

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**COBERTURA DEL SUELO, CAPTURA Y USO DE LA RADIACIÓN Y EL
AGUA, POR VICIA Y CENTENO COMO ANTECESORES DE SOJA**

por

Juan AHUNCHAIN CRUSICH

Luciano FELLÓ RIVERO

Matías Eduardo SOBA BENTANCUR

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2022

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

.....

Ing. Agr. Santiago Álvarez

.....

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Fecha: 18 de mayo de 2022

Autor:

Juan Ahunchain Crusich

.....

Luciano Felló Rivero

.....

Matías Eduardo Soba Bentancur

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos.

Al Ing. Agr. Oswaldo Ernst y al Ing. Agr. Santiago Alvarez por su apoyo en la realización de este trabajo.

A Alfred Regehr y familia por permitirnos llevar a cabo este trabajo en su establecimiento.

Al personal de biblioteca por su disposición a la hora de la corrección de la tesis.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS.....	3
2.1.1. <u>Centeno (<i>Secale cereale</i>)</u>	3
2.1.2. <u>Vicia (<i>Vicia villosa</i>)</u>	3
2.2. INTERCEPCIÓN DE LA RADIACIÓN Y SU EFICIENCIA DE USO POR LAS COBERTURAS INVERNALES.....	4
2.2.1. <u>Intercepción de la radiación</u>	4
2.2.2. <u>Eficiencia en el uso de la radiación</u>	5
2.3. IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA.....	7
2.3.1. <u>Sobre la erosión</u>	7
2.3.2. <u>Ingreso de Carbono</u>	8
2.3.3. <u>Sobre la dinámica de enmalezamiento</u>	9
2.3.4. <u>Sobre el agua disponible</u>	10
2.3.4.1. Eficiencia en el uso del agua.....	12
2.4. RECICLAJE DE NUTRIENTES POR LOS CULTIVOS DE COBERTURA.....	12
2.4.1. <u>Captura de nutrientes por los CC</u>	13
2.4.2. <u>Aporte de nitrógeno por fijación biológica</u>	14
2.4.3. <u>Descomposición de residuos y liberación de nutrientes al suelo</u>	15
2.5. IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN SOJA.....	17
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	19
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO.....	19
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA RELEVADA.....	19
3.2.1. <u>Fecha y densidad de siembra de las coberturas</u>	20

3.2.2. <u>Supresión de los CC y siembra de soja</u>	21
3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS EN LOS CC	21
3.3.1. <u>Implantación</u>	21
3.3.2. <u>Cobertura de suelo por los CC</u>	21
3.3.3. <u>Fenología</u>	21
3.3.4. <u>Enmalezamiento</u>	21
3.3.5. <u>Producción de biomasa</u>	22
3.3.6. <u>Radiación interceptada</u>	22
3.3.7. <u>Eficiencia en el uso de la radiación</u>	23
3.3.8. <u>Cobertura de suelo por rastrojo</u>	23
3.4. DETERMINACIONES REALIZADAS A LA IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO DE SOJA.....	23
3.4.1. <u>Nitratos a siembra</u>	23
3.4.2. <u>Agua disponible</u>	23
3.4.3. <u>Implantación</u>	24
3.5. ANÁLISIS DE DATOS	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	25
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	25
4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA.....	26
4.2.1. <u>Implantación de los CC</u>	26
4.2.2. <u>Evolución de la cobertura del suelo</u>	27
4.2.3. <u>Radiación interceptada</u>	28
4.2.4. <u>Producción de biomasa</u>	30
4.2.5. <u>Relación entre cobertura de suelo y producción de biomasa</u>	31
4.2.6. <u>Eficiencia en el uso de la radiación</u>	34
4.2.7. <u>Enmalezamiento de los CC</u>	35
4.3. EFECTOS RESIDUALES A LA SIEMBRA DE SOJA	37
4.3.1. <u>Cobertura de rastrojo a la siembra de soja</u>	37
4.3.2. <u>Nitratos residuales en suelo</u>	38
4.3.3. <u>Contenido de agua en suelo</u>	40

4.3.4. <u>Enmalezamiento a la siembra de soja</u>	42
4.4. EFECTOS EN EL CULTIVO DE SOJA.....	43
4.4.1. <u>Implantación</u>	43
5. <u>CONCLUSIONES</u>	44
6. <u>RESUMEN</u>	45
7. <u>SUMMARY</u>	46
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Concentración de nutrientes en biomasa aérea de los CC (g kg MS ⁻¹)	14
2.	Secuencia de cultivos implementada desde el 2017 a la actualidad.....	19
3.	Densidad de siembra de los tratamientos	20
4.	Población lograda y porcentaje de implantación de los cultivos de cobertura.....	26
5.	Radiación interceptada (MJ m ⁻²) por los CC para tres momentos del ciclo de crecimiento.....	29
6.	Producción de biomasa (kg MS ha ⁻¹) de los CC para tres momentos del ciclo de crecimiento.	30
7.	Tasas de crecimiento parciales y totales (kg ha ⁻¹ día ⁻¹) para cada CC.....	31
8.	Eficiencia de uso de la radiación de cada tratamiento.	34
9.	Cobertura de rastrojo a la siembra de soja y relación entre la cobertura final e inicial del mismo para cada CC.	38
10.	Implantación de soja para cada tratamiento.....	43
Figura No.		
1.	Croquis del ensayo.	20
2.	Régimen de precipitaciones y temperaturas durante el período experimental comparado con la serie histórica de la zona (1961-1990).....	25

3. Evolución de la cobertura del suelo de los CC.....	27
4. Cobertura de suelo (%) en función de la producción de biomasa de los CC (kg MS ha ⁻¹) para a) 77 DPS; b) 105 DPS; c) 132 DPS.	33
5. Cobertura de suelo (%) en función de la producción de biomasa de los CC (kg MS ha ⁻¹), para los tres momentos establecidos.....	33
6. Frecuencia de aparición de malezas durante el transcurso del experimento para cada tratamiento.....	36
7. Concentración de N-NO ₃ ⁻ en suelo (ppm) en el estrato 0 - 7,5 centímetros en base a la producción de biomasa aérea (kg MS ha ⁻¹) de los CC.	38
8. Concentración de N-NO ₃ ⁻ en suelo (ppm) en el estrato 7,5 - 15 centímetros en base a la producción de biomasa aérea (kg MS ha ⁻¹) de los CC.	39
9. Contenido de agua en suelo para los diferentes niveles de producción de materia seca de cada CC para a) momento de finalización de los CC; b) siembra de soja.	41
10. Frecuencia de aparición de malezas al momento de la siembra de soja para cada tratamiento.....	42

1. INTRODUCCIÓN

Durante la primera década del siglo XXI, la agricultura en Uruguay atravesó una fase de expansión, consolidándose la agricultura continua sin labranza como el principal sistema de manejo de los suelos agrícolas. Esta expansión se caracterizó por un proceso de veranización de la agricultura, liderado por el cultivo de soja como principal componente estival de la rotación, dejando la fase invernal dominada por barbecho químico. Dicho sistema demostró ser insostenible en el largo plazo desde el punto de vista de la calidad de suelos (Novelli et al., 2011), por lo que se requirió de estrategias que permitan viabilizar los sistemas de agricultura continua. En función de esta problemática, surge la implementación de cultivos de cobertura (CC) invernales como una alternativa.

La siembra de un CC se realiza con el principal objetivo de obtener una rápida cobertura vegetal, disminuyendo el riesgo de pérdidas de suelo por erosión durante el período de mayor ocurrencia de excesos hídricos (Ernst, 2004). A su vez, se encontró en las coberturas invernales, una oportunidad de mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, reciclaje de nutrientes e incorporación de nitrógeno al sistema vía fijación biológica.

Por otro lado, los sistemas de agricultura continua se caracterizan por una elevada demanda de agroquímicos, principalmente de herbicidas. Lo que ha generado un efecto sobre la dinámica del enmalezamiento tendiente a la dominancia de un número reducido de especies resistentes a los principios activos más utilizados. Este contexto llevó a la búsqueda de estrategias alternativas al control químico, entre ellas la evaluación del efecto de competencia de los CC sobre la población de malezas, además de técnicas mecánicas de supresión del mismo, que permitan prescindir del uso de herbicidas.

La magnitud de estos efectos, ya sea en la calidad de suelo como en la dinámica del enmalezamiento, ha demostrado una fuerte asociación tanto con la producción de biomasa como con la especie sembrada como cobertura. Por lo que el objetivo de este trabajo es cuantificar el efecto diferencial de emplear una gramínea, una leguminosa o su siembra en conjunto, en las características

anteriormente mencionadas, y cómo esto repercute en el cultivo sucesor. Del mismo modo, se evaluará la velocidad con la que cada especie cubre el suelo, y su impacto sobre la radiación interceptada (RI) y eficiencia en el uso de la radiación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS

Existe una diversidad de familias y especies capaces de brindar el servicio de cobertura del suelo para controlar la erosión (CC), cumpliendo, además, con otros objetivos, como aumentar o preservar el carbono del suelo, capturar nutrientes o controlar malezas. A nivel regional, dominan los cultivos gramíneos, leguminosas y crucíferas, siendo avena negra (*Avena strigosa*) la especie más difundida; aunque se registra un avance en el uso de centeno (*Secale cereale*) y vicia (*Vicia villosa*).

2.1.1. Centeno (*Secale cereale*)

Se trata de una gramínea anual de ciclo invernal. La familia de las gramíneas se caracteriza por su adaptabilidad a la mayoría de suelos, presenta muy pocos ataques de plagas y enfermedades, permiten controlar las malezas de hoja ancha más fácilmente y proveen una elevada cantidad de biomasa (Carámbula, 2002). El centeno está adaptado a zonas semiáridas y tolera bien el frío, además de presentar un rápido y abundante desarrollo radicular, que le confiere la capacidad de captar humedad en una mayor proporción del perfil del suelo, teniendo un mejor desempeño cuando suceden eventos de déficit hídrico (Gallego et al., 2014). Estos mismos autores definen al centeno como un cultivo precoz, con una producción de materia seca (MS) de 5000 a 7500 kg ha⁻¹, con una distribución de 24% de la producción total de biomasa en otoño, 43% en invierno y 33% en primavera.

El centeno presenta la particularidad de generar compuestos aleloquímicos, que inhiben el crecimiento y desarrollo de malezas (Einhelig, citado por Ormeño, 1999).

2.1.2. Vicia (*Vicia villosa*)

El género vicia pertenece a la familia de las leguminosas y comprende entre 180 y 210 especies. Dentro de este género, se destaca *Vicia villosa*, una especie de ciclo de vida anual proveniente de Europa y Asia occidental (Renzi y Cantamutto, 2013). El ciclo productivo es otoño invierno primaveral, presentando una alta plasticidad de fechas de siembra que van desde fines de verano a

principios de invierno (Vanzolini et al., 2010b). Se destaca por su tolerancia a suelos con un amplio rango de pH (5,5 a 8), con bajos niveles de MO y a la sequía, además de su alta eficiencia en el uso del agua (Renzi y Cantamutto, 2013, Renzi, 2020). Es altamente susceptible al exceso hídrico, por lo que no se recomienda su siembra en suelos con mal drenaje.

Posee un lento crecimiento inicial, disminuyendo la tasa de crecimiento desde finales de otoño y durante el invierno. Con el progresivo aumento de temperatura a inicios de primavera, la producción de materia seca aumenta rápidamente. Vanzolini et al. (2010a) obtuvieron una diferencia en la producción de MS desde 1,98 Mg ha⁻¹ a 5,58 Mg ha⁻¹ por atrasar 2 semanas la supresión del cultivo, destacando la importancia de esta variable, en la producción final de biomasa. Vanzolini (2011), en una revisión de bibliografía internacional, concluyó que la producción de MS de *Vicia villosa* presenta una alta variabilidad (0,1 a 7,2 Mg ha⁻¹), no siendo así la concentración de N en planta.

La bibliografía reporta que la relación C/N oscila entre valores de 10 a 12, resultando entonces, la acumulación de N en biomasa, altamente dependiente de la producción de MS. La alta efectividad de esta especie en acumular N, principalmente explicado por la capacidad de fijar N atmosférico mediante simbiosis con rizobios, la ha llevado a ser considerada de las principales especies a utilizar como CC para aumentar el pool de N en suelo.

2.2. INTERCEPCIÓN DE LA RADIACIÓN Y SU EFICIENCIA DE USO POR LAS COBERTURAS INVERNALES

2.2.1. Intercepción de la radiación

La siembra de CC invernales en los sistemas agrícolas permite una mejora en la eficiencia de captura de recursos, principalmente de agua y radiación (Caviglia et al., 2013). La inclusión de un cultivo en la fase invernal, frente a la alternativa de barbecho químico, implica un aumento en la captura de radiación del sistema, aprovechando esta para la fijación de carbono vía fotosíntesis.

Caviglia et al. (2004) registraron un incremento en la proporción de la radiación incidente anual que fue interceptada por cultivos, desde un rango de 0,24 a 0,31, hasta uno de 0,38 a 0,44, por pasar de monocultivo a doble cultivo anual. Estos valores se podrían ver incrementados para el caso de CC invernales

teniendo en cuenta que determinadas especies empleadas como cobertura ofrecen la posibilidad de ser sembradas antes de la cosecha del cultivo estival, o utilizando especies que logren una rápida cobertura del suelo.

El nivel de cobertura del suelo que logra un cultivo presenta una estrecha relación con la radiación interceptada (RI) (Steven et al., 1986), por lo que cultivos capaces de lograr un mayor grado de cobertura del suelo en etapas tempranas, interceptarán una mayor proporción de la radiación durante la fase de crecimiento. A su vez, los cultivos de cobertura invernales son sometidos a una disminución gradual de la radiación incidente durante el otoño (Elhakeem et al., 2021), por lo que, una rápida cobertura del suelo permite aumentar la captura de radiación, antes que esta se vuelva mínima a principios del invierno. De esta manera, la velocidad con la que una especie logra la cobertura total del suelo, es una característica de interés a la hora de elegir un CC, ya que, además de tener un impacto en la longitud del período en que el riesgo de erosión es máximo a causa de que el suelo está descubierto, tiene un efecto en la energía primaria capturada por el sistema.

Elhakeem et al. (2021) evaluaron para diferentes grupos vegetales la velocidad con la que estas logran la cobertura total del suelo. El resultado obtenido mostró que las crucíferas fueron capaces de alcanzarlo en el menor tiempo, alrededor de 5 semanas post-siembra, seguido por las gramíneas y por último las leguminosas con 7 y 9 semanas post-siembra respectivamente. Como consecuencia de ello, la radiación interceptada por las crucíferas fue de 517 MJ m⁻², mientras que las gramíneas lograron interceptar 459 MJ m⁻² y las leguminosas 332 MJ m⁻². Esto determina que, al sembrar una leguminosa como cobertura invernal, se estaría interceptando solamente un 64% de la radiación que podría capturarse al utilizar una crucífera.

Esta diferencia en la capacidad de interceptar radiación entre especies, no es extrapolable directamente a la biomasa que los cultivos son capaces de producir, ya que la eficiencia con la que los cultivos transforman la energía solar en tejido vegetal varía considerablemente entre especies.

2.2.2. Eficiencia en el uso de la radiación

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se define como la eficiencia con la que un cultivo es capaz de transformar la energía proveniente de la

radiación interceptada, en biomasa vegetal (Sinclair y Muchow, 1999). Junto con la RI, conforman los dos componentes ecofisiológicos determinantes de la producción de biomasa.

El valor de EUR de un cultivo está determinado principalmente por la especie, presentando una gran variabilidad entre y dentro de las principales familias taxonómicas. En una extensa revisión bibliográfica, Sinclair y Muchow (1999) concluyeron que la principal variable teórica que influye en la EUR es la capacidad fotosintética máxima en hoja, y esta, se diferencia en gran magnitud entre especies. A su vez, constataron que, en situaciones de estrés en planta, causado por factores bióticos o abióticos, la EUR se reduce sensiblemente.

Por lo tanto, factores del ambiente que inducen a una situación de estrés del cultivo, traen como consecuencia una reducción de la actividad fotosintética y por lo tanto también de la EUR. Entre dichos factores se destaca la disponibilidad hídrica y nutricional.

En cuanto al estado nutricional, la mayoría de los estudios se han enfocado en nitrógeno (N), al considerarse este el nutriente con mayor incidencia en la actividad fotosintética. Sinclair y Horie (1989) evaluaron, para arroz y soja, como varía la EUR para diferentes concentraciones de N en hoja. Los resultados mostraron una respuesta cuadrática con plateau, donde a bajos valores de N foliar, pequeñas variaciones en el mismo implican cambios importantes en la EUR, pero cuando la concentración de N en hoja toma valores altos, se logra la EUR máxima, reduciéndose sensiblemente la respuesta al mismo. Marino y Agnusdei (2007) evaluaron también la EUR en una pradera de festuca, donde se obtuvieron respuestas positivas al agregado de diferentes dosis de N. Sin embargo, Caviglia et al. (2007) encontraron para maíz, que ante diferentes manejos de la fertilización nitrogenada, los cambios en la biomasa generada se debían exclusivamente a diferencias en la RI, y no en la EUR.

Respecto al status hídrico del cultivo, Earl y Davis (2003) obtuvieron para maíz que la EUR era el componente ecofisiológico del rendimiento más perjudicado ante un evento de estrés hídrico. Un año después, Hussain et al. (2004) encontraron para diferentes cultivares de trigo, reducciones de hasta el 45% en la EUR por efecto de estrés hídrico en comparación con cultivos bajo riego. Los autores también destacan que, ante un déficit hídrico severo en etapas

tempranas, las consecuencias sobre la EUR persisten durante toda la vida del cultivo.

Aun así, el factor principal determinante de la EUR en un CC es la especie utilizada. Elhakeem et al. (2021), en el mismo trabajo donde evaluaron la velocidad de cubrir el suelo para diferentes grupos de especies utilizadas como CC, determinaron la EUR para cada uno de estos. El grupo más eficiente fue el de las gramíneas con un valor de $1,15 \text{ g MJ}^{-1}$, mientras que las crucíferas y las leguminosas obtuvieron una eficiencia de $0,80 \text{ g MJ}^{-1}$ y $0,60 \text{ g MJ}^{-1}$ respectivamente. Los autores atribuyen este resultado a la disposición más erecta de las hojas en las gramíneas, que, si bien disminuye la radiación interceptada a igual índice de área foliar (IAF) que las crucíferas o leguminosas, tiene un efecto positivo en la EUR por una distribución más homogénea de la luz, permitiendo la entrada de la misma a las hojas inferiores.

Para el caso de las leguminosas, presentaron el peor comportamiento en cuanto a su capacidad de interceptar radiación y a su vez la menor EUR dentro de los grupos evaluados. Las mezclas entre especies presentaron similares valores en ambas características a la especie dominante en la mezcla.

Se puede concluir que la EUR de un CC en particular, es producto de la combinación entre la especie utilizada, y los factores restrictivos del ambiente que depriman la capacidad fotosintética del mismo.

2.3. IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA

2.3.1. Sobre la erosión

El control de la erosión es el principal cometido que tienen los cultivos de servicio en Uruguay. Siri Prieto y Ernst (2011) establecieron que la erosión es determinante a la hora de evaluar la sustentabilidad del sistema, ya que esta reduce el potencial productivo del suelo. La implementación de la siembra directa ayudó a mitigar este problema, pero en rotaciones con presencia de barbechos invernales, no es suficiente. En sistemas donde domina la soja, los residuos vegetales posteriores a la cosecha son escasos y de rápida degradación, por ende, las precipitaciones llegan directamente a la superficie del suelo, haciendo que este se erosione.

Capurro y Montico (2020) encontraron que la presencia de un cultivo de cobertura mezcla de *Avena sativa* y *Vicia sativa*, reduce la erosión notablemente en laderas y ladera media, mientras que en zonas bajas la presencia de un CC no se diferencia en pérdida de suelo frente a un barbecho químico. La pérdida de suelo en lomas sin CC fue de 376 kg ha⁻¹, mientras que con la inclusión de un CC se redujo a 113 kg ha⁻¹. Aún mayor fue la diferencia encontrada en media loma, donde la pérdida de suelo sin cultivo de cobertura fue de 1042 kg ha⁻¹, y con presencia de este solamente de 165 kg ha⁻¹.

Grahmann et al. (2020), en un trabajo realizado en INIA La Estanzuela sobre cultivos de cobertura de vicia y centeno, establecieron que la erosión medida durante el año en el cual se realizó el CC osciló entre 71 y 243 kg de suelo ha⁻¹, con un promedio de 139 kg ha⁻¹, mostrando la eficacia del control de la erosión de esta mezcla de especies.

2.3.2. Ingreso de Carbono

El contenido de carbono de un suelo (COS) es considerado como el principal indicador de calidad de un suelo, ya que repercute en la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (Martínez et al., 2008), resultando de un balance entre el aporte por residuos vegetales y la tasa de descomposición de estos (Siri Prieto y Ernst, 2009). Los sistemas agrícolas actuales dominados por el cultivo de soja bajo siembra directa se caracterizan por un bajo aporte de carbono al suelo, y una progresiva disminución de la materia orgánica (Díaz Rossello, 1992). Esto explicado por el bajo nivel de residuos dejados por dicho cultivo, sumado a su fácil descomposición dada la baja relación C/N de este (Salvagiotti et al., 2013)

Cazorla et al. (2017), en un ensayo realizado en la EEA Marcos Juárez, concluyeron que, para los suelos de dicha estación experimental, son necesarios 3000 kg ha⁻¹ de aporte de carbono para que los niveles de COS se mantengan en equilibrio para la profundidad de 0 a 18 centímetros. Estos autores establecen que para llegar a dicho valor objetivo, hay que combinar rotaciones, fertilizar los cultivos y utilizar la herramienta de cultivos de cobertura.

Los cultivos de cobertura son capaces de aumentar los niveles de producción de biomasa de las secuencias agrícolas y por lo tanto incrementar el COS respecto a situaciones de barbecho invernal (Duval et al., 2015). El aumento

de carbono, que luego formará parte del COS, impacta positivamente en el sistema. El suministro de nutrientes en muchos casos está vinculado estrechamente con la cantidad de COS, como es el caso del nitrógeno. La materia orgánica particulada presenta una fuerte vinculación a la capacidad que presenta el suelo para mineralizar N (Dominguez et al., 2016).

Salvagiotti et al. (2013), en un ensayo de largo plazo en INTA Oliveros, Santa Fe, encontraron diferencias significativas en el aporte de carbono entre un monocultivo de soja, y la inclusión de un CC entre los sucesivos cultivos de soja, para un plazo de 3 años. El aporte de carbono en este último duplicó a aquel logrado en el monocultivo. Además, observaron un aumento del 21% en la fracción más gruesa de la materia orgánica (106-2000u) en los primeros 3,5 centímetros cuando se incluyó la cobertura. Este aumento de carbono en dicha fracción no se logró cuando se analizó a 7,5 centímetros de profundidad. Por otro lado, el contenido de carbono no se vio afectado al incluir un CC en la rotación que ya incluía gramíneas (Maíz-Soja-Trigo/Soja), probablemente por el aporte de carbono que estas ya hacían al suelo.

2.3.3. Sobre la dinámica de enmalezamiento

La problemática del enmalezamiento en los sistemas agrícolas ha adquirido mayor relevancia en los últimos años a causa de una reducción en el control mecánico, y un fuerte hincapié en el control químico como principal herramienta de control (Ríos et al., 2005). La progresiva baja en la efectividad de este método, a causa de un aumento de poblaciones de malezas resistentes a diferentes principios activos, ha impulsado a la investigación y adopción de estrategias de manejo integrado de malezas (Andriolo y Berger, 2019). Entre estas alternativas surge la inclusión de cultivos de cobertura en las rotaciones agrícolas, aprovechando su capacidad supresora del desarrollo de malezas.

La siembra de cultivos de cobertura invernal brinda el servicio ecosistémico de competir con las malezas, pudiendo retardar su emergencia, disminuir su población, enlentecer su crecimiento (Williams et al., 1998), y en caso de alcanzar a semillar, reducir el número de semillas producidas (Teasdale et al., 2007). No solo se reduce la presión de malezas mientras el CC está en crecimiento, sino que también lo hace una vez finalizado el mismo, por acción de los residuos (Teasdale et al., 2007).

Teasdale et al. (2007) establecen que el CC tiene un mayor poder de supresión durante su ciclo de vida que cuando finaliza su ciclo de crecimiento. Esto debido a que un CC en activo crecimiento, absorbe mayor proporción de luz roja y reduce la relación rojo/rojo lejano, disminuyendo la germinación de malezas. En cambio, el rastrojo de los CC tiene un efecto mínimo sobre dicha variante.

Los CC no solo influyen en la germinación de las malezas, sino que a su vez ejercen competencia por recursos con aquellas que logran hacerlo, disminuyendo su vigorosidad. Teasdale et al. (2007) afirman que el rastrojo dejado por los CC afecta la radiación incidente total que llega al suelo y las propiedades químicas presentes en el mismo, lo que también reduce la germinación de las malezas. En adición a esto, los residuos del CC pueden actuar como una barrera física e impedir que aquellas malezas que emerjan puedan alcanzar la luz.

La siembra de los cultivos de cobertura, entonces, tiene como uno de sus fines disminuir el desarrollo y población de malezas, complementando su acción con el uso de herbicidas. De este modo, se elimina la total dependencia del uso de agroquímicos, existiendo una sinergia entre estos y las coberturas invernales para el control de malezas (Servera et al., 2016).

2.3.4. Sobre el agua disponible

La disponibilidad de agua es generalmente la limitante principal para lograr rendimientos elevados y estables en agricultura de secano en cultivos estivales (Giménez, 2019). Debido a que en la mayoría de los años las precipitaciones no logran cubrir la demanda de agua del cultivo estival, acumular agua en el perfil del suelo durante el período de barbecho cobra importancia para mitigar pérdidas de rendimiento por estrés hídrico (Fernández et al., 2008).

Siri Prieto y Ernst (2011) establecen que uno de los factores por el cual muchos productores dudan en implementar cultivos de cobertura es que desconocen su consumo de agua. Estos autores explican que la cantidad de agua disponible para el cultivo estival dependerá del momento de secado del CC, de las precipitaciones que ocurran luego del secado, de la fecha de siembra del cultivo de renta y del tipo de suelo existente. Además, afirman que, a modo de prevenir excesivos consumos de agua, se recomienda la supresión del CC previo

a floración en leguminosas o encañazón en gramíneas. Caviglia et al. (2013) realizaron un trabajo en el cual establecen que el balance hídrico-climático (diferencia entre la evapotranspiración potencial y precipitaciones) se vuelve más negativo a partir de fines de setiembre. Esto se debe a que a partir de este momento se incrementa de forma importante el consumo de agua por los CC, por tanto, la recomendación del momento de desecado realizada por Siri Prieto y Ernst (2011) parece ir en línea con lo detallado en este trabajo.

En concordancia con lo planteado, Servera et al. (2016) encontraron diferencias en el rendimiento en grano para un maíz sembrado sobre CC centeno, para dos fechas de supresión diferentes, julio y setiembre. El maíz sembrado sobre el CC finalizado en julio rindió 10033 kg ha⁻¹, mientras que el sembrado sobre aquel finalizado en setiembre tuvo un rendimiento de 7547 kg ha⁻¹. Los autores atribuyen esta diferencia a que el CC finalizado más tarde consumió más agua y nitrógeno, imposibilitando la recarga de agua en el perfil.

En la misma línea, Siri Prieto y Ernst (2011) evaluaron el efecto del largo de barbecho en el resultado final de agua disponible (AD) al momento de la siembra del cultivo de renta. Para ello, sobre un CC de raigrás, establecieron 4 largos de barbecho diferentes: 60, 40, 20 y 0 días. Los resultados para el año 2004, indicaron que el AD total en los primeros 70 cm del suelo fue de 78, 68, 62 y 18 mm respectivamente, no encontrando diferencias significativas para los primeros tres valores. El ensayo se repitió durante 2005 y 2006, años contrastantes en cuanto al régimen de precipitaciones, concluyendo que un período de barbecho de 20 días, permite la mayor acumulación de MS de raigrás, y una elevada probabilidad de obtener niveles adecuados de AD en el perfil.

Posteriormente a la supresión del CC, la presencia del rastrojo en la superficie del suelo tiene efectos positivos en la conservación del agua almacenada (Sawchik, 2004). Estos efectos son, prevenir la evaporación (Bristow, 1988), y la transpiración mediante la disminución del establecimiento y desarrollo de malezas (Lu et al., 2000). Además, los cultivos de cobertura favorecen la infiltración y disminuyen el escurrimiento (De Agustini et al., 2017), lo que determina un aumento de la captación del agua proveniente de las precipitaciones. Rillo et al. (2018) encontraron que la tasa de infiltración cuando se utiliza un CC de centeno fue un 71,7% superior al registrado en el testigo en barbecho químico.

2.3.4.1. Eficiencia en el uso del agua

Otra característica de interés al momento de evaluar el consumo de agua de un CC es la eficiencia del uso del agua (EUA). Esta resulta del cociente entre la biomasa total producida y las unidades de agua utilizadas. Esto determina que un aumento en esta variable, significa un mayor rendimiento de los CC, sin variar el consumo de agua del mismo.

Fernández (2013) obtuvo una muy alta correlación lineal y positiva (R^2 0,94-0,96) entre la EUA el rendimiento de trigo y triticale. Bertolla et al. (2013) obtuvieron resultados similares evaluando esta característica para diferentes CC, entre estos *Vicia villosa* y *Secale cereale*. Estos autores encontraron que un 90% de las diferencias en producción de biomasa de los CC se explicaban por la EUA.

Pécora y Testa (2018), Baigorria y Cazorla (2010) y Bertolla et al. (2013) coinciden en que la fertilización nitrogenada conlleva un aumento en la EUA para CC gramíneos, no así para leguminosas en el caso de fertilizaciones fosfatadas. Otra medida de manejo que provoca un aumento en la EUA es un retraso en la fecha de supresión del CC (Pécora y Testa, 2018).

El efecto contrario es provocado por un escaso desarrollo foliar, ya que una reducción en la radiación interceptada por el cultivo, determina un aumento en la evaporación del agua almacenada en el suelo, reduciendo la relación transpiración/evaporación, resultando en un descenso de la EUA (Fernández, 2013).

En cuanto al impacto que tiene la especie utilizada como CC en esta variable, Pécora y Testa (2018) finalizando los CC en agosto, no encontraron diferencias entre vicia y centeno sin fertilizar. Cuando la gramínea recibía la aplicación de fertilizante nitrogenado lograba superar a la leguminosa. Al postergar un mes la fecha de supresión de los CC, el crecimiento exponencial de vicia en primavera, determinó que la EUA de este cultivo no se diferenciara del centeno fertilizado, pero si del centeno sin fertilizar.

2.4. RECICLAJE DE NUTRIENTES POR LOS CULTIVOS DE COBERTURA

Durante su fase de crecimiento, los CC absorben nutrientes bajo forma de iones inorgánicos de la solución del suelo, que posteriormente a su supresión, se liberan con la descomposición de los tejidos vegetales. De esta manera,

nutrientes que en situaciones de barbecho invernal tenderían a perderse por procesos de lixiviación, son retenidos por los CC, quedando disponibles para el cultivo de renta posterior (Restovich y Andriulo, 2013). A su vez, el consumo de agua de los CC, ayuda a reducir la pérdida de esta por drenaje en momentos de exceso hídrico, favoreciendo también una disminución en el riesgo de lixiviación de nutrientes.

Restovich y Andriulo (2013), hallaron que la presencia de un CC en una secuencia soja-maíz, reducía como mínimo en un 50% el nitrógeno (N) mineral del suelo respecto a una situación de barbecho. La reutilización de ese N potencialmente lixiviable por el cultivo de verano posterior, determinó la obtención de rendimientos similares o mayores en maíz, demostrando un efecto positivo de los CC sobre la disponibilidad de nutrientes en el cultivo posterior.

Lejos de ser coincidentes, los resultados de la investigación frente a la capacidad de los CC de capturar nutrientes y liberarlos al cultivo sucesor ha sido muy variable. Esto se debe a la inmensidad de factores que participan en estos procesos. Si bien la magnitud de la captura de nutrientes está en gran parte ligada a la especie utilizada como CC y a la MS producida, la velocidad de liberación de los nutrientes y su disponibilización en el suelo está determinada principalmente por procesos de degradación microbiana. El proceso de descomposición por microorganismos es afectado por variables ambientales, de manejo y por la composición química del propio rastrojo, por lo que su predicción con exactitud es compleja.

2.4.1. Captura de nutrientes por los CC

La captura de nutrientes se define como la cantidad total de nutrientes que un cultivo absorbe durante su ciclo de crecimiento (Ciampitti y García, 2008). La magnitud de esta captura está definida por la producción de biomasa y la concentración de nutrientes de la misma, la cual presenta una amplia variabilidad entre grupos de especies.

Varela et al. (2012) evaluaron para avena, centeno y raigrás la capacidad de absorción de fósforo (P) para estos cultivos, dando como resultado una absorción para avena y centeno de $7.62 \pm 1.83 \text{ kg ha}^{-1}$, y $7.97 \pm 0.46 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, muy por encima de lo absorbido por raigrás ($2.84 \pm 1.08 \text{ kg ha}^{-1}$). Esta diferencia estaba explicada principalmente por una producción diferencial

de MS, siendo que la concentración de P en la biomasa generada no difirió entre centeno y raigrás, y fue levemente más baja en avena.

Capurro et al. (2012) evaluaron la misma característica en dos localidades, esta vez comparando un CC de *Vicia villosa* puro, contra la misma especie sembrada en mezcla con *Avena sativa*. En promedio de ambos sitios, la concentración de P en planta de avena+vicia fue de aproximadamente $\frac{2}{3}$ de lo obtenido en vicia pura, pero el P absorbido total fue mayor en la mezcla, debido a un aumento más importante en la producción de MS. El mismo efecto encontraron en el caso del azufre (S), con una absorción total de 5,7 kg ha⁻¹ y 7,5 kg ha⁻¹ para vicia pura y avena+vicia respectivamente.

Numerosos artículos presentan la concentración de nutrientes en plantas para las especies más comúnmente empleadas como coberturas, entre estas, centeno y vicia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en biomasa aérea de los CC (g kg MS⁻¹)

Espece	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Fuente
<i>Secale cereale</i>	26	4,0	18	-	Ciampitti y García (2007)
<i>Vicia villosa</i>	40	3,7	38	2,4	Capurro et al. (2010), Lanyasunya et al. (2007)

De los valores presentados en la bibliografía, se puede destacar la diferencia en concentración de nitrógeno y potasio en biomasa, siendo para este último, mayor al doble en vicia respecto a centeno. En líneas generales, la concentración de N en leguminosas es más alta que en gramíneas. Esta se ve potenciada por la capacidad de realizar fijación biológica de nitrógeno (FBN), que le otorga la ventaja de no solo disponer del aporte de N del suelo. Esta cualidad de las leguminosas puede ser utilizada para aumentar el N disponible para el cultivo sucesor (Baigorria et al., 2012).

2.4.2. Aporte de nitrógeno por fijación biológica

La contribución de nitrógeno por parte de los CC leguminosas es la principal ventaja frente a otras familias utilizadas. De aquí la importancia de cuantificar el aporte que estas realizan. Smith et al. (1987), mediante una revisión bibliográfica de artículos que evaluaban esta característica, concluyó que el

aporte de N oscila entre 40 a 200 kg N ha⁻¹, pero más comúnmente entre 75 y 100 kg N ha⁻¹.

Es validado por muchos autores que la cantidad de nitrógeno fijado por las leguminosas ronda los 30 kg N por cada tonelada de MS producidos, por lo que el principal factor que determina la cantidad de N fijado por un CC leguminosa es la producción de MS del mismo (Ernst, 2004).

La bibliografía es consistente en que hay un efecto positivo en la siembra de CC leguminosas sobre el cultivo sucesor cuando este es una gramínea. Ernst (2006), evaluando el rendimiento de maíz sobre un CC de *Trifolium alexandrinum*, obtuvo un rendimiento un 20,4% mayor que cuando este era sembrado sobre barbecho químico sin el agregado de N vía fertilizante. La diferencia de rendimiento se pudo corregir con el agregado de N, aunque el tratamiento sobre CC, requirió una dosis menor de fertilizante para lograr el máximo rendimiento.

Por otro lado, Baigorria et al. (2012) compararon la disponibilidad de nitrógeno al momento de la siembra del cultivo estival, según el CC antecesor. Los resultados mostraron que la concentración de NO₃⁻ en los primeros 20 cm de suelo era el doble, cuando el CC era vicia, respecto al centeno. Esto se tradujo en un incremento del rendimiento de 5306 kg ha⁻¹ de maíz, cuando la fertilización nitrogenada fue nula.

Bratschi y López (2012) lograron los mismos resultados, obteniendo mayores niveles de nitrato en suelo a la siembra del cultivo sucesor, cuando los CC eran leguminosas, respecto a cuando estos eran gramíneas. Estos resultados pueden no deberse únicamente al aporte de nitrógeno por FBN, sino a un efecto de degradación diferencial del rastrojo, que determina un cambio en el ciclo del N en el suelo, afectando su disponibilidad, motivo de diferentes tasas de mineralización e inmovilización.

2.4.3. Descomposición de residuos y liberación de nutrientes al suelo

Una vez suprimido un cultivo, comienza un proceso de degradación de la biomasa vegetal con la consecuente liberación de los nutrientes absorbidos durante el ciclo de crecimiento. La velocidad de degradación del rastrojo de un CC depende de factores del ambiente edáfico y de factores intrínsecos del residuo vegetal (Ernst et al., 2002). Entre los factores ambientales, la

temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes son los que mayor efecto tienen (Álvarez et al., 1991), mientras que dentro de los factores inherentes al rastrojo se encuentra la relación C/N y el contenido de lignina y carbohidratos solubles (Johnson et al., 2007).

El proceso de degradación de residuos comienza con una fase de descomposición rápida, donde se degradan los componentes más solubles y de estructura más simple. Al agotarse estos compuestos, se entra en una etapa donde se degradan los componentes más resistentes, por lo que el proceso se enlentece (Jensen et al., 2005). De esta manera, en un ambiente dado, la velocidad de degradación dependerá de la composición química de los residuos. Ernst et al. (2002) evaluaron la velocidad de descomposición del rastrojo de maíz, trigo y soja en un mismo suelo, obteniendo una tasa de pérdida de peso seco del rastrojo de maíz 2,1 y 2,5 veces menor que trigo y soja respectivamente. Los autores destacan que, en este caso, la pérdida de peso del rastrojo fue lineal durante todo el período, no diferenciándose las dos fases recientemente mencionadas.

Durante el proceso de degradación del rastrojo, la concentración de N en los residuos vegetales se incrementa, producto de un aumento en la biomasa microbiana presente en estos. Esto particularmente se da en residuos con una alta relación C/N, donde toma lugar la inmovilización de N del suelo, reduciendo el N disponible en la solución (Sánchez et al., 1998). Estos autores evaluaron la evolución del contenido de nitrógeno en rastrojo y en el suelo para maíz y soja, obteniendo que, en una primera etapa, el contenido de N en el rastrojo de maíz aumentaba, a la vez que se reducía el N disponible en suelo. El efecto contrario se observó en soja, concluyendo que, independientemente del nivel de N en suelo, la soja realiza un aporte de N por mineralización, mientras que el maíz lo inmoviliza. Similares resultados obtuvieron Ernst et al. (2002) para la evolución de la concentración de N en rastrojo de soja y maíz.

Tomando estas consideraciones, cuando se utilizan CC con rastrojos de lenta degradación (generalmente gramíneas), el efecto en la disponibilidad de nutrientes puede ser negativo si no se respetan los plazos donde se da la inmovilización de nutrientes del suelo. Siri Prieto y Ernst (2011), encontraron para un CC de raigrás, que se requerían de al menos 40 a 60 días entre la supresión del CC y la siembra del cultivo de verano para que la disponibilidad de N en suelo sea máxima.

Del mismo modo, Álvarez y Berriel (2017), evaluando 3 especies gramíneas y una crucífera, encontraron una reducción de 5 partes por millón (ppm) en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ respecto a un testigo en barbecho químico, cuando se manejó un período entre supresión del CC y siembra del cultivo estival de 25 días.

De este modo, para aprovechar el beneficio de los CC en el reciclaje de nutrientes, se debe lograr la sincronización entre la oferta de nutrientes por la mineralización desde el rastrojo y la demanda de estos por el cultivo de renta.

2.5. IMPACTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN SOJA

Los cultivos de cobertura provocan una alteración en el ambiente edáfico donde se desarrollará el cultivo de renta estival. Entre las variables afectadas se destaca la disponibilidad hídrica y de nitrógeno en suelo, y la presencia de residuos de CC como factores restrictivos a la implantación y desarrollo de los cultivos estivales (Artigas y Garcia, 2012, Abdalla et al., 2019). Álvarez et al. (2017), realizaron un meta-análisis en base a 67 experimentos realizados en La Pampa, Argentina, destacando que la inclusión de CC gramíneos previos a maíz generaban una reducción en el rendimiento del 8%, mientras que cuando el antecesor era un CC leguminosa, el mismo se incrementa en un 7% respecto a una situación de barbecho. Cuando evaluaron esta característica para soja, obtuvieron que el rendimiento apenas se vio afectado independientemente de si el antecesor fue gramínea, leguminosa o barbecho. Similares resultados encontraron Qin et al. (2021), donde el maíz veía deprimido su rendimiento por la presencia de un CC gramíneo como antecesor, mientras que el rendimiento de soja no variaba.

El mayor grