

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**PRODUCCIÓN DE RAÍCES, BIOMASA AÉREA Y APORTES DE  
NITRÓGENO DE LOS DISTINTOS CULTIVOS DE SERVICIO**

**por**

**Matías PEREYRA GRECCO  
Enzo Martín MORÁN VALLEO**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO**

**URUGUAY**

**2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a: .....

Ing. Agr. (Dr) Oswaldo Ernst

Tribunal: .....

Ing. Agr. (Dr) Oswaldo Ernst

.....

Ing. Agr. (PhD) Gervasio Piñeiro

.....

Ing. Agr. Santiago Álvarez

Fecha: 3 de mayo de 2024

Estudiante: .....

Matías Nicolás Pereyra Grecco

.....

Enzo Martín Morán Valleo

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer principalmente a nuestras familias y amigos por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera. Siempre estuvieron presentes y dando para adelante en momentos buenos y no tan buenos. Sin ellos no hubiera sido posible lograrlo.

A nuestras compañeras de vida Betina y Agustina, por acompañarnos y bancarnos en cada momento a pesar de la distancia.

Agradecer a las muchachas de biblioteca de Montevideo Inés, Camila y Angélica por aguantarnos y estar a la orden en este último tramo de la tesis.

Al equipo docente, Santiago Alvares y Oswaldo Ernst por su paciencia, comprensión y dedicación.

**¡¡MUCHAS GRACIAS!!**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. OBJETIVO.....	10
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	11
2.1. TRAYECTORIA RECIENTE Y PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS .....	11
2.2. INCLUSIÓN DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO EN LAS ROTACIONES AGRÍCOLAS .....	12
2.3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO .....	14
2.4. APORTE Y RECICLAJE DE NUTRIENTES .....	14
2.5. BIOMASA RADICULAR.....	17
2.6. TIPOS DE CULTIVOS DE SERVICIO .....	18
2.6.1. Gramíneas.....	18
2.6.2. Leguminosas .....	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	21
3.1.1. Localización.....	21
3.1.2. Características del ambiente de producción .....	21
3.1.3 Diseño experimental.....	21
3.2. MANEJO DEL CULTIVO DE SERVICIO Y SUS DETERMINACIONES .....	23
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA .....	25
4.1.2. Precipitación y temperatura en el período de evaluación.....	25
4.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y RADICULAR .....	26
4.3 APORTE DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO .....	29

4.4. VARIACIÓN EN LA RELACIÓN C/N EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN DE MS LEGUMINOSAS .....	32
5. CONCLUSIONES .....	34
6. BIBLIOGRAFÍA .....	35

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Contenido de nitrógeno (N) aportado por los diferentes cultivos de servicio. ....</i>	17
<b>Tabla 2.</b> <i>Información de cada tratamiento. ....</i>	22
<b>Tabla 3.</b> <i>Biomasa aérea, radicular y relación parte aérea/raíz para cada tratamiento. ....</i>	27
<b>Tabla 4.</b> <i>Aporte de nitrógeno, kg N ton MS aérea y relación C/N de biomasa aérea de los diferentes tratamientos. ....</i>	30

<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Evolución de la agricultura de secano y sus innovaciones tecnológicas en Uruguay. ....</i>	11
<b>Figura 2.</b> <i>Evolución del área destinada a cultivos de servicio, cultivos de invierno y barbecho invernal. ....</i>	13
<b>Figura 3.</b> <i>Régimen de precipitaciones y temperatura. ....</i>	25
<b>Figura 4.</b> <i>Producción de biomasa radicular en función de la biomasa aérea producida por los diferentes tratamientos. ....</i>	28
<b>Figura 5.</b> <i>Relación C/N en función de la proporción de leguminosas. ....</i>	33

## RESUMEN

En la primera década del siglo XXI, el país atravesó un proceso de expansión agrícola, caracterizado por un sistema de agricultura continua en la cual predomina el monocultivo de soja. Esta práctica, que implicaba periodos frecuentes de barbecho invernal, resultó en la exposición constante del suelo durante el invierno, provocando un deterioro progresivo del mismo y afectando tanto sus propiedades físicas como químicas. En respuesta a esta problemática, los cultivos de servicio han surgido como una estrategia para mitigar los impactos negativos. El presente estudio tiene como objetivos principales evaluar los aportes de nitrógeno, la producción de biomasa aérea y la producción de biomasa radicular en los primeros 20 cm de suelo, en diferentes tipos de cultivos de servicio. Se emplearon distintas variedades y mezclas de cultivos de servicio, incluyendo *Avena byzantina*, *Avena strigosa*, *Vicia villosa*, *Lupinus angustifolius*, además se utilizaron mezclas de *Avena byzantina* + *Vicia villosa* y *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, dispuestos en un diseño en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Los resultados revelaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto a la producción de biomasa aérea y radicular de los diferentes tratamientos evaluados, siendo una de las mezclas de *Avena strigosa* + *Vicia villosa* aquella que logra mayor producción tanto de biomasa aérea ( $8045 \text{ kg MS ha}^{-1}$ ) como de biomasa radicular ( $1105 \text{ kg MS ha}^{-1}$ ). Además, se identificó una correlación lineal y positiva entre ambas variables. Respecto al aporte de nitrógeno, se destacaron los cultivos de *Vicia villosa*, así como las mezclas de *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, como los tratamientos que ofrecieron los mayores aportes de dicho nutriente.

*Palabras clave:* biomasa aérea, biomasa radicular, aporte de nitrógeno, barbecho invernal, cultivos de servicio

## SUMMARY

In the first decade of the 21st century, the country went through a process of agricultural expansion, characterized by a continuous agricultural system in which soybean monoculture predominates. This practice, which involved frequent periods of winter fallow, resulted in constant exposure of the soil during the winter, causing its progressive deterioration and affecting both its physical and chemical properties. In response to this problem, service crops have emerged as a strategy to mitigate negative impacts. The main objectives of this study are to evaluate nitrogen contributions, aerial biomass production and root biomass production in the first 20 cm of soil, in different types of service crops. Different varieties and mixtures of service crops were used, including *Avena byzantina*, *Avena strigosa*, *Vicia villosa*, *Lupinus angustifolius*, and mixtures of *Avena byzantina* + *Vicia villosa* and *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, arranged in a completely randomized block design with three repetitions. The results revealed significant differences ( $p < 0.05$ ) in terms of the production of aerial and root biomass of the different treatments evaluated, with one of the mixtures of *Avena strigosa* + *Vicia villosa* being the one that achieved the highest production of both aerial biomass ( $8045 \text{ kg DM ha}^{-1}$ ) and root biomass ( $1105 \text{ kg DM ha}^{-1}$ ). Furthermore, a linear and positive correlation was identified between both variables. Regarding the contribution of nitrogen, the *Vicia villosa* crops, as well as the mixtures of *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, stood out as the treatments that offered the greatest contributions of said nutrient.

*Keywords:* aerial biomass, root biomass, nitrogen contributions, winter fallows, service crops

## **1. INTRODUCCIÓN**

La presión global por aumentar la producción de alimentos ha provocado un importante cambio en el uso del suelo a nivel mundial en el pasado reciente. Uruguay no estuvo exento de dicho proceso, el cual estuvo guiado por una intensificación del uso agrícola del suelo, que consistió en (i) sustituir sistemas pastura-cultivo por sistemas de agricultura continua con una alta frecuencia de soja, siempre bajo cero laboreo; y (ii) la expansión de estos sistemas sobre áreas marginales.

Este cambio en el uso del suelo se sustentó bajo la premisa de que al eliminar la labranza se controla el deterioro de la calidad del suelo. Sin embargo, al mantenerse en el tiempo sistemas de cultivo basados en el cultivo de soja disminuyó el aporte promedio anual de residuos aéreos y radiculares, lo que generó un balance negativo de carbono y favoreció el proceso de erosión de los suelos, afectando por ende servicios ecosistémicos de provisión de alimentos o de regulación y soporte, como el ciclado y aporte de nutrientes y/o la formación de materia orgánica. Comprometiendo la sustentabilidad del sistema en el mediano y largo plazo.

Los servicios ecosistémicos son definidos como beneficios que los seres humanos obtienen desde los ecosistemas. En un contexto de desplazamiento de las pasturas de la rotación, para evitar el deterioro de los servicios ecosistémicos, es necesario diseñar sistemas de cultivo que consideren el mínimo laboreo del suelo posible, mantener el suelo cubierto y diversificar las especies de la rotación.

La incorporación de la siembra directa en la década del noventa logró reducir significativamente los problemas de erosión. Sin embargo, desde principios de siglo en adelante ha sido ampliamente documentado que, por sí sola, en monocultivos de soja no soluciona los problemas asociados al deterioro de los recursos. En este contexto, se implementan a partir del 2013 los Planes de Uso y Manejo Responsable del Suelo, la cual se basa en la Ley n° 15.239 surgida en el año 1981, con el objetivo de evitar la degradación de los suelos. Lo cual en la práctica se tradujo en la incorporación de los cultivos de servicio en la rotación para mitigar la problemática generada durante los periodos de barbecho invernal. De forma de controlar las pérdidas de suelo por erosión, evitar el lavado y

escurrimiento de nutrientes y mejorar el balance de carbono de los sistemas de cultivo.

### **1.1. OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo es estimar la biomasa aérea y radicular de los diferentes cultivos de servicio y estimar el aporte de nitrógeno (N) en función de la producción de materia seca (MS).

