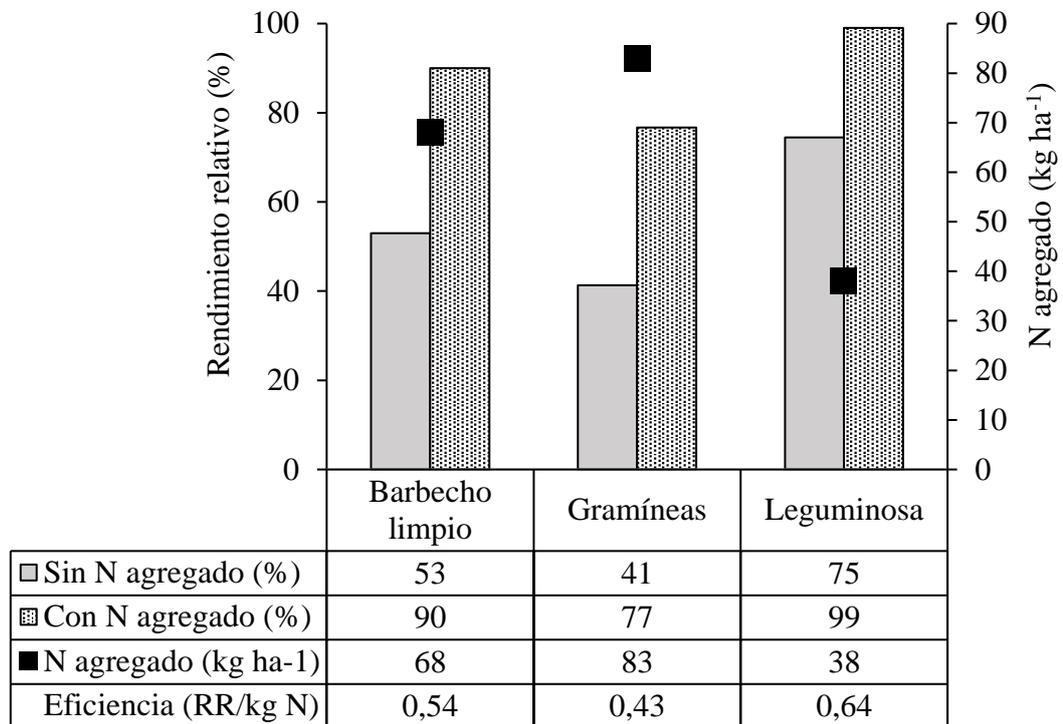


Figura 12. Respuesta medida en rendimiento relativo (RR) en maíz (%) para tres años (2015, 2016 y 2017) en función del tipo de CS (gramínea, leguminosa y barbecho limpio) con (barras con puntos) y sin agregado de N (barras grises). Cuadrado negro indica nitrógeno agregado por tratamientos en función de niveles críticos. La eficiencia indica el incremento en RR por unidad de N agregada. Adaptado de resultados de experimentos de EEMAC.

La deficiencia de N en el cultivo de renta puede ser evitada si se contempla la C/N del material al momento de la siembra del cultivo de renta. Las claves se encuentran como será mencionado posteriormente en el tiempo de barbecho, el estado fenológico del cultivo a supresión y la especie seleccionada como CS.

3.3. CAMBIOS EN DINÁMICA DE POBLACIONES DE FITÓFAGOS

La transición de un suelo desnudo o con baja cantidad de rastrojo durante el invierno a un suelo cubierto y “siembre verde” altera la dinámica poblacional de insectos en el sistema, determinando que los CS puedan proporcionarles refugio, alimento y abrigo [72]. El posible efecto de los CS sobre la abundancia de insectos fitófagos dependerá de la composición botánica del CS y del tipo de cultivo de renta sucesor. Si bien es de esperarse que las propiedades que emerjan de sistemas más



complejos tiendan al auto control y la estabilización, existen aspectos que deben considerarse: i) potenciales incrementos en la abundancia de especies fitófagas que afecten la productividad de los CS; ii) el incremento en la presión de plagas sobre el cultivo de renta posterior.

En relación con el primer punto, no se han registrado hasta la fecha en el país situaciones en las cuales no se alcance la acumulación de biomasa objetivo (4-5 Mg ha⁻¹) debido a insectos plaga en años con buena provisión hídrica. A excepción de problemas a la implantación asociados a fitófagos del suelo como bicho bolita, problema general, inherente a todos los cultivos de alta generación de biomasa. En años de déficit hídrico trips y arañuelas sí han sido una amenaza tanto en *Vicia villosa* como en gramíneas.

Respecto al segundo punto, la incorporación de los CS podría generar condiciones que beneficien el desarrollo de ciertas poblaciones de insectos fitófagos, debido a características propias de su comportamiento o biología que pueden verse favorecidos. El manejo para su control escapa a los objetivos de este artículo, pero existe bibliografía regional al respecto [72], [73]. Las especies de insectos plagas que se han visto favorecidas por la incorporación de CS corresponden a plagas de implantación (bicho bolita, isocas, lagartas cortadoras) y en ciertos casos también chinches fitófagas, pero hay que considerar en este último caso que la generación presente en el CS no es la que causa daño en el cultivo de soja. En todos estos casos, el manejo de estas para evitar daños económicos se basa en dos pilares: el monitoreo, el conocimiento del sistema de vida de cada especie. Así como considerar si el cultivo de renta siguiente es susceptible y los momentos donde el daño que se pueda generar tenga un impacto económico.

3. CLAVES PARA EL MANEJO

Los CS podrán cumplir con los objetivos por los que son sembrados, evitando posibles inconvenientes en el cultivo sucesor, si las decisiones productivas que se realizan apuntan a un manejo óptimo. En este capítulo serán abordados una serie de pasos claves que deben ser tomados en cuenta.



3.1. DETERMINACIÓN DE LA VENTANA DE CRECIMIENTO

Para poder decidir la/s especie/s a ser sembrada/s es necesario determinar la ubicación y duración de la ventana de crecimiento del CS. Las condiciones de producción actual ubican, normalmente, la ventana de crecimiento de los CS entre mediados de otoño y principios de primavera. Sin embargo, el período exacto puede variar a partir de una serie de factores como lo son el cultivo sucesor y antecesor, el tiempo de barbecho entre la supresión del CS y el cultivo sucesor, y la fecha de siembra.

La duración de la ventana de crecimiento afecta la cantidad de biomasa producida por los diferentes CS: bajo la lógica de que cuanto más tiempo permanezcan en el campo, más biomasa producirán (Figura 12a). A nivel local se ha estimado para CS de una sola especie que son necesarios aproximadamente 150 días de crecimiento para alcanzar $4\text{-}5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de biomasa seca [15], considerado por algunos investigadores como el mínimo indispensable para que los CS cumplan con sus funciones [16], [18]. Aunque estudios locales (Figura 12b) y regionales [65] indican un incremento en la productividad de los CS al comparar CS mezclas *vs.* puros. Por ende, menos días para lograr la producción objetivo.

Aun así, la alta frecuencia de cultivos de segunda lleva a que alcanzar entre 120-150 días de crecimiento sea un desafío real. Por lo que, a continuación, se presentan los principales pasos para la planificación de la ubicación y duración de la ventana de crecimiento del CS. Un paso clave para una primera selección o filtro de especies.

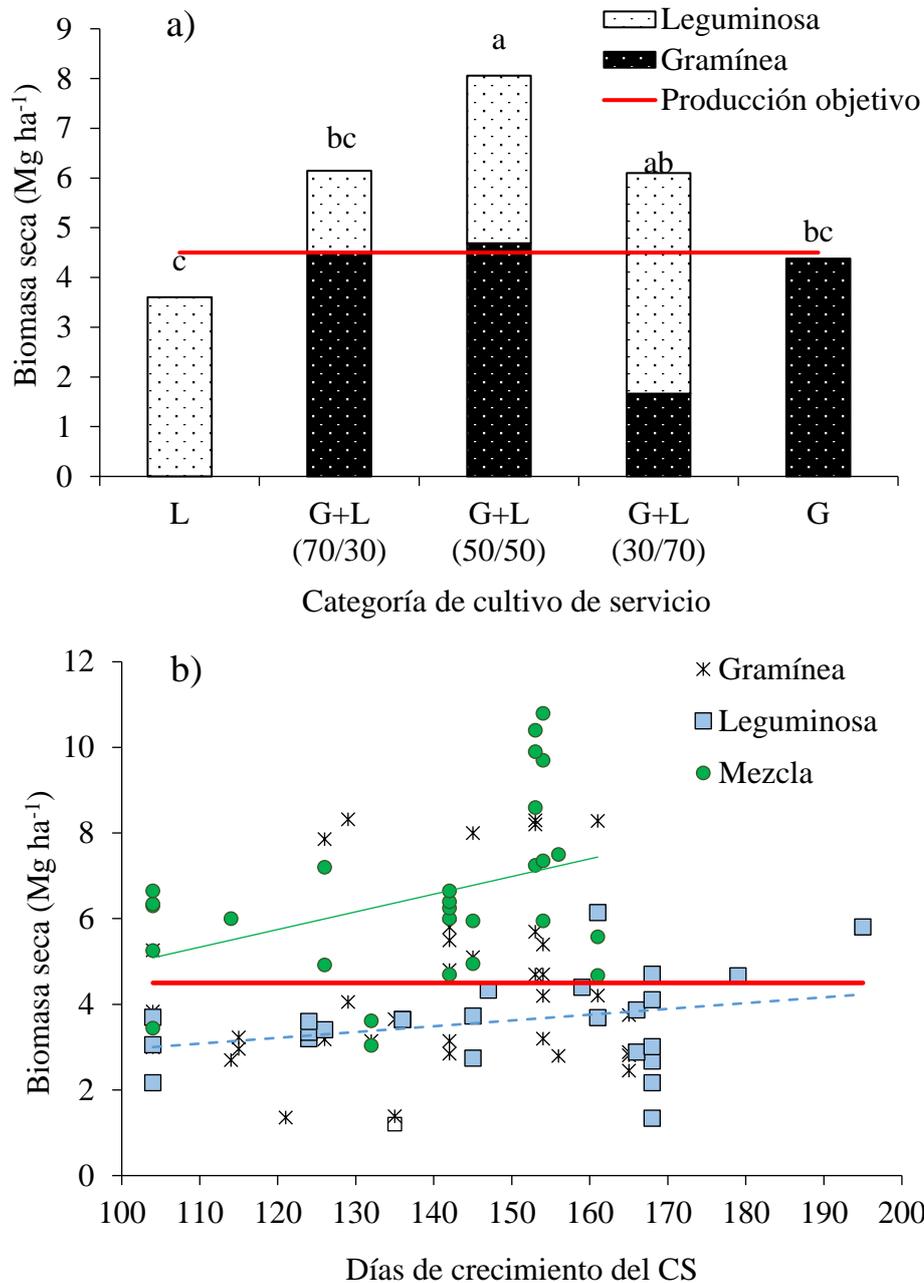


Figura 12. a) Barras apiladas con producción de materia seca en función del CS. L = Leguminosa; G = Gramínea. En mezclas G+L la proporción de cada una está entre paréntesis. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). b) Biomasa seca en función de los días de crecimiento. Líneas de tendencia sólida indica diferencia significativa con $p \leq 0,05$; punteada con $p \leq 0,1$ (color refiere al tipo de CS). Línea roja en ambas gráficas indica producción objetivo 4-5 Mg ha⁻¹ [15]. Relevamiento de 90 chacras en marco de FPTA.



3.1.1. Fijar la fecha de siembra del cultivo de renta sucesor

A diferencia de lo que se podría pensar de manera intuitiva, lo primero que hay que definir es la fecha de siembra del cultivo de renta siguiente. Este aspecto es clave para la planificación del CS, porque permitirá establecer la ubicación de la ventana de crecimiento y determinará el máximo posible de días de crecimiento. Dos ejemplos contrastantes pueden ser el maíz de primera sembrado a fines de agosto vs. el maíz tardío de diciembre. El primero ubicará la mayor parte del período de crecimiento del CS durante el invierno, mientras que el segundo en primavera. Esto supondrá en el futuro seleccionar especies que se adapten mejor a una u otras condiciones.

3.1.2. Definir el tiempo de barbecho

Como ha sido mencionado el tiempo de barbecho es un factor clave en el éxito o fracaso de los CS, por la posibilidad que ofrece, entre otros aspectos, de limitar los problemas en el consumo de agua y la disponibilidad de nutrientes para el cultivo sucesor.

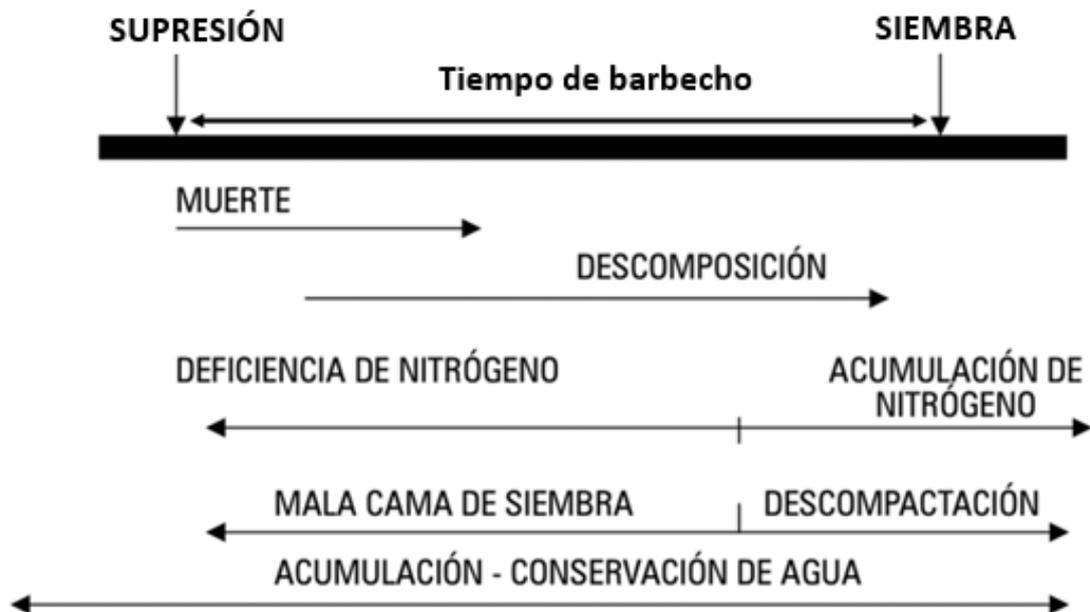


Figura 13. Esquema conceptual de preparación de la cama de siembra para sistemas en siembra directa. En [66].

Para suelos agrícolas del litoral oeste, se ha reportado entre 20 y 40 días de tiempo de barbecho como el óptimo para lograr una buena “cama de siembra” y no



comprometer el agua en el suelo y el rendimiento de los cultivos [18]. El manejo del tiempo de barbecho para una situación específica dependerá, principalmente, como ha sido mencionado, del clima y el tipo de suelo. Aunque otros factores como la especie de CS, el tipo de enmalezamiento presente y la dinámica de plagas pueden requerir cambios en el tiempo de barbecho.

Por ejemplo, más seco en primavera menos posibilidad de recargar el perfil durante el barbecho y, por ende, más días de barbecho son necesarios. Por el contrario, en suelos superficiales, el tiempo de barbecho puede ser menor ya que la recarga del perfil será más rápida y, por otro lado, al poseer una baja capacidad de almacenamiento, su importancia como reservorio de agua disminuye.

Al haber fijado la fecha de siembra del cultivo de renta sucesor, la forma de definir el tiempo de barbecho será definiendo la fecha de supresión del CS. Si bien las precipitaciones son los principales factores en definir la fecha de supresión, también la C/N y el tipo de enmalezamiento pueden jugar un rol en su ajuste.

3.1.2.1. Estimar la relación carbono/nitrógeno del material

Un aspecto relevante para ajustar la fecha de supresión es poder estimar la C/N del CS previo a su supresión. La C/N afecta la velocidad con la que será descompuesto el residuo (Tabla 4). Por lo tanto, la estrategia en la selección de las especies debe considerar que i) a la fecha de siembra del cultivo de renta sucesor la liberación de nutrientes ocurra de manera paulatina, de manera de evitar déficits que limiten el rendimiento y excesos que generen ineficiencia en el uso de los nutrientes; y ii) evitar altas tasas de descomposición si el nivel de rastrojo en superficie es bajo, lo cual podría afectar la conservación de agua en suelo a siembra y exponer el cultivo a un mayor riesgo de erosión.

Especies no leguminosas que alcanzan el estado reproductivo a supresión tendrán una C/N muy alta, favoreciendo el proceso de inmovilización (retención de nutrientes) y logrando mantener en superficie el residuo generado por más tiempo. Mientras que las leguminosas por poseer una baja C/N, favorecerán el proceso inverso.



Tabla 4.

Relación carbono/nitrógeno (C/N) y tasa de descomposición en respuesta al tipo de material.

Material	C/N	Tasa de descomposición
Rastrojo de trigo	80/1	----
Rastrojo de maíz	57/1	---
Centeno en antesis	37/1	--
Rastrojo de soja	29/1	-
Centeno en vegetativo	26/1	-
Mezcla con leguminosas	15-30/1	+
Dieta microbiana ideal	24/1	+
Vicia en vegetativo	11/1	++
Biomasa microbiana	10-8/1	++

Pero, ante todo, la C/N de los materiales es un factor clave para un buen manejo del barbecho. Por ejemplo, ante pronósticos de déficit hídrico en primavera-verano en suelos de buena capacidad de almacenamiento agua, la estrategia debería ser tender a 40 días o más de tiempo de barbecho para priorizar la acumulación de agua. En estas condiciones, el CS elegido debe tener la capacidad de producir rápidamente biomasa de alta C/N (ej.: gramíneas), para lograr la producción de biomasa objetivo (4-5 Mg ha⁻¹) en menos tiempo y que su rastrojo se mantenga por mayor tiempo (alta C/N), y, por lo tanto, permita conservar el agua acumulada, a la vez que se controla la erosión del suelo.

Por el contrario, tiempos de barbecho que tiendan a 0, como podrían ser situaciones bajo riego o en condiciones climáticas que lo permitan, son compatibles con la incorporación de leguminosas que permiten liberar los nutrientes rápidamente y no limitar el rendimiento del cultivo sucesor. Este último aspecto resulta evidente si el cultivo sucesor es por ejemplo maíz, el cual requiere de N disponible en suelo para un correcto crecimiento.

3.1.2.2. Evitar la reinfestación de malezas en cultivos sucesores

El momento de supresión resulta un momento estratégico en el manejo del enmalezamiento y del propio CS. Un buen diagnóstico que permita reconocer todas las especies malezas que se encuentren conviviendo con el CS, permitirá incluir en los



herbicidas utilizados para la desecación, aquellos principios activos necesarios para controlar las malezas que hayan permanecido en esta etapa.

Pero, además, la flexibilidad que ofrece la desecación de un cultivo que no requiere ser cosechado, es uno de los mayores beneficios que esta herramienta ofrece para el manejo del enmalezamiento. La posibilidad de adelantar la fecha de supresión permite enfrentar la aplicación a malezas menos desarrolladas, evitando que las mismas alcancen estados reproductivos. Esto permite finalizar el ciclo de la maleza, evitando que las mismas puedan formar semillas viables. De esta forma, aunque el cultivo sembrado, no haya suprimido en un 100% el enmalezamiento presente, el manejo a nivel del sistema se considera sumamente exitoso.

3.1.4. Establecer la fecha de siembra

La fecha de siembra definirá el largo de la ventana de crecimiento y siguiendo la lógica previa, cuanto antes se pueda realizar, mayor la posibilidad de alcanzar la producción objetivo. Si se toma como ejemplo una soja de primera, considerando fijar la fecha de siembra en torno a la primera quincena de noviembre (óptima) y un tiempo de barbecho mínimo de 20 días, la fecha de siembra del CS no debería superar la primera quincena de mayo si se pretenden alcanzar entre 120 y 150 días de crecimiento. Siendo particularmente importante para el caso de CS puro de leguminosas, familia que, aunque en distinto grado según la especie siempre son susceptibles a bajas temperaturas y, por ende, poseen bajas tasas de crecimiento durante el invierno.

En algunos casos como en siembras tempranas de agosto o setiembre conjugadas con cultivos de segunda como antecesor, alcanzar el número de días objetivo solo será posible mediante el voleo en precosecha.

3.1.4.1 Método de siembra al voleo

Sembrar antes de cosechar tiene dos ventajas claras desde el punto de vista de la eficiencia en el uso de los recursos: i) transforma en biomasa el agua de otoño (eficiencia de uso del agua), en un momento donde el cultivo de renta se encuentra en las etapas finales de su ciclo; ii) el CS implantado capturará los nutrientes que son



liberados fruto de la descomposición del cultivo de renta cuando alcanza madurez y luego de cosechado, lo que permitirá reducir pérdidas y reciclar los nutrientes para liberarlos en el cultivo de renta siguiente (eficiencia de uso de nutrientes). Además, desde el punto de vista operativo tiene la ventaja de no competir por la maquinaria (sembradora) con los cultivos de renta de invierno.

Para el caso de las gramíneas utilizadas normalmente como avena o raigrás, estas tienen una buena adaptación a siembras precosecha, mientras que en el caso de las leguminosas es bastante más variable entre especies. En este proyecto, relevando chacras de productores se ha encontrado en *Vicia villosa* niveles de productividad similares a siembras en post cosecha (Figura 14). Mientras que el lupino también ha mostrado ser una especie que se puede adaptar a esta tecnología de siembra [15].

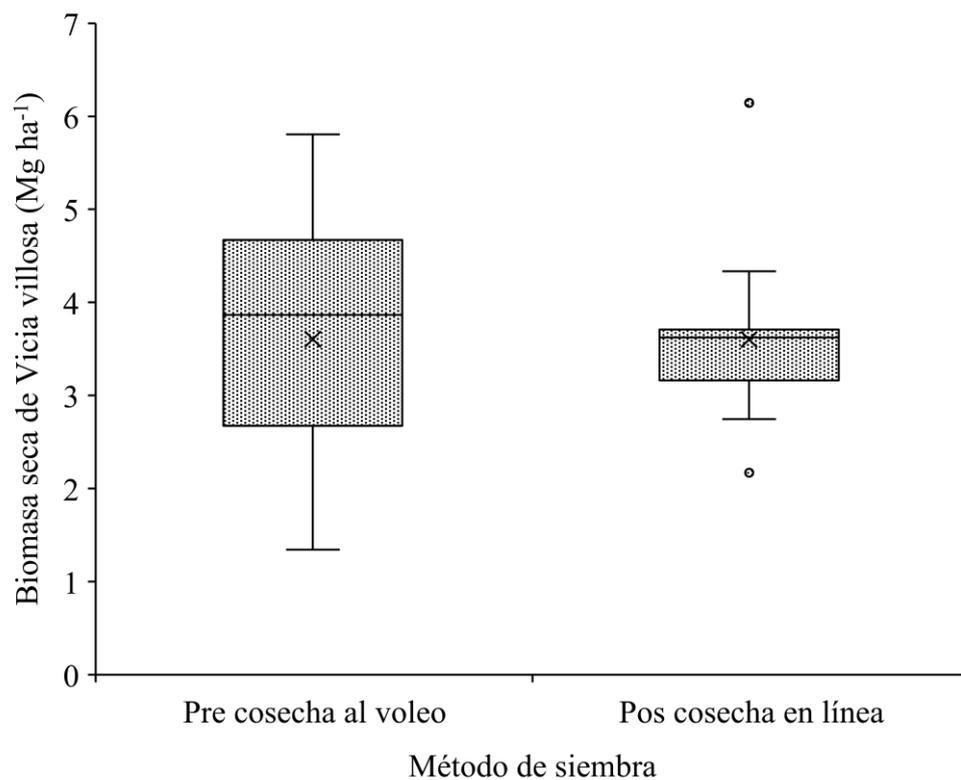


Figura 14. Gráfico de cajas y bigotes para la producción de biomasa seca de *Vicia villosa* según si el método es precosecha al voleo ($n = 9$) o poscosecha en línea ($n = 13$). La cruz muestra el valor medio para cada método.

Este método de siembras también tiene algunas desventajas. En primer lugar, una mayor susceptibilidad a distintas condiciones de siembra, lo que genera una mayor



variabilidad entre años y una mayor heterogeneidad dentro de la chacra. El grado de éxito es dependiente, además de la propia especie utilizada, del antecesor de verano (soja > maíz) e invierno (canola > trigo > cebada) por afectar las cantidades de rastrojo y, por ende, el contacto de la semilla con el suelo, y de las condiciones durante el establecimiento del CS (humedad y temperatura). Por otra parte, reduce las posibilidades de manejo de las malezas en la etapa de implantación del CS, lo cual puede convertirse en un problema en chacras con una alta presión de malezas de difícil control.

3.3. IDENTIFICAR LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEMANDADOS POR EL SISTEMA AGRÍCOLA

Una vez filtradas las especies que se adaptan a la ventana de crecimiento y los métodos de siembra y supresión, se pasa a identificar las necesidades o servicios ecosistémicos demandados por la chacra para definir el CS puro o mezcla a ser sembrado.

En este artículo, ya fueron abordados algunos de los servicios ecosistémicos que puede demandar un sistema agrícola en el capítulo 2 y las posibles soluciones desde el punto de vista del diseño del sistema con énfasis en los CS. En esta sección se presentan los servicios ecosistémicos, en conjunto con las características deseables buscadas en las especies para cumplir cada servicio ecosistémico y con las especies que pueden ser encontradas en el mercado a nivel local que cumplen con dichas características (Tabla 5).



Tabla 5.

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 [67].

Servicio ecosistémico	Características deseables	Especies
Control de erosión	Alta tasa de crecimiento inicial	Centeno Avena sp.
	Rastrojo de baja descomposición (C/N > 24)	Raigrás
Controlar malezas	Alta tasa de crecimiento inicial	Centeno
	Rastrojo de baja descomposición (CN > 24)	Avena sp. Raigrás
	Rápida captura de agua y nutrientes	Vicia villosa
	Alelopatía	Nabo Forrajero
Aumentar materia orgánica particulada del suelo	Alta producción de raíces finas	Centeno Avena sp.
	Rastrojo de baja descomposición (C/N > 24)	Raigrás
Aumentar materia orgánica asociada a la fracción mineral del suelo	Alta producción de raíces finas	Vicia sp.
	Rastrojo de rápida descomposición (C/N < 24)	Treboles sp.
Reciclaje de nutrientes / reducir pérdidas por lavado	Alta profundidad de raíces	Centeno
	Rápida captura de nutrientes	Avena sp. Raigrás
	Alta absorción nutrientes	Nabo forrajero
Mejorar propiedades físicas suelo (infiltración, aireación, estabilidad de agregados, etc)	Alta producción de raíces finas	Centeno Avena sp. Raigrás
	Alta producción de raíces gruesas	Vicia 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. Treboles sp.
Conservación de humedad del suelo	Alta cantidad de rastrojo en superficie	Centeno
	Rastrojo de baja descomposición (C/N > 24)	Avena sp. Raigrás
Aumentar polinizadores y enemigos naturales	Alta producción de flores y polen	Vicia sp. Treboles sp.

3.4. EJEMPLO DE UN CASO

Para representar la complejidad en la selección de la especie realizamos el siguiente ejemplo: una chacra de buena aptitud agrícola que va a ser sembrada con maíz en setiembre (Figura 15), demanda servicios ecosistémicos de conservación de agua del suelo durante el establecimiento del cultivo, control de erosión y de malezas.

Año 1		Año 2		Año 3	
Colza	Soja 2 ^{da}	Trigo	Soja 2 ^{da}	CS_Actual	Maíz 1 ^{era}

Figura 15. Rotación ejemplo.

Lograr estos servicios ecosistémicos requiere especies que posean como características deseables un rápido crecimiento inicial y una alta producción de biomasa con una C/N mayor a 24. Es usual que la especie elegida en este caso sean gramíneas que posean una C/N > 40 al momento de su supresión (Tabla 4). Pero, si bien con estas características se cumplen con los servicios ecosistémicos demandados *a priori*, que el maíz sea el cultivo de renta genera que el CS pueda generar un potencial inconveniente al limitar la disponibilidad en suelo de N (y otros nutrientes) durante el establecimiento del cultivo (Figura 7 y Figura 12).

Por lo tanto, además de las características mencionadas, se debe considerar que la C/N no sea tan alta como para inmovilizar el N del suelo. Esta situación puede ser resuelta con la realización de una mezcla de gramíneas y leguminosas que permita mantener el nivel de productividad y reduzca la C/N a valores en torno a 15-30 (Tabla 4), corrigiendo la disponibilidad de N sin comprometer los servicios ecosistémicos demandados inicialmente.

Pero si se suma un grado más de complejidad, previo a esta etapa se debió haber determinado la ventana de crecimiento del CS y las condiciones de siembra y supresión. Por la fecha de siembra del maíz y la alta frecuencia de cultivos de segunda, es probable que las especies seleccionadas deban adaptarse a condiciones de siembra al voleo. Por lo tanto, para el caso de las leguminosas que compongan la mezcla, las posibilidades se reducirían a lupino o Vicia villosa según la información local.



4. EL POTENCIAL DE LAS MEZCLAS

Ninguna especie puede brindar por sí sola todos los servicios ecosistémicos que se han mencionado. 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 [18] o evitando el lavado de nutrientes [16]. Pero no fijan N del aire y generan rastrojos con una alta 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 [15], [68]. Por otro lado, leguminosas como tréboles o vicias pueden incorporar al sistema mediante fijación biológica de N entre 50 a 100 kg de N ha⁻¹ [13], generando una biomasa de mayor calidad y aumentando los niveles de N en suelo. 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 [69]. De manera similar, una crucífera como la canola puede reciclar nutrientes como azufre de manera exitosa, pero tampoco podría aportar N extra.

Aunque la bibliografía internacional es concluyente acerca de que la mezcla más productiva no produce más biomasa que el monocultivo más productivo [16], [69], suele observarse una mayor estabilidad en la producción de la mezcla en distintos ambientes [70]. Lo cual es 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 estabilidad productiva, por tener una mayor capacidad de adaptación a diferentes condiciones [69]. 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 [65].

Por lo tanto, la siembra de CS que combinan distintas especies permite, además de hacer un uso más eficiente de la energía solar y el agua disponible (barbecho vs. CS puro), 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).

Finalmente, es necesario mencionar que a través de una mayor diversidad de especies se puede aumentar los servicios ecosistémicos que brinda la siembra de los CS. Sin embargo, se debe 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.

5. COMENTARIOS FINALES

Transitar por un proceso de intensificación sostenible requiere planificar la diversidad del sistema agrícola con el objetivo de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos naturales y minimizar el uso de fuentes de energía de origen fósil.

Un aspecto clave es que cada CS ofrece distintos servicios ecosistémicos y que para su elección es necesario identificar las necesidades del sistema en el que será incorporado. Sin embargo, la implementación de estos para que representen un beneficio real depende de la planificación y ejecución de tecnologías acordes para lograr los resultados esperados.

El FPTA de Cultivos de Servicio pretende a partir de la integración de conocimientos de productores, técnicos e investigadores identificar y difundir las buenas prácticas agrícolas que potencian y capitalizan los beneficios de estos cultivos a partir de una red de ensayos y seguimiento de chacras comerciales de productores.

Por más información acceda a: <http://ausid.com.uy/cultivos-de-servicio/>.

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] A. J. Franzluebbbers, J. Sawchik, and M. A. Taboada, “Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America,” *Agric Ecosyst Environ*, vol. 190, pp. 18–26, 2014, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.017.



- [2] Oswaldo. Ernst, S. Dogliotti, M. Cadenazzi, and A. Kemanian, “Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield,” *Field Crops Res*, vol. 217, no. November 2017, pp. 180–187, 2018, doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.014.
- [3] L. E. Novelli, O. P. Caviglia, and G. Piñeiro, “Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks,” 2016. [Online]. Available: <http://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- [4] A. B. Wingeyer et al., “Soil quality impacts of current South American agricultural practices,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7, no. 2, pp. 2213–2242, 2015, doi: 10.3390/su7022213.
- [5] S. R. Mazzilli, O. R. Ernst, V. P. de Mello, and C. A. Pérez, “Yield losses on wheat crops associated to the previous winter crop: Impact of agronomic practices based on on-farm analysis,” *European Journal of Agronomy*, vol. 75, pp. 99–104, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.eja.2016.01.007.
- [6] P. Tittonell, “Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature,” *Curr Opin Environ Sustain*, vol. 8, pp. 53–61, 2014, doi: 10.1016/j.cosust.2014.08.006.
- [7] Millennium Ecosystem Assessment, *ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER* Synthesis. World Resources Institute, 2005.
- [8] R. Peiretti and J. Dumanski, “The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation,” *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, no. 1, pp. 14–20, 2014, doi: 10.1016/S2095-6339(15)30010-1.
- [9] M. Díaz-Zorita, G. A. Duarte, and J. H. Grove, “A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina,” *Soil Tillage Res*, vol. 65, no. 1, pp. 1–18, 2002, doi: 10.1016/S0167-1987(01)00274-4.



- [10] D. Tilman, K. Cassman, P. Matson, R. Naylor, and S. Polasky, “Agricultural sustainability and intensive production practices,” *Nature*, vol. 418, no. 6898, pp. 671–677, 2002, doi: 10.1080/11263508809430602.
- [11] G. Tamburini et al., “Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield,” 2020. [Online]. Available: <https://www.science.org>
- [12] C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, and M. Bodrero, *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*, vol. 1. 2012.
- [13] P. Pinto, G. Rubio, F. Gutiérrez, J. Sawchik, S. Arana, and G. Piñeiro, “Variable root:shoot ratios and plant nitrogen concentrations discourage using just aboveground biomass to select legume service crops,” *Plant Soil*, vol. 463, no. 1–2, pp. 347–358, Jun. 2021, doi: 10.1007/s11104-021-04916-x.
- [14] H. Rimski-korsakov, C. R. Álvarez, and R. S. Lavado, “Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina,” *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, vol. 21, no. Cc, pp. 1–6, 2016.
- [15] J. Sawchik et al., “El sistema agrícola bajo amenaza:¿ qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas?,” *IV Simposio Nacional de Agricultura.*, vol. IV, no. November, pp. 149–168, 2015.
- [16] D. M. Finney, C. M. White, and J. P. Kaye, “Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures,” *Agron J*, vol. 108, no. 1, pp. 39–52, Jan. 2016, doi: 10.2134/agronj15.0182.
- [17] F. García-Préchac, O. Ernst, G. Siri-Prieto, and J. A. Terra, “Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay,” *Soil Tillage Res*, vol. 77, no. 1, pp. 1–13, 2004, doi: 10.1016/j.still.2003.12.002.
- [18] G. Siri-Prieto and O. Ernst, “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,” *Cangue*, vol. 31, pp. 18–27, 2011.
- [19] J. Wang, S. Zhang, U. M. Sainju, R. Ghimire, and F. Zhao, “A meta-analysis on cover crop impact on soil water storage, succeeding crop yield, and water-



- use efficiency,” *Agric Water Manag*, vol. 256, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2021.107085.
- [20] H. Blanco-Canqui et al., “Soil organic carbon: The value to soil properties,” *J Soil Water Conserv*, vol. 68, no. 5, Sep. 2013, doi: 10.2489/jswc.68.5.129A.
- [21] E. E. Oldfield, M. A. Bradford, and S. A. Wood, “Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields,” *SOIL*, vol. 5, no. 1, pp. 15–32, Jan. 2019, doi: 10.5194/soil-5-15-2019.
- [22] M. V. Pravia, A. R. Kemanian, J. A. Terra, Y. Shi, I. Macedo, and S. Goslee, “Soil carbon saturation, productivity, and carbon and nitrogen cycling in crop-pasture rotations,” *Agric Syst*, vol. 171, pp. 13–22, 2019, doi: 10.1016/j.agsy.2018.11.001.
- [23] L. E. Novelli, O. P. Caviglia, and R. J. M. Melchiori, “Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols,” *Geoderma*, vol. 167–168, pp. 254–260, 2011, doi: 10.1016/j.geoderma.2011.09.015.
- [24] L. E. Novelli, O. P. Caviglia, M. G. Wilson, and M. C. Sasal, “Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol,” *Geoderma*, vol. 195–196, pp. 260–267, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.geoderma.2012.12.013.
- [25] M. A. Bolinder et al., “The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews,” *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, vol. 25, no. 6, pp. 929–952, Aug. 2020, doi: 10.1007/s11027-020-09916-3.
- [26] O. Ernst and G. Siri-Prieto, “Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators,” *Soil Tillage Res*, vol. 105, no. 2, pp. 260–268, 2009, doi: 10.1016/j.still.2009.08.001.
- [27] Mazzilli Sebastián, Echeverría Joaquín, Armen Kemanian, Buffa Ignacio, Bugarín Gonzalo, and Ernst Oswaldo, “SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL Y ECONÓMICA EN PREDIOS AGRÍCOLA-GANADEROS: UN SISTEMA DE INDICADORES OBJETIVOS APLICABLE EN,” 2018. [Online]. Available: <http://www.inia.uy>



- [28] S. B. Restovich, A. E. Andriulo, and S. I. Portela, “Field Crops Research Introduction of cover crops in a maize – soybean rotation of the Humid Pampas : Effect on nitrogen and water dynamics,” *Field Crops Res*, vol. 128, pp. 62–70, 2012, doi: 10.1016/j.fcr.2011.12.012.
- [29] S. Beatriz Restovich, A. Enrique Andriulo, C. María Armas-Herrera, M. José Beribe, and S. Isabel Portela, “Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions,” vol. 442, no. 1, pp. 401–417, 2019, doi: 10.2307/48704034.
- [30] DIEA, “Anuario Estadístico Agropecuario. DIEA-MGAP,” 2020. [Online]. Available: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario-estadistico-de-diea-2019>
- [31] O. Ernst, A. Kemanian, S. Mazzilli, G. Siri-Prieto, and S. Dogliotti, “The dos and don’ts of no-till continuous cropping: Evidence from wheat yield and nitrogen use efficiency,” *Field Crops Res*, vol. 257, no. August, p. 107934, 2020, doi: 10.1016/j.fcr.2020.107934.
- [32] A. Beretta-Blanco, O. Pérez, and L. Carrasco-Letelier, “Soil quality decrease over 13 years of agricultural production,” *Nutr Cycl Agroecosyst*, vol. 3, 2019, doi: 10.1007/s10705-019-09990-3.
- [33] G. S. Marcillo and F. E. Miguez, “Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis,” *J Soil Water Conserv*, vol. 72, no. 3, pp. 226–239, May 2017, doi: 10.2489/jswc.72.3.226.
- [34] S. A. Ebelhar, W. W. Frye, and R. L. Blevins², “Nitrogen from Legume Cover Crops for No-Tillage Corn’.”
- [35] W. W. Frye, R. L. Blevins, M. S. Smith, S. J. Corak, and J. J. Varco, “8 Role of Annual Legume Cover Crops in Efficient Use of Water and Nitrogen,” 1988.
- [36] I. A. Ciampitti and F. O. García, “REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES. ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS I. CEREALES, OLEAGINOSOS E

- INDUSTRIALES.,” Boletín Técnico. International Plant Names Index, vol. 11, pp. 1–16, 2007.
- [37] I. A. Ciampitti and F. O. García, “Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios ii. hortalizas, Frutales y Forrajeras,” Boletín Técnico. International Plant Names Index, vol. 12, pp. 1–4, 2008.
- [38] J. Treviño, T. Hernández, and R. Caballero, “Estudio de la composición minera! de la veza común (*Vicia sativa* L.) y veza villosa (*Vicia villosa* Roth) en función del estado de madurez de la planta,” PASTOS, pp. 127–134, 1977.
- [39] M. E. Duval, J. A. Glantini, J. E. Capurro, and M. J. Beltran, “Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja,” Ciencias Agronómicas, vol. XXIX, pp. 7–14, 2017.
- [40] G. Salcedo Díaz, “VALOR NUTRITIVO Y DEGRADABILIDAD RUMINAL DE AVENA SATIVA Y VICIA SATIVA,” PASTOS, vol. XXVIII, no. 1, pp. 71–85, 1998.
- [41] I. Heap, “International Herbicide-Resistant Weeds Database,” 2021. [Online]. Available: <http://www.weedscience.org>
- [42] A. García, P. Jorajuría, M. Cabrera, and T. Kaspary, “Estimación de la reducción potencial en el uso de herbicidas a través del uso adecuado de los cultivos de cobertura: efecto de la densidad de avena negra y el rolado como método de desecación sobre el control de malezas y el rendimiento de soja,” 2020.
- [43] FAO-UDELAR, “INFORME FINAL: PROYECTO PLAGUICIDAS GCP URU/031/GFF,” 2019.
- [44] FAO-UDELAR, “INFORME FINAL: PROYECTO PLAGUICIDAS GCP URU/031/GFF,” 2020.
- [45] FAO-UDELAR, “INFORME FINAL: PROYECTO PLAGUICIDAS GCP URU/031/GFF,” 2018.
- [46] J. Fischer, D. B. Lindenmayer, and A. D. Manning, “Biodiversity, Ecosystem Function, and Resilience: Ten Guiding Principles for Commodity Production Landscapes,” 2006.



- [47] C. Perrings et al., “Biodiversity in agricultural landscapes: Saving natural capital without losing interest,” *Conservation Biology*, vol. 20, no. 2. pp. 263–264, Apr. 2006. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00390.x.
- [48] A. Brazeiro, M. Achkar, C. Toranza, and L. Bartesaghi, “Agricultural expansion in uruguayan grasslands and priority areas for vertebrate and woody plant conservation,” *Ecology and Society*, vol. 25, no. 1, 2020, doi: 10.5751/ES-11360-250115.
- [49] T. Tscharntke, A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, and C. Thies, “Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - Ecosystem service management,” *Ecology Letters*, vol. 8, no. 8. pp. 857–874, Aug. 2005. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x.
- [50] E. Nichols, S. Spector, J. Louzada, T. Larsen, S. Amezcuita, and M. E. Favila, “Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles,” *Biological Conservation*, vol. 141, no. 6. pp. 1461–1474, Jun. 2008. doi: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.
- [51] L. A. Garibaldi, L. A. Schulte, D. N. Nabaes Jordar, D. S. Gomez Carella, and C. Kremen, “Time to Integrate Pollinator Science into Soybean Production,” 2021, doi: 10.1016/j.tree.
- [52] S. Seibold et al., “The contribution of insects to global forest deadwood 1 decomposition 2 3.”
- [53] S. Abbate, ; Laura, F. ; Madeira, and H. Silva, “Association between Landscape Composition and the Abundance of Predator and Herbivore Arthropods in Bt and Non-Bt Soybean Crops,” 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11159/495103>
- [54] T. Tscharntke et al., “Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale,” *Biological Control*, vol. 43, no. 3, pp. 294–309, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.biocontrol.2007.08.006.
- [55] A. J. Vanbergen et al., “Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature’s contributions to people, agriculture and food security,” in *Advances in Ecological Research*, Academic Press Inc., 2020, pp. 193–253. doi: 10.1016/bs.aecr.2020.08.002.



- [56] B. Lavandero I, S. D. Wratten, R. K. Didham, and G. Gurr, “Increasing floral diversity for selective enhancement of biological control agents: A double-edged sword?,” *Basic Appl Ecol*, vol. 7, no. 3, pp. 236–243, May 2006, doi: 10.1016/j.baae.2005.09.004.
- [57] F. L. Wäckers and P. C. J. Van Rijn, “Food for protection: An introduction,” in *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*, Cambridge University Press, 2005, pp. 1–14. doi: 10.1017/CBO9780511542220.002.
- [58] K. Winkler, F. Wäckers, G. Bukovinszkine-Kiss, and J. Van Lenteren, “Sugar resources are vital for *Diadegma semiclausum* fecundity under field conditions,” *Basic Appl Ecol*, vol. 7, no. 2, pp. 133–140, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.baae.2005.06.001.
- [59] G. M. Gurr, S. D. Wratten, J. Tylanakis, J. Kean, and M. Keller, “Providing plant foods for natural enemies in farming systems: Balancing practicalities and theory,” in *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*, Cambridge University Press, 2005, pp. 326–347. doi: 10.1017/CBO9780511542220.012.
- [60] G. E. Heimpel and M. A. Jervis, “Does floral nectar improve biological control by parasitoids?,” in *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*, Cambridge University Press, 2005, pp. 267–304. doi: 10.1017/CBO9780511542220.010.
- [61] H. Blanco-Canqui et al., “Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils,” *Agron J*, vol. 107, no. 6, pp. 2449–2474, 2015, doi: 10.2134/agronj15.0086.
- [62] P. W. Unger, “Straw-mulch Rate Effect on Soil Water Storage and Sorghum Yield,” *Soil Science Society of America*, vol. 42, no. 3, pp. 486–491, 1978.
- [63] N. K. Fageria, V. C. Baligar, and B. A. Bailey, “Role of cover crops in improving soil and row crop productivity,” *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 36, no. 19–20, pp. 2733–2757, Oct. 2005. doi: 10.1080/00103620500303939.



- [64] I. I. Garba, L. W. Bell, and A. Williams, “Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis,” *Agron Sustain Dev*, vol. 42, no. 34, pp. 1–21, 2022, doi: 10.1007/s13593-022-00760-0/Published.
- [65] G. Piñeiro et al., “Red de Cultivos de Servicios - Aapresid - BASF,” 2022.
- [66] L. Dabala, “Guía de Siembra Directa,” 2009.
- [67] T. Chapagain, E. A. Lee, and M. N. Raizada, “The potential of multi-species mixtures to diversify cover crop benefits,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 5. MDPI, Mar. 01, 2020. doi: 10.3390/su12052058.
- [68] J. Rutan and K. Steinke, “Corn Nitrogen Management Following Daikon Radish and Forage Oat Cover Crops,” *Soil Science Society of America Journal*, vol. 83, no. 1, pp. 181–189, Jan. 2019, doi: 10.2136/sssaj2018.07.0269.
- [69] A. Elhakeem, W. van der Werf, and L. Bastiaans, “Radiation interception and radiation use efficiency in mixtures of winter cover crops,” *Field Crops Res*, vol. 264, no. February, p. 108034, 2021, doi: 10.1016/j.fcr.2020.108034.
- [70] M. Wendling, R. Charles, J. Herrera, C. Amossé, A. Walter, and L. Büchi, “Effect of species identity and diversity on biomass production and its stability in cover crop mixtures,” *Agric Ecosyst Environ*, vol. 281, pp. 81–91, 2019.
- [71] Carciochi, W. D., Contreras, L. E., Crespo, C., & Barbieri, P. A. (2019). Cultivos de cobertura: efecto sobre la disponibilidad de azufre en soja. *Ciencia del suelo*, 37(2), 269-280.
- [72] Balbi, E, Flores, F. (2019). Evolución de la población de chinches fitófagas luego del secado por rolo de un cultivo de cobertura de Vicia villosa. *Boletín informativo semestral n° 3 INTA EEA Marcos Juárez - Año 3 - Enero de 2019*.
- [73] Balbi, E, 2021. Los CC como escenario de diversificación y reaparición de plagas. ¿Cuales? ¿Cómo identificarlas? II Simposio de cultivos de cobertura - INTA Marcos Juárez, marzo 2021 organizado por el INTA Marcos Juárez.