*Hipótesis 1: existe una correlación lineal positiva entre la producción de biomasa aérea y biomasa radicular.*

*Hipótesis 2: los cultivos de servicios mezcla de Avena + Vicia villosa pueden lograr aportes totales de N similares a Vicia villosa.*

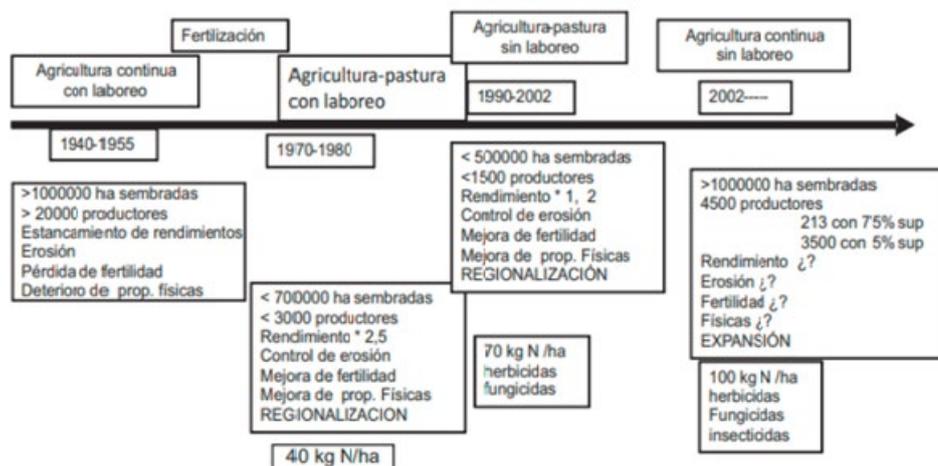
## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. TRAYECTORIA RECIENTE Y PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la agricultura en el país ha experimentado profundos cambios en el uso del suelo debido a factores de coyuntura internacional, la aplicación de políticas de estado y la investigación nacional. En orden cronológico se ha pasado por monocultivos de trigo bajo agricultura bajo labranza convencional hasta 1970, sistemas en rotación con pasturas, pero manteniendo el sistema de laboreo hasta 1990, la incorporación de la siembra directa a los sistemas agrícolas en rotación con pasturas hasta el 2000 y, desde principios de siglo hasta la actualidad, la sustitución de los sistemas en rotación con pasturas por sistemas bajo agricultura continua, pero con el cultivo de soja como principal componente de la rotación (Figura 1) (Ernst & Siri-Prieto, 2011).

**Figura 1**

*Evolución de la agricultura de secano y sus innovaciones tecnológicas en Uruguay*



*Nota.* Tomado de Ernst y Siri-Prieto (2011).

Hasta principios de siglo la trayectoria agrícola incorporó paulatinamente tecnología con foco en la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícolas. Sin embargo, el proceso de intensificación agrícola actual, logrado a expensas de una reducción del área de pasturas y de un proceso de “sojización” de la agricultura (Arbeletche et al., 2010), socava los principios fundamentales de la intensificación

sostenible definidos por Cassman (1999) al no cumplir con una de sus premisas como lo es la rotación de cultivos.

Desde principios de siglo hasta la zafra de verano de 2021, el área destinada a cultivos de verano pasó de 100.000 ha (Oficina de Programación y Política Agropecuaria [OPYPA], 2000) a 1.080.000 ha. De las cuales más de un 85% se sembraron con el cultivo de soja (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2021). El proceso no fue acompañado de un aumento en el área sembrada de cultivos de invierno, lo que llevó en un principio a un incremento en el área de largos períodos de barbecho invernal. Esta rotación (barbecho - soja) se tradujo en un incremento en las posibilidades de pérdidas de suelo por erosión (Pérez Bidegain et al., 2010), balances negativos de carbono orgánico (Clerici et al., 2004), pérdidas de nutrientes por lavado, eutrofización del agua (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina [RAP-AL], 2010) y un aumento de malezas resistentes. Además, el monocultivo de soja extrae más N de lo que aporta, aun teniendo la capacidad de fijar N, sólo el 50% del N cosechado en el grano proviene de este mecanismo, el resto es absorbido del suelo (Blum et al., 2008). Lo que ha llevado a un aumento en el uso de insumos para lograr mantener los niveles de producción (Ernst & Siri-Prieto, 2011), dada una degradación del recurso principal como es el suelo y cuestionando a largo plazo la sostenibilidad del sistema de producción.

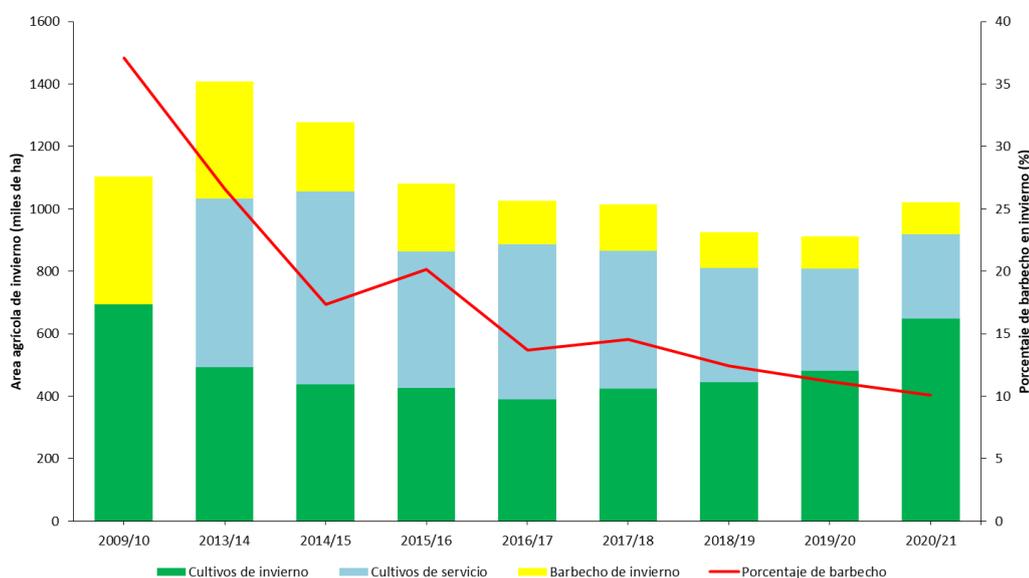
## **2.2. INCLUSIÓN DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO EN LAS ROTACIONES AGRÍCOLAS**

Para intentar mitigar los efectos negativos asociados a los monocultivos de soja, en el 2013 en Uruguay se implementaron los Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos (Ley n° 15.239, 1981). Este marco legal consiste en planificar una sucesión de cultivos en una unidad de producción que no genere pérdidas de suelo por erosión estimadas por encima de la tolerancia para ese suelo, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo a través del programa Erosión 6.0. Esto se aplica a las unidades de capacidad de uso de I a IV y tiene en cuenta las medidas de manejo con que se realizan en cada caso (Dirección General de Recursos Naturales Renovables [RENARE], 2013).

El cumplimiento de los Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos se materializó en la práctica con la incorporación en los sistemas de cultivo de los cultivos de servicio en sustitución del barbecho de invierno (Rosas et al., 2019). Lo que ha llevado a que desde su implementación el área de cultivos de servicio haya fluctuado en torno a 600.000 y 300.000 ha (Figura N°2), en función del precio de los commodities de invierno, y el área destinada a barbechos de invierno se haya reducido paulatinamente desde 400.000 a 100.000 ha (DIEA, 2021).

## Figura 2

*Evolución del área destinada a cultivos de servicio, cultivos de invierno y barbecho invernal*



*Nota.* Elaborado a partir de datos de DIEA (2009, 2016, 2022).

En la figura N° 2, se evidencia como la incorporación de cultivos de servicio en las rotaciones agrícolas ha resultado en una disminución constante en el porcentaje de barbecho. Además, se observa una tendencia hacia una disminución en la superficie sembrada de los cultivos de servicio en los últimos años, atribuible en parte al incremento en la siembra de cultivos de renta en invierno. Se observa un leve incremento en la superficie total sembrada en invierno, lo que implica una continuación en la reducción del porcentaje de barbecho con respecto al total de la superficie sembrada.

### **2.3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO**

Si bien, en función del marco legal, el objetivo de la incorporación de los cultivos de servicio fue la cobertura del suelo para el control de la erosión (Rosas et al., 2019), su inclusión también contribuye a mantener o mejorar otros servicios ecosistémicos como aumentar los niveles de materia orgánica (Sasal & Andriulo, 2005) y mejorar propiedades físicas (Williams & Weil, 2004), químicas y biológicas del mismo; favorecer el control biológico de plagas (Rowen et al., 2022) y funcionan como control cultural de malezas (Rimsky-Korsakov et al., 2016), entre otras. Dependerá de la especie utilizada y el manejo realizado sobre el cultivo.

De esta manera, la generación de información sobre distintas especies y mezclas de especies de cultivos de servicio es un aspecto relevante para la valoración de los distintos servicios ecosistémicos que pueden ofrecer.

### **2.4. APOORTE Y RECICLAJE DE NUTRIENTES**

Durante el ciclo de crecimiento, los cultivos absorben nutrientes en formas inorgánicas del suelo (Guevara, 1988). Esto implica que nutrientes móviles como el N o el azufre, que podrían perderse por lixiviación durante períodos de barbecho invernal, se retienen en la biomasa generada por los cultivos de servicio (Sasal & Andriulo, 2005). Posteriormente, estos nutrientes son liberados a medida que el rastrojo se descompone, permitiendo su reutilización por cultivos siguientes (Morón, 2001). De esta manera, los cultivos de servicio representan una herramienta valiosa para mitigar problemas ambientales asociados con la pérdida de nutrientes en cursos de agua y para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes al disminuir su pérdida del sistema.

McCracken et al. (1994) encontraron que la lixiviación de N al utilizar centeno como cultivo de servicio era nula en otoño, invierno y primavera temprana. Además, observaron que la reducción del contenido de N en el suelo en primavera equivale a la acumulación de N en el cultivo de servicio secado (Kessavalo & Walters, 1999).

La cantidad de nutrientes absorbidos y la cantidad de materia seca producida dependen en gran medida de la especie utilizada (Ferreira López & Ferreira Panissa, 2016). Mientras que la velocidad con la que estos nutrientes serán devueltos al suelo

depende de factores como: (i) la cantidad y calidad (relación C/N) del material generado (Mazzilli, 2015). Se ha observado que el N actúa como regulador en la descomposición del rastrojo, siendo la degradación de restos provenientes de leguminosas más rápida que el proveniente de gramíneas debido a su menor relación C/N (Santanatoglia et al., 1989). (ii) las condiciones climáticas, ya que el aumento de la temperatura y la humedad del suelo incrementan la actividad microbiana y, por ende, la descomposición del material vegetal (Álvarez et al., 2008).

La relación C/N de la biomasa es específica de cada especie, aquellos materiales con una relación C/N superior a 33/1 generan un proceso de inmovilización neta de N del suelo, lo que favorece a una descomposición más lenta del material. Por otro lado, una relación C/N inferior a 15/1 promueve el proceso de mineralización neta del material vegetal (Perdomo & Barbazán, 2015). Por lo tanto, si un cultivo de servicio con una relación C/N superior a 33/1 es responsable de la inmovilización de N para la degradación de su rastrojo, el aporte de los nutrientes de este rastrojo se producirá más tarde en el tiempo, una vez superada la etapa de inmovilización.

Sawchik et al. (2015) señalan que, además de la especie, el estado fenológico en el que se suprime el cultivo también afecta la relación C/N. A medida que avanza el estado de desarrollo del cultivo, se deposita más lignina, lo que resulta en una menor concentración de N (aumenta la relación C/N). Como consecuencia, el material tardará más tiempo en descomponerse y liberar los nutrientes que se encuentran en una fase orgánica en los restos vegetales como el N, azufre y parte del fósforo.

Las características mencionadas son fundamentales para lograr una correcta sincronización entre la oferta (rastros en descomposición) y demanda (cultivo de renta en desarrollo) de nutrientes, siendo un aspecto relevante el manejo del período de barbecho. Teniendo en cuenta una fecha de siembra fija del cultivo de renta, reducir el período de barbecho, implica un incremento en la producción de materia seca del cultivo de servicio y una relación C/N más alta. Esto resulta en un rastrojo de menor calidad y, por ende, en una descomposición más lenta del mismo (Ernst, 2004). Como consecuencia, la disponibilidad de N y otros nutrientes durante el

establecimiento del cultivo sucesor disminuirá, lo que aumenta la probabilidad de deficiencias de nutrientes (Thorup-Kristensen et al., 2003).

En contraparte, con periodos de barbecho excesivos, hay mayor aporte de N temprano en el ciclo del cultivo. Si en este periodo existen excesos hídricos debido a altas precipitaciones, también es probable que algunos de los nutrientes móviles absorbidos se pierdan por lixiviación.

Además del aprovechamiento de los nutrientes aportados por el cultivo de servicio, las leguminosas son capaces de fijar N atmosférico mediante la fijación biológica del nitrógeno (FBN). Esta fijación se realiza mediante una asociación simbiótica entre bacterias del género *Rhizobium* y las raíces de estas especies (Paredes, 2013). La simbiosis permite reducir el N<sub>2</sub> atmosférico a NH<sub>4</sub> (amonio), forma asimilable de N por las plantas (Frioni, 2005). La cantidad de N que puede fijar una leguminosa va a depender de su rendimiento, del contenido de N del forraje y de la proporción de ese N que se derivó de la atmósfera por acción de la simbiosis (García et al., 1994).

Los principales factores que afectan la FBN y crecimiento vegetal son la temperatura y humedad (Chalk et al., 2010). A su vez la acidez del suelo y la presencia de aluminio intercambiable son factores que afectan en mayor medida a las bacterias del género *Rhizobium* que a la planta, limitando de esta forma la FBN (Ledgard & Giller, 1995). Divito y Sadras (2014) destacan que la disponibilidad de fósforo también es clave para la absorción de N vía FBN. Afectando directamente la actividad y desarrollo de los nódulos e indirectamente el crecimiento de la planta.

Otro factor que afecta la formación de nódulos es la disponibilidad de N en la solución del suelo, la alta disponibilidad de N reduce la formación de nódulos debido a que la leguminosa absorbe el N de la solución, en cambio, cuando disminuye la disponibilidad de N se promueve la formación de nódulos ya que es necesario para la planta la fijación biológica del N para disponer de este nutriente (González, 2012).

Duval et al. (2017) realizaron un trabajo en el que se observó que el N acumulado en la biomasa aérea varía entre 102 y 212 kg N/ha, donde las principales diferencias se observaron entre años. La vicia presentó mayor cantidad de N acumulado con un promedio de 171 kg N/ha. Si bien se observaron diferencias en

la concentración de N en tejido vegetal, la mayor cantidad de biomasa producida por gramíneas igualaron los contenidos de N aportado por los residuos.

**Tabla 1**

*Contenido de nitrógeno (N) aportado por los diferentes cultivos de servicio*

Cultivo de servicio	N(Kg/ha)
Avena	107
Avena + Vicia	123
Vicia villosa	171

*Nota.* Elaborado a partir de Duval et al. (2017).

## 2.5. BIOMASA RADICULAR

Las raíces desempeñan un papel crucial en cuanto a las propiedades físicas del suelo, al aporte de residuos que impacta en el ciclo de nutrientes y a la formación de materia orgánica del suelo (Maeght et al., 2013).

Torres-Guerrero et al. (2013) afirman que existe una relación entre la estructura del suelo y el crecimiento de las raíces de las plantas. Estas, al crecer aumentan el tamaño de los poros existentes y crean otros nuevos (Reid et al., 1982). De esta forma, la proliferación de las raíces promueve la descompactación del suelo (Turney & Menge, 1993).

Según Hétier et al. (1986) las raíces son las encargadas del 85% de la entrada del carbono al sistema, ya que presentan una mayor tasa de descomposición que los residuos provenientes de la superficie. Tahir et al. (2016) destacan la importancia del contacto de las raíces con el suelo, la temperatura y la humedad como factores que regulan su descomposición.

En cuanto a producción de biomasa radicular, Pinto (2018) concluye que está determinada principalmente por la especie y en menor medida por el ambiente. En su trabajo evaluó la producción de biomasa radicular de *Avena sativa* y *Vicia villosa* en los primeros 20 cm durante tres años consecutivos, con resultados que presentan una producción promedio de 923 kg MS ha<sup>-1</sup> de biomasa radicular para

avena sativa y 633 kg MS ha<sup>-1</sup> para vicia. Además, señala que la variación en la partición raíz/tallo entre las especies no permite seleccionar cultivos con mayor producción de biomasa subterránea a partir de la biomasa aérea.

## 2.6. TIPOS DE CULTIVOS DE SERVICIO

Los cultivos de servicio ofrecen diferentes beneficios dependiendo de la especie utilizada. En el litoral agrícola de Uruguay las principales especies utilizadas pertenecen a la familia de las gramíneas y leguminosas (Peloche et al., 2022). Las cuales, por sus características distintivas, realizan aportes diferentes a los sistemas de cultivo.

### 2.6.1. Gramíneas

Las especies más utilizadas como cultivo de servicio en el país son gramíneas anuales, siendo las principales especies utilizadas las *Avenas strigosa* y *Avena sativa* (Peloche et al., 2022). De manera general las gramíneas son reconocidas por su precocidad y sus altas tasas de crecimiento durante el invierno, lo cual les permite lograr una cobertura temprana y generar una mayor producción de MS que las leguminosas, tanto aérea como radicular, en menor cantidad de tiempo (Sawchik et al., 2015). Por otra parte, la materia seca generada posee una C/N que puede tomar valores de entre 40 y 60, lo que genera que el rastrojo producido sea de lenta descomposición (Ilardia & Meirelles, 1998).

Las características mencionadas les permiten a las gramíneas ser una familia de especies útiles para favorecer algunos servicios ecosistémicos como el de controlar la erosión (Linsler et al., 2018); controlar malezas (Pinto & Piñeiro, 2018); mejorar la estructura del suelo (Barberousse & Sanguinetti, 2020); evitar el lavado y reciclar nutrientes dentro del sistema (Álvarez et al., 2008); o generar balances de carbono orgánico positivos y así promover la formación de suelo (Hétier et al., 1986).

Entre las avenas, estas se caracterizan por ser especies rústicas con cierto grado de susceptibilidad al anegamiento. La *Avena byzantina*, también conocida como Avena amarilla, se caracteriza por ser de ciclo intermedio a largo con capacidad de macollar y porte de semi - postrado a erecto. Si bien, tiene la capacidad de producir MS durante otoño e invierno concentra la producción en primavera.

Mientras que la *Avena strigosa*, también conocida como avena negra, presenta un ciclo muy corto, con escasa capacidad de macollaje y hábito de crecimiento semi - erecto. Es una variedad precoz con altas tasas de crecimiento por lo que posee un alto nivel de productividad durante el otoño e invierno en comparación a la avena amarilla (Zanoniani & Ducamp, 2000).

Zanoniani y Ducamp (2000) señalan que la *Avena strigosa* puede lograr producciones entre 2000 y 7000 kg MS ha<sup>-1</sup>.

### 2.6.2. Leguminosas

Las leguminosas anuales tienen una menor tasa de crecimiento inicial y alcanzan una menor producción de MS final que las gramíneas (Elhakeem et al., 2021), pero se destacan por poseer una baja C/N de la MS producida (10 a 15) y por poder incorporar 100 kg ha<sup>-1</sup> de N al sistema mediante el mecanismo de fijación biológica (Pinto, 2018), generando una biomasa de mayor calidad sin la necesidad de N adicional.

Fageria et al. (2005) destacan que la mayoría de las leguminosas poseen una alta capacidad de acumular N en su biomasa aérea, además, Ruffo y Bollero (2003) afirman que este N queda disponible posterior a la descomposición de residuos.

Estas características les permiten ser una familia de especies útiles para mejorar la eficiencia o reducir el uso de fertilizantes nitrogenado (Ledgard & Giller, 1995), a su vez mejoran la estructura del suelo, particularmente en profundidad favoreciendo el enraizamiento del cultivo subsiguiente y aportan una masa importante de residuos particularmente fermentables, que activan la vida microbiana del suelo (Carámbula, 2003). Tréboles, vicias o lupinos son los géneros que han mostrado mejores resultados para distintas zonas agrícolas del país (Sawchik et al., 2015).

En el caso de *Vicia villosa*, es una especie de ciclo otoño-inverno-primaveral, con hábito postrado, de tallos largos y frágiles. Si bien su fecha de siembra óptima es de inicios de otoño, tolera siembras hasta principios de invierno. Se adapta a suelos de baja fertilidad (Vanzolini et al., 2013), aunque sí requiere que sean bien drenados. Presenta un lento desarrollo inicial, especialmente si es sembrada a fines de invierno (Renzi, 2010). Desde fines de invierno en adelante el

cultivo posee altas tasas de desarrollo, pudiendo superar en 150 días de ciclo las 5 Mg ha<sup>-1</sup> en chacras a nivel comercial (Peloché et al., 2022).

Dentro de los tréboles, el *Trifolium resupinatum* (trébol persa) es una especie anual invernal, de porte erecto-semi erecto (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2012). Su ciclo es otoño-invierno-primaveral, con su crecimiento concentrado en primavera. La fecha de siembra recomendada es a principios de otoño, siendo muy susceptible a siembras en invierno (INIA, 2012). Si bien tolera heladas intensas, tiene una tasa de desarrollo prácticamente nula a bajas temperaturas. Respecto a los suelos, se adapta bien a suelos pesados con problemas de drenaje y salinos. Suelos arenosos y secos no favorecen su crecimiento (INIA, 2012). La producción puede llegar hasta 6 Mg ha<sup>-1</sup>, pero con una alta variabilidad. Al igual que para *Vicia villosa* el bajo C/N del material generado luego de su finalización (13-14/1) permite una rápida descomposición del material vegetal (de Sá Pereira et al., 2017).

El *Lupinus angustifolius* (lupino australiano) posee un ciclo otoño-invierno-primaveral. Posee un porte erecto y tiene un hábito de crecimiento indeterminado, lo que le permite al tallo principal producir sucesivos niveles de ramificación mientras las condiciones ambientales lo permitan y generar nuevos brotes vegetativos luego de la primera floración. Su fecha de siembra óptima es en mayo, aunque puede ser sembrado en invierno. Es muy susceptible a suelos con una pobre estructura, ya que no tolera anegamientos (Mera, 2016). Es una especie que posee una raíz pivotante que puede llegar al metro de profundidad en los primeros metros de desarrollo, lo que le permite tener una alta adaptación a situaciones de sequía (Planchuelo & Ravelo, 2023). La biomasa aérea generada posee una C/N en torno a 30-40 (Mera, 2016), superior a especies del género *vicia* o *trifolium* aunque significativamente inferior al de las gramíneas.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO**

##### **3.1.1. Localización**

El experimento fue llevado a cabo en el departamento de Paysandú, en la Estación Experimental Mario Cassinoni, Facultad de Agronomía (Latitud: 32° 22' 37.6" Sur y Longitud 58° 02' 38.3" Oeste).

##### **3.1.2. Características del ambiente de producción**

Según Altamirano et al. (1976), en la carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay (Escala 1:1.000.000), el suelo pertenece a la Unidad San Manuel, la cual presenta como suelos dominantes a los Brunosoles Éutricos Lúvicos, de color pardo muy oscuro, textura franco arcillo limosa, fertilidad alta y moderada a imperfectamente bien drenados.

La chacra provenía de pasturas hasta el 2021. El verano de 2021 se sembró un cultivo de soja, el cual fue el cultivo antecesor del experimento en cuestión.

##### **3.1.3 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar. Se realizaron 8 tratamientos: dos gramíneas puras, dos leguminosas puras y cuatro mezclas de especies. Los tratamientos se repitieron en tres bloques iguales, con un total de 24 parcelas. Las parcelas con cultivos de servicio tuvieron un área de 126 m<sup>2</sup> (4,2m x 30m), siendo el área total del experimento de 0,3 ha.

**Tabla 2***Información de cada tratamiento*

Tratamiento	Especie 1	Especie 2	Densidad siembra 1 (kg / ha)	Densidad siembra 2 (kg / ha)	Fertilización
3	<i>Vicia villosa</i>	-	25	-	Si
4	<i>Avena strigosa</i>	-	40	-	Si
5	<i>Lupinus angustifolius</i>	-	120	-	Si
7	<i>Av. strigosa</i>	<i>Vicia villosa</i>	15	25	Si
8	<i>Av. strigosa</i>	<i>Vicia villosa</i>	30	25	Si
9	<i>Av. byzantina</i>	<i>Vicia villosa</i>	45	25	Si
10	<i>Av. byzantina</i>	<i>Vicia villosa</i>	22,5	25	Si
11	<i>Av. byzantina</i>	-	60	-	Si

El modelo estadístico se expresa como:  $Y=X\beta+Z\gamma+\varepsilon$ , siendo  $Y$  el vector de respuestas observadas;  $X$  la matriz de diseño para los efectos *fijos*;  $\beta$  el vector de coeficientes de los efectos fijos que se deben estimar (tratamientos);  $Z$  la matriz de diseño para los efectos aleatorios;  $\gamma$  el vector de coeficiente de los efectos aleatorios que se deben estimar (bloques);  $\varepsilon$  es el vector de errores aleatorios, que se asume que sigue una distribución normal.

### 3.2. MANEJO DEL CULTIVO DE SERVICIO Y SUS DETERMINACIONES

La siembra de los cultivos de servicio se realizó el 13 de mayo de 2022. Los mismos se sembraron en la línea con un ancho de entre fila de 19 cm. Siendo la fecha de supresión el 20 de septiembre.

Se realizaron aplicaciones de 100 kg de 7-40 para los tratamientos constituidos por leguminosas puras y también para las mezclas de *Avena strigosa* y *Avena byzantina* + *Vicia villosa*, mientras que aquellos constituidos por *Avena strigosa* y *Avena byzantina* puras fueron fertilizados con 50 kg de urea.

Se evaluó la producción de biomasa aérea, biomasa radicular y el aporte de N de los diferentes cultivos de servicio.

Las evaluaciones a campo se comenzaron cortando una muestra de parte aérea en un área de tres hileras consecutivas por dos metros de largo, comprendiendo un área de la muestra de 1.14 m<sup>2</sup>, de esta forma se estimó la producción de biomasa seca aérea por hectárea de cada tratamiento, en todos los bloques. Se realizaron dos muestras por tratamiento donde se utilizaron medias como dato para la evaluación. Se utilizó una tijera de esquilar y el corte se realizó a los 2 cm del suelo.

Se midió el peso fresco total de ambas muestras por tratamiento con una balanza a campo. En aquellos tratamientos que contaban con dos especies en mezcla también se midió el peso fresco por separado de cada una.

De cada muestra se tomó una submuestra de aproximadamente 100 g con el objetivo de estimar el peso seco aéreo por hectárea. Estas se colocaron en un horno a 60°C durante 3 días, obteniendo el % de humedad, y la cantidad de MS en el área conocida de 1,14 m<sup>2</sup> para luego estimar la producción de MS/ha.

Para estimar la biomasa radicular, con una pala de corte de profundidad de 20 cm, se tomaron dos muestras de planta entera por especie de cada tratamiento para el bloque 1, 2 y 3. Las muestras fueron colocadas en baldes con agua para eliminar la tierra adherida a las raíces. Una vez en el laboratorio se separó la parte aérea de la raíz para realizar una limpieza más detallada, utilizando agua a baja presión y un cepillo para evitar dañar las estructuras, y minimizar el margen de error al estimar la biomasa radicular y la relación parte aérea raíz en base seca.

Posteriormente, una vez que las muestras estuvieron limpias, separadas, e identificadas, tanto parte aérea como raíz de cada especie, se secaron en un horno a 60 °C durante tres días. Luego se pesó la parte aérea y raíz, estableciendo la relación para cada especie. Utilizando la relación parte aérea/raíz y el peso seco por hectárea, se calculó la producción de raíz por hectárea en base seca para cada tratamiento.

Además, las muestras separadas de parte aérea y raíz se utilizaron para estimar la concentración de N de cada parte. Para ello, se realizó una molienda por separado de la raíz y la parte aérea, se identificaron por especie, tratamiento y bloque, y se enviaron las muestras correspondientes para su análisis. En laboratorio se midió la concentración de N mediante el método Kjeldahl.

En base a estos resultados se estimó el aporte de N tanto de biomasa aérea como de raíz para los diferentes tratamientos.

### **3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó el análisis de modelos lineales mixtos utilizando el programa Infostat en el cual se consideraron como efectos fijos a los tratamientos y como efectos variables a los bloques debido a la variabilidad que presentaron los tratamientos en los diferentes bloques, observando las medias para cada tratamiento y sus comparaciones mediante el test de Fisher. Este análisis permitió evaluar la existencia o no de diferencias significativas entre los tratamientos para las variables en estudio. En todos los casos, se utilizó un nivel de significancia (p-valor) de 0,05.

Adicionalmente, se realizaron análisis de regresión lineal y líneas de tendencias. Estos análisis fueron aplicados a diversas variables con el propósito de comparar las características entre tratamientos, proporcionando así una visión más completa de las relaciones entre ellos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

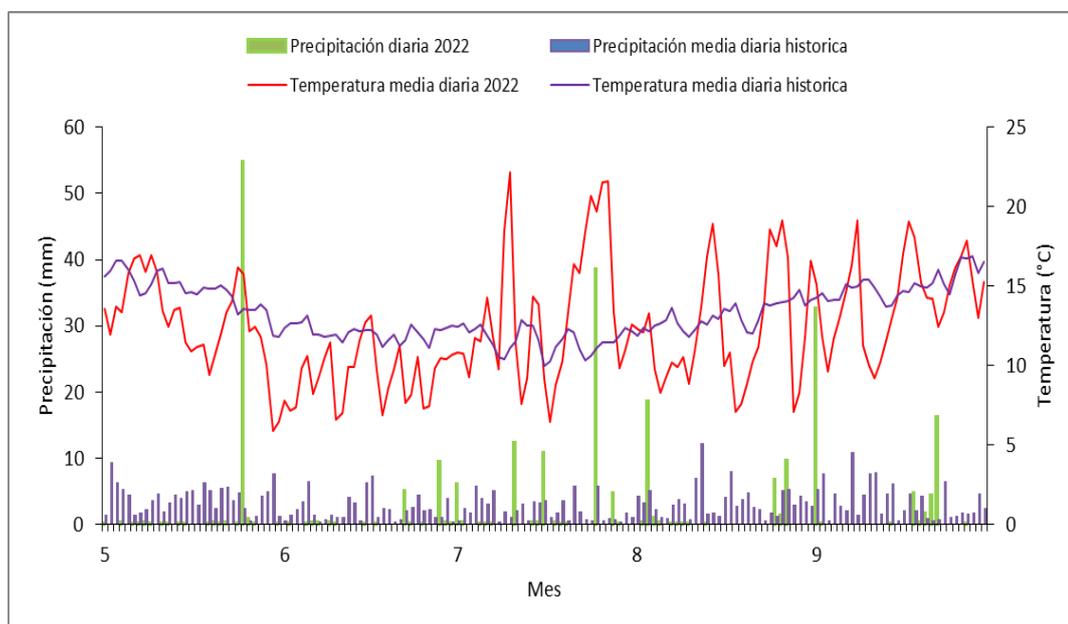
### 4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

A continuación, se muestra las precipitaciones y temperaturas mensuales durante el experimento (marzo 2022 - octubre 2022), en comparación con el promedio histórico desde 1991 hasta 2020 de la central meteorológica de Paysandú.

#### 4.1.2. Precipitación y temperatura en el período de evaluación

**Figura 3**

*Régimen de precipitaciones y temperatura*



*Nota.* Elaborado en base a datos obtenidos de climatología 1991-2020 del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.).

Como se observa en la figura N° 3, en el mes de julio, las precipitaciones resultaron por encima del promedio histórico, en el resto de los meses las precipitaciones se encontraron mínimamente por debajo de la media histórica. El menor registro se dio en el mes de junio con apenas 18 mm, seguido por los meses de mayo, agosto y septiembre.

El promedio mensual de temperatura durante el periodo de los cultivos de servicio fue inferior a la media histórica. El menor registro se obtuvo en el mes de junio con una diferencia de 4°C respecto al promedio histórico mensual. Salvo para el mes de julio, todos los meses estuvieron por debajo del promedio histórico, por

lo tanto, se puede concluir que el experimento se llevó a cabo en un período de crecimiento frío.

#### **4.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA Y RADICULAR**

Durante el análisis comparativo entre los tratamientos, se han identificado diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto a la producción de biomasa aérea total (cuadro N° 3). El tratamiento que exhibió la mayor producción fue el N°8, caracterizado por la combinación de *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, logrando una producción promedio de 8045 kg de materia seca por ha (kg MS ha<sup>-1</sup>). En contraste, el tratamiento 5, que incluyó a *Lupinus angustifolius*, registró la producción más baja, alcanzando un valor de 3757 kg MS ha<sup>-1</sup>.

En relación a la biomasa radicular, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos para los primeros 20 cm de suelo. El tratamiento 8, compuesto por *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, destacó por su elevada producción de biomasa radicular alcanzando un valor de 1105 kg MS ha<sup>-1</sup>. En contraste, los tratamientos que incluyeron *Lupinus angustifolius* y *Vicia villosa* exhibieron la menor producción de biomasa radicular, con valores de 468 y 531 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La relación entre la biomasa aérea y la biomasa radicular (PA/R) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). El tratamiento con *Vicia villosa* exhibe la relación más alta, alcanzando un valor de 13:1, mientras que *Lupinus angustifolius* y *Avena byzantina* presentaron las relaciones PA/R más bajas, con valores de 6,7:1 y 7,3:1 respectivamente. El rango de valores concuerda de manera general con los datos obtenidos por otros autores (de Sá Pereira et al., 2017; Pinto, 2018).

Tabla 3

*Biomasa aérea, radicular y relación parte aérea/raíz para cada tratamiento*

Tratamientos	Biomasa aérea (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Biomasa radicular (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Relación parte aérea/raíz
(T7) Av. N + V	5293.5 bc	541.3 bc	11.9 ab
(T8) Av. N + V	8045.3 a	1105.5 a	8 bc
(T9) Av. A + V	6861.9 ab	697 abc	8.5 bc
(T10) Av. A + V	5565.7 bc	571 bc	10.2 abc
(T4) Av. N	7364.5 ab	721.9 abc	9.8 abc
(T11) Av. A	6621 ab	950.7 ab	7.3 c
(T3) Vicia	5933.5 abc	468.3 c	13.2 a
(T5) Lupino	3757.3 c	531 c	6.7 c

*Nota.* Letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

Los resultados obtenidos concuerdan con un estudio previo realizado por Finney et al. (2017), donde se evidencia que las mezclas de *Avena sativa* + *Vicia spp.* pueden alcanzar producciones similares a las gramíneas puras más productivas. Asimismo, los resultados sobre la producción de biomasa aérea coinciden con el estudio previo realizado por Renzi (2009), quien registró valores de 7000 y 5612 kg MS ha<sup>-1</sup> para las mezclas de *Avena sativa* + *Vicia spp.* y leguminosas puras como *Vicia spp.* Se puede observar que los tratamientos mezcla N°7 y 10 son aquellos que producen menor cantidad de biomasa aérea entre las mezclas, asociado a una menor densidad de siembra del componente gramínea, siendo 15 y 22,5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En la medida que aumenta la densidad de siembra de gramíneas en la mezcla, la biomasa aérea tiende a aumentar, como sucede en los tratamientos N°8 y 9, en los cuales la densidad de siembra del componente gramínea fue de 30 y 45 kg ha<sup>-1</sup>.

La producción de biomasa radicular de las avenas puras obtenida en los primeros 20 cm de suelo, coincide con los datos obtenidos por Pinto (2018) quien registró valores de 923 kg MS de raíces ha<sup>-1</sup>. En su estudio, afirma haber encontrado

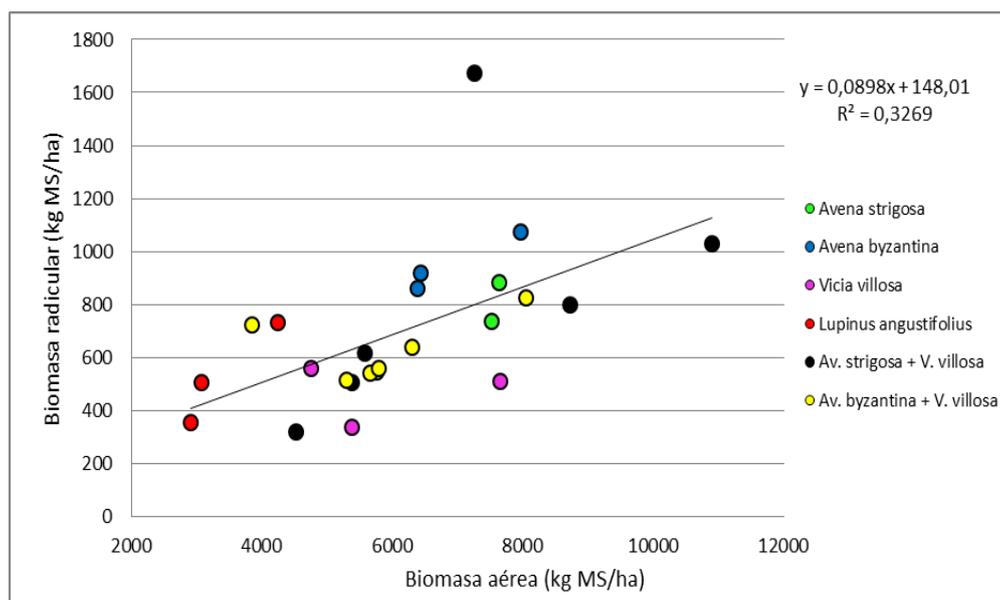
diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto a producción de biomasa radicular entre gramíneas y leguminosas. Por lo tanto, los tratamientos que exhiben una mayor producción de raíces son aquellos en los que la relación entre la parte y raíz disminuye, mientras que la producción de biomasa seca aérea aumenta, como se observa en los tratamientos de mezcla y gramíneas.

En lo que respecta a *Vicia villosa*, los resultados obtenidos, muestran una producción radicular similar ( $468 \text{ kg MS de raíces ha}^{-1}$ ) en comparación con otros estudios (Grahmann et al., 2020; Pinto, 2018). Dichos estudios registraron una producción de biomasa radicular de  $640$  y  $633 \text{ kg MS ha}^{-1}$ , respectivamente.

La figura N°4 presenta una regresión lineal entre la biomasa aérea y la biomasa radicular, revelando una relación directa entre ambas variables.

#### Figura 4

*Producción de biomasa radicular en función de la biomasa aérea producida por los diferentes tratamientos*



Aunque *Lupinus angustifolius* registra una baja relación entre la parte aérea y la raíz, al presentar una baja producción de biomasa aérea, logra una menor producción de biomasa radicular que el resto de los tratamientos. En contraste, a pesar de lograr una mayor producción de MS aérea de *Vicia villosa*, su alta relación parte aérea respecto a la raíz conduce a una menor generación de biomasa radicular, sin detectar diferencias significativas con *Lupinus angustifolius*. Como se evidencia en la figura N° 4, el incremento en la producción de biomasa aérea no se traduce en

cambios sustanciales en la producción de biomasa subterránea para esta especie, resultado de la alta relación entre la parte aérea y la raíz.

La repetición con 1600 kg MS ha<sup>-1</sup> de biomasa subterránea se explica por una muy baja relación PA/R de 3,2:1 de la gramínea que forma parte de la mezcla, lo que lleva a un descenso en el valor de correlación entre biomasa aérea y biomasa radicular (figura N° 4).

A partir de lo mencionado anteriormente, se puede inferir que existe una correlación lineal positiva entre la producción de biomasa aérea y la biomasa radicular, validando así la *hipótesis 1*. Por ende, se destaca la importancia de maximizar la producción de biomasa aérea, ya que de esta forma se garantiza una mayor producción de raíces. Estos resultados difieren con los obtenidos por Pinto (2018), en el cual concluye que no es posible seleccionar los cultivos de servicio de mayor biomasa subterránea a partir de su biomasa aérea debido a la variación en la relación PA/R entre especies. Si bien se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la relación PA/R entre tratamientos, la variable que presenta un rol más importante en la producción de raíces, es la producción de biomasa aérea.

#### 4.3 APORTE DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO

En cuanto a los aportes totales de N, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. *Vicia villosa* mostró los mayores aportes con 265,1 kg de N ha<sup>-1</sup>, sin diferencias significativas con los tratamientos 7 y 8, constituidos por mezclas de *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, aportando 204.4 y 224 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otro lado, los menores aportes se registraron en *Lupinus angustifolius*, *Avena strigosa* y *Avena byzantina* puras, con un rango entre 77 y 100 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar los kg de N por tonelada (t) MS aérea entre tratamientos. Destaca *Vicia villosa* como la de mayor contribución de N, con 42,7 kg de N por t de MS aérea, esto lleva a una baja relación C/N. Los aportes observados por los tratamientos correspondientes a *Avena strigosa* y *Avena byzantina*, registraron aproximadamente 11 kg de N por t MS aérea, logrando de esta forma una mayor relación C/N respecto a *Vicia villosa*.

**Tabla 4**

*Aporte de nitrógeno, kg N ton MS aérea y relación C/N de biomasa aérea de los diferentes tratamientos*

Tratamientos	Nitrógeno PA (kg N ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno RAÍZ (kg N ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno TOTAL (kg N ha <sup>-1</sup> )	kg N/ton MS aérea	Relación C/N
(T7) Av. N + V	196.6 ab	7.8 bcd	204.4 abc	31.7 ab	13.7 cd
(T8) Av. N + V	208.1 ab	15.9 a	224 ab	26.3 bc	16.3 c
(T9) Av. A + V	113 c	8.4 bcd	121.4 cd	19.3 cd	22 b
(T10) Av. A + V	149.9 bc	9.7 bc	159.6 bcd	25.8 bc	16.7 c
(T4) Av. N	78.1 c	5.7 cd	83.8 d	11.2 d	38 a
(T11) Av. A	69.3 c	7.7 bcd	77 d	10 d	42 a
(T3) Vicia	253.6 a	11.5 b	265.1 a	42.7 a	10 d
(T5) Lupino	96.9 c	4.7 d	101.6 d	28.4 bc	14 cd

*Nota.* Letras iguales en una misma columna no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

Se puede observar una notoria diferencia respecto al aporte de N entre la biomasa aérea y la biomasa radicular. La variable que juega un rol más importante en el aporte total de N, es la concentración de este nutriente que presenta la biomasa aérea. *Vicia villosa*, a pesar de no ser el tratamiento con mayor producción de biomasa aérea, es aquel que presenta los mayores aportes de N. En el caso de *Lupinus angustifolius*, a pesar de presentar la menor producción de biomasa aérea, logra similares aportes de N que los tratamientos de gramíneas puras que fueron aquellos de mayor producción de biomasa aérea.

En cuanto a aportes totales de N, los resultados presentados apoyan la hipótesis 2, ya que los tratamientos mezcla N° 7 y 8 no presentaron diferencias significativas con el tratamiento de *Vicia villosa* en esta variable. Los aportes totales de *Vicia villosa* se deben a que la producción de biomasa aérea fue similar a los tratamientos de mayor producción y a que presenta una concentración de N de 4.3% en su biomasa aérea, mayor que la observada en los tratamientos mezcla y gramíneas puras con un valor promedio de 2.7 y 1% respectivamente. Estos

resultados coinciden con los encontrados por Sanabria et al. (2021), donde *Vicia sativa* logró aportes similares a la mezcla de *Avena sativa* + *Vicia sativa*. En cuanto a las mezclas de *Avena strigosa* + *Vicia villosa*, los aportes totales de N tanto del tratamiento N°7 y N°8 se deben a que presentan una alta proporción de *Vicia villosa* en su biomasa, sumado a una alta producción del componente leguminosa, que lleva a que los aportes de N no presenten diferencias significativas respecto al tratamiento de *Vicia villosa* pura. Los aportes de N obtenidos en los cultivos de servicio que incluyen gramíneas puras coinciden con los datos obtenidos por Duval et al. (2017), quienes reportaron aportes de N para *Avena sativa* de aproximadamente 100 kg de N por hectárea.

En cuanto a aportes de N por t MS aérea, debemos tener en cuenta que, aunque *Lupinus angustifolius* registró altos valores para dicha variable, su contribución de N total es bajo debido a la menor producción de biomasa aérea en comparación con los demás tratamientos. Caso contrario ocurre con los tratamientos de gramíneas puras, que a pesar de presentar una menor concentración de N respecto a lupino, 1 y 2,8% respectivamente, y presentar un bajo aporte de N por t MS, logran aportes totales de N similares a lupino debido a que compensa su baja concentración de N con una mayor producción de biomasa aérea.

Es importante considerar que la *Vicia villosa* presenta una relación C/N muy baja, lo que resulta en una rápida descomposición de rastrojo (Sawchik et al., 2015). Respecto a esto, la ventaja que presenta esta especie es que el N aportado quedará disponible temprano para el cultivo siguiente, pero se debe tener en cuenta que un excesivo periodo de barbecho puede provocar pérdidas de N por lixiviación (Rimsky-Korsakov et al., 2013). Una de las estrategias para mitigar este problema es la utilización de mezclas avena + vicia como cultivos de servicio, ya que realizan altos aportes de N pero estará disponible más lento en el tiempo ya que presenta una mayor relación C/N que *Vicia villosa*, por lo que reduce el riesgo de pérdida de N por lixiviación.

Para valorar económicamente el aporte de N total de *Vicia villosa*, los mismos se convirtieron en kg de fertilizante, donde los 265,1 kg de N ha<sup>-1</sup> proporcionados por *Vicia villosa* equivalen a 576,3 kg de urea. Considerando que el precio actual de la urea es de aproximadamente de U\$S 520 por t, el aporte de N de esta especie equivale a U\$S 300 por hectárea de fertilizante. Para estimar cuánto

del aporte total corresponde a FBN se utilizó un porcentaje del N total de 55%, dato promedio obtenido en base a trabajos anteriores (Enrico et al., 2020; Pinto, 2018), por lo tanto, el aporte por FBN corresponde a 146 kg N ha<sup>-1</sup>. Otro de los factores a tener en cuenta en lo que respecta a los aportes de nitrógeno mediante FBN, es la cantidad de nutriente que puede aportar el suelo. Si tomamos como cantidad de nitrógeno brindado por el suelo, a la cantidad de dicho nutriente absorbido por gramíneas, dado que estas no fijan nitrógeno, nos encontramos con un valor aproximado a 80 kg de N ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, si a los 265 kg de N ha<sup>-1</sup> aportados por *Vicia villosa*, le restamos los 80 kg absorbido por raíces, nos encontramos con una cantidad de nitrógeno en planta via FBN de 185 kg de N ha<sup>-1</sup>, equivalente a un 70 %. También hay que destacar que las gramíneas son más eficientes absorbiendo nitrógeno vía absorción radicular que leguminosas, por lo que es esperable que la FBN de esta familia aumente aún más.

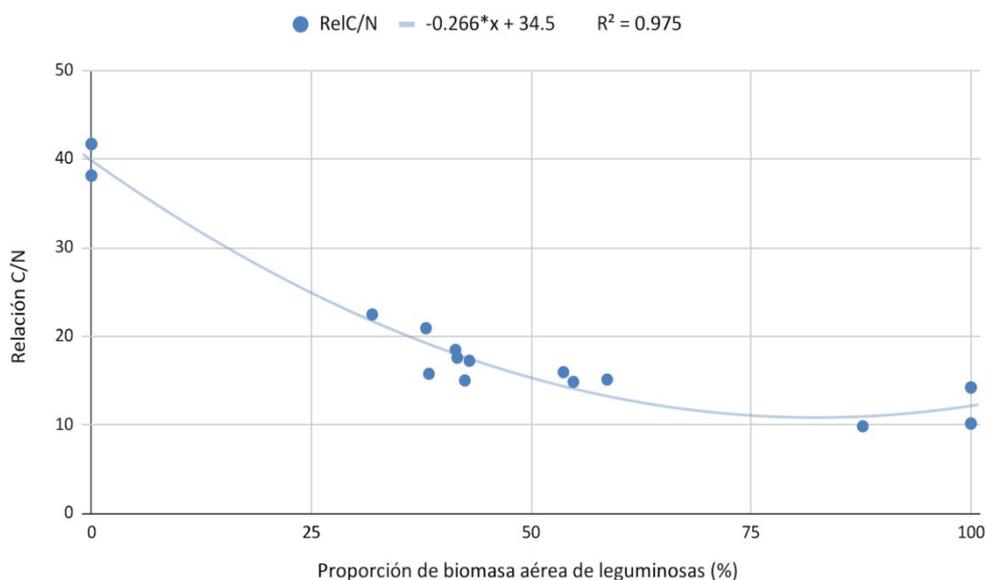
Estos resultados resaltan la importancia tanto del cultivo de *Vicia villosa*, como de la estrategia de emplear mezclas como cultivo de servicio. La presencia de *Vicia villosa* contribuye significativamente al suministro de N al sistema, mientras que las combinaciones de Avena + *Vicia villosa*, además de enriquecer el suelo con N, generan una mayor producción de raíces, mejorando las propiedades físicas de y contribuyendo a un mayor ingreso de carbono al sistema.

#### **4.4. VARIACIÓN EN LA RELACIÓN C/N EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN DE MS LEGUMINOSAS**

En la figura N°5 se observa como varía la relación C/N de los diferentes tratamientos en función de la proporción de MS leguminosas (%).

## Figura 5

*Relación C/N en función de la proporción de leguminosas*



Existe 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, a partir del cual, el aumento en la proporción de leguminosas, no provoca cambios en la relación C/N permaneciendo estable.

Cuando se emplean leguminosas puras, se obtienen los valores más bajos en la relación C/N, mientras que en la familia de las gramíneas esta relación tiende a ser mayor debido a la diferencia en los componentes estructurales como lignina celulosa y hemicelulosa de su biomasa (Salvagiotti et al., 2013).

Los datos presentados en la figura N°5 permiten afirmar que no necesariamente se debe recurrir a leguminosas puras para alcanzar una baja relación C/N. Al utilizar mezclas de avena + vicia, si las leguminosas representan a partir de un 34.5% de la biomasa total, se alcanzan relaciones C/N por debajo de 24:1. En este sentido, los tratamientos mezcla alcanzaron una relación C/N en la que predomina el proceso de mineralización neta, y se logran altos aportes de N.

## 5. CONCLUSIONES

Entre los tratamientos analizados, se encontró que el tratamiento N° 8 que consiste en una mezcla de *Avena strigosa* + *Vicia villosa* alcanzó la mayor producción tanto de biomasa aérea como de biomasa radicular.

Se observó una correlación lineal positiva entre la biomasa aérea y la biomasa radicular entre los cultivos de servicios evaluados. Este resultado resalta la importancia de generar altas producciones de biomasa aérea para favorecer un óptimo desarrollo radicular, independientemente de las diferencias significativas encontradas en la relación PA/R entre los distintos cultivos de servicio.

En cuanto a los aportes de N, *Vicia villosa* junto con la mezcla de esta especie con *Avena strigosa*, fueron los tratamientos que proporcionaron los mayores aportes de este nutriente. Esto resalta la combinación beneficiosa de servicios proporcionados por la utilización de esta mezcla como cultivo de servicio.

La utilización de leguminosas puras logra alcanzar la menor relación C/N. Sin embargo, al incluir más de 34,5 % de leguminosas en la mezcla de avena + *Vicia villosa*, se obtuvo una relación C/N aproximada de 15-20:1. Esta relación resulta en una tasa de descomposición más baja del material vegetal, lo que ayuda a evitar posibles pérdidas de N por lixiviación. Además, esta relación C/N favorece un proceso de mineralización neta, lo que deja N disponible para el cultivo de renta posterior.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, A., Da Silva, H., Duran, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. 1. Clasificación de suelos*. MGA.
- Álvarez, C. R., Álvarez, R., & Sarquis, A. (2008). Residue decomposition and fate of nitrogen-15 in a wheat crop under different previous crops and tillage systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(3-4), 574-586.
- Arbeletche, P., Ernst, O., & Hoffman, E. (2010). La agricultura en Uruguay y su evolución. En F. García Préchac, O. Ernst, P. Arbeletche, M. P. Bidegain, C. Pristch, & M. Rivas (Eds.), *Intensificación agrícola: Oportunidades y amenazas para un país productivo y natural* (pp. 13–28). Universidad de la República; CSIC. <https://www.researchgate.net/publication/303750742>
- Barberousse, J., & Sanguinetti, I. (2020). *Efecto de los cultivos cobertura y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del maíz* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Blum, A., Narbono, I., & Oyhantçabal, G. (2008). *¿Dónde nos lleva el camino de la soja?: Sojización a la uruguaya: Principales impactos socioambientales*. RAP-AL.
- Carámbula, M. (2003). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Cassman, K. G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 5952-5959. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5952>
- Chalk, P. M., Alves, B. J., Boddey, R. M., & Urquiaga, S. (2010). Integrated effects of abiotic stresses on inoculant performance, legume growth and symbiotic dependence estimated by N-15 dilution. *Plant and Soil*, 328(1-2), 1-16.

- Clérici, C., Baethgen, W., García Préchac, F., & Hill, M. (2004). Estimación del impacto de la soja sobre erosión y C orgánico en suelos agrícolas del Uruguay. *Cangüé*, (26), 24-29.
- De Sá Pereira, E., Galantini, J., & Quiroga, A. (2017). Calidad de cultivos de cobertura en sistemas de siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 35(2), 337-350.
- Dirección General de Recursos Naturales Renovables. (2013). *Preguntas frecuentes*. MGAP. <https://www.cuatrohojas.com.uy/wp-content/uploads/2013/03/Preguntas-frecuentes-plan-de-uso-de-suelo.pdf>
- Divito, G. A., & Sadras, V. O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A metaanalysis. *Field Crops Research*, 156, 161-171.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Capurro, J. E., & Beltran, M. J. (2017). Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja. *Ciencias Agronómicas*, 17, 7-13.
- Elhakeem, A., Bastiaans, L., Houben, S., Couwenberg, T., Makowski, D., & Van der Werf, W. (2021). Do cover crop mixtures give higher and more stable yields than pure stands? *Field Crops Research*, 270, Artículo e108217. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108217>
- Enrico, J. M., Piccinetti, C. F., Barraco, M. R., Agosti, M. B., Ecclesia, R. P., & Salvagiotti, F. (2020). Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *European Journal of Agronomy*, 115, Artículo e126016. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126016>
- Ernst, O. (2004). Leguminosas como cultivos de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, (21), 1-9.
- Ernst, O., & Siri-Prieto, G. (2011). La agricultura en Uruguay: Su trayectoria y consecuencias. En A. Ribeiro (Ed.), *II Simposio nacional de agricultura* (pp. 149-163). Facultad de Agronomía; EEMAC; IPNI.

- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(19-20), 2733-2757.
- Ferreira López, A., & Ferreira Panissa, S. (2016). *Cobertura del suelo por rastrojo a la siembra de soja para diferentes secuencias de cultivos* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Finney, D. M., Murrell, E. G., White, C. M., Baraibar, B., Barbercheck, M. E., Bradley, B. A., Cornelisse, S., Hunter, M. C., Kaye, J. P., Mortensen, D. A., Mullen, C. A., & Schipanski, M. E. (2017). Ecosystem services and disservices are bundled in simple and diverse cover cropping systems. *Agricultural & Environmental Letters*, 2(1), Artículo e170033. <https://doi.org/10.2134/ael2017.09.0033>
- Frioni, L. (2005). *Microbiología: Básica, ambiental y agrícola*. Universidad de la República.
- García, J. A., Labandera, C., Pastorini, D., & Curbelo, S. (1994). *Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela*. INIA.
- González, F. D. (2012). *Efectos del uso de protectores bacterianos en coinoculación con Pseudomonas fluorescens y Azospirillum brasilense en el cultivo de soja* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Grahmann, K., Quincke, A., Barolín, E., & Ciganda, V. (2020). Cultivos de cobertura: Reducción de la erosión y aportes a la nutrición del suelo. El caso de la mezcla de Centeno (*Secale cereale*) con *Vicia Villosa*. *Revista INIA*, (60), 71-74.
- Guevara, B. E. (1988). Periodicidad de la absorción de nutrientes y su efecto sobre el desarrollo y la productividad del cafeto. En Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (Ed.), *Curso Regional sobre nutrición mineral del café* (pp. 39-54).
- Hétier, J. M., Andreux, F., Schouller, E., & Marol, C. (1986). Organic matter inputs to soil after growth of carbon-14-nitrogen-15 labeled maize. *Soil Science Society of America Journal*, 50(1), 76-80.

Ilardia, A., & Meirelles, F. (1998). *Efecto de dos materiales orgánicos y tres dosis de nitrógeno sobre la producción de frutilla* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2012). *Bases del llamado a interesados para la producción y comercialización de semilla del cultivar de Trifolium resupinatum LE 90-33*.

[http://www.inia.org.uy/estaciones/las\\_brujas/actividades/documentos/resupinatum.pdf](http://www.inia.org.uy/estaciones/las_brujas/actividades/documentos/resupinatum.pdf)

Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.

<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>

Kessavallo, A., & Walters, D. T. (1999). Winter rye cover crop following soybean under conservation tillage: Residual soil nitrate. *Agronomy Journal*, 91(4), 643-649.

Ledgard, S. F., & Giller, K. E. (1995). Atmospheric N<sub>2</sub> fixation as an alternative N source. En P. E. Bacon (Ed.), *Nitrogen fertilization in the environment* (pp. 443-486). Marcel Dekker.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=PfjxThK1MDUC&oi=fnd&pg=PA443&dq=Ledgard,+S.+F.,+%26+Giller,+K.+E.+\(1995\).+&ots=ID9itLU-sD&sig=Rjz1dSWO-yD0wuXjr3UzkAF1rqM#v=onepage&q=Ledgard%2C%20S.%20F.%2C%20%26%20Giller%2C%20K.%20E.%20\(1995\).&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=PfjxThK1MDUC&oi=fnd&pg=PA443&dq=Ledgard,+S.+F.,+%26+Giller,+K.+E.+(1995).+&ots=ID9itLU-sD&sig=Rjz1dSWO-yD0wuXjr3UzkAF1rqM#v=onepage&q=Ledgard%2C%20S.%20F.%2C%20%26%20Giller%2C%20K.%20E.%20(1995).&f=false)

Ley n° 15.239: *Declaración de interés nacional: Uso y conservación de los suelos y de las aguas superficiales destinados a fines agropecuarios*. (1981).

IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-ley/15239-1981%0b>

Linsler, D., Nüsse, A., Buchen, C., Helfrich, M., Piepho, H.-P., & Ludwig, B. (2018). Effects of chemical and physical grassland renovation on the temporal dynamics of organic carbon stocks and water-stable aggregate distribution in a sandy temperate grassland soil. *Soil Use and Management*, 34(4), 490-499.

- Maeght, J.-L., Rewald, B., & Pierret, A. (2013). How to study deep roots—and why it matters. *Frontiers in Plant Science*, 4, Artículo e00299.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00299>
- Mazzilli, S. (2015). *Dinámica del carbono en sistemas agrícolas bajo siembra directa: Nuevas evidencias obtenidas mediante el uso de <sup>13</sup>C sobre la importancia de las raíces, la calidad de los residuos y el laboreo* [Disertación doctoral]. Universidad de Buenos Aires.
- McCracken, D. V., Smith, M. S., Grove, J. H., MacKown, C. T., & Blevins, R. L. (1994). Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1476-1483.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050029x>
- Mera, M. (2016). Especies de Lupino y su utilización. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, (326), 7-26.  
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6508>
- Morón, A. (2001). El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. En R. Díaz (Coord.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 387-405). PROCISUR.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12248/1/Siembra-directa-en-el-Cono-Sur.-Montevideo-Uruguay-PROCISUR-2001..pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2009). *Anuario estadístico agropecuario 2009*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-diea-2009>
- Oficina de Estadística Agropecuarias. (2016). *Anuario estadístico agropecuario 2016*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-diea-2016>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2021). *Anuario estadístico agropecuario 2021*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2021>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>

- Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2000). *Anuario OPYPA 2000*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2000>
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Trabajo final de grado]. Universidad Católica Argentina.
- Peloche, D., Courdin, V., Cidade, G., González, E., Malarini, F., Mas, L., Moran, E., Pereyra, M., Sanchis, M., & Álvarez, S. (2022). Cultivos de servicio: Características de su adopción en los sistemas agrícolas. *Revista INIA*, (70), 97-101.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16802/1/Revista-INIA-70-setiembre-2022-21.pdf>
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (2015). *Nitrógeno*. Universidad de la República.
- Pérez Bidegain, M., García Préchac, F., Hill, M., & Clérici, C. (2010). La erosión de suelos en sistemas agrícolas. En F. G. Préchac, O. Ernst, P. Arbeletche, M. P. Bidegain, C. Pristch, & M. Rivas (Eds.), *Intensificación Agrícola: Oportunidades y amenazas para un país productivo y natural* (pp. 67-88). Universidad de la República; CSIC.  
<https://www.researchgate.net/publication/303750742>
- Pinto, P. (2018). *Evaluación de la fijación biológica de nitrógeno y la producción de raíces en distintos cultivos de servicios y sus efectos sobre las reservas de C y N orgánico del suelo* [Disertación doctoral]. Universidad de Buenos Aires.
- Pinto, P., & Piñeiro, G. (2018). Cultivos de servicios, una alternativa para el manejo de malezas. En Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas (Ed.), *II Congreso Argentino de Malezas* (pp. 35-37).  
<http://www.asacim.org.ar/wp-content/uploads/2019/10/Argentina-2018.pdf>
- Planchuelo, A., & Ravelo, A. (2023). *Aspectos científicos y agronómicos del cultivo de lupinos*. CREAN.

- Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. (2010). *Contaminación y eutrofización del agua: Impactos del modelo de agricultura industrial*.
- Reid, J. B., Goss, M. J., & Robertson, P. D. (1982). Relationship between the decreases in soil stability affected by the growth of maize roots and changes in organically bound iron and aluminium. *Journal of Soil Science*, 33(3), 397-410.
- Renzi, J. P. (2009). *Efecto de la estructura del cultivo y el grado de madurez a cosecha sobre el rendimiento y la calidad de semillas de Vicia sativa L y Vicia villosa Roth, bajo riego* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional del Sur.
- Renzi, J. P. (2010). *Manejo del cultivo de Vicia spp.* INTA.  
[http://guasch.com.ar/controlpanel/noticias/pages/admin/files/20100907-Vicia\\_ssp\\_Manejo\\_del\\_cultivo.pdf](http://guasch.com.ar/controlpanel/noticias/pages/admin/files/20100907-Vicia_ssp_Manejo_del_cultivo.pdf)
- Rimsky-Korsakov, H., Álvarez, C., & Lavado, R. S. (2016). Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 21, 2-6. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/48332>
- Rimsky-Korsakov, H., Zubillaga, M. S., Landriscini, M. R., & Lavado, R. S. (2013). Utilización de un cultivo de cobertura luego de maíz, para recuperar nitratos residuales susceptibles de lixiviarse. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero (Eds.), *Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 69-75). INTA.
- Rosas, F., Arbeletche, P., Mazzilli, S., Silva, M., Pelocche D., & Mondelli, M. (2019). *Cuantificación del impacto en el uso de recursos naturales y el medio ambiente de diversos sistemas productivos agrícolas por taxonomía organizacional*. INIA.
- Rowen, E. K., Pearsons, K. A., Smith, R. G., Wickings, K., & Tooker, J. F. (2022). Early-season plant cover supports more effective pest control than insecticide applications. *Ecological Applications*, 32(5), Artículo e2598. <https://doi.org/10.1002/eap.2598>

- Ruffo, M. L., & Bollero, G. A. (2003). Modeling rye and hairy vetch residue decomposition as a function of degree-days and decomposition-days. *Agronomy Journal*, 95(4), 900-907.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2003.9000>
- Salvagiotti, F., Vernizzi, A., Bodrero, M., & Bacigaluppo, S. (2013). Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 88-91). INTA.
- Sanabria, S., Mendoza, K., Sangay, S., & Cosme, R. (2021). Uso de coberturas vegetales en el manejo sostenible del suelo asociado al cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays L.*). *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 329-336.
- Santanatoglia, O., Alvarez, R., Daniel, P. E., Brazzola, G., & García, R. (1989). Decomposition of wheat straw, microbial respiration and biomass under conventional tillage and direct drilling. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 48(5-12), 787-798.  
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/6471d25d2a40512c710e6a8f>
- Sasal, M. C., & Andriulo, A. (2005). Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus L.* (nabo forrajero). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(3), 131-150.
- Sawchik, J., Siri, G., Ayala, W., Barrios, E., Bustamante, M., Ceriani, M., & Zarza, R. (2015, octubre). El sistema agrícola bajo amenaza: ¿Qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas. En A. Ribeiro & M. Barbazán (Eds.), *IV Simposio Nacional de Agricultura* (pp. 149-168). Universidad de la República.
- Tahir, M. M., Recous, S., Aita, C., Schmatz, R., Pilecco, G. E., & Giacomini, S. J. (2016). In situ roots decompose faster than shoots left on the soil surface under subtropical no-till conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 52, 853-865.

- Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Jensen, L. S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*, 79, 227-302.
- Torres-Guerrero, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes-Ponce, M. H., Govaerts, B., León-González, F. D., & Herrera, J. M. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra latinoamericana*, 31(1), 71-84.
- Turney, J., & Menge, J. (1993). Root health: Mulching to control root disease in citrus. *California grower: Avocados, Citrus, Subtropicals*, 17(10), 34-37.
- Vanzolini, J. I., Galantini, J., & Agamennoni, R. (2013). Cultivos de cobertura de *Vicia villosa Roth.* en el valle bonaerense del Río Colorado. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bordero (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (pp. 21-28). INTA.
- Williams, S. M., & Weil, R. R. (2004). Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Science Society of America Journal*, 68(4), 1403-1409.
- Zanoniani, R. A., & Ducamp, F. (2000). Consideraciones a tener en cuenta en la elección de verdeos de invierno. *Cangüé*, (18), 22-26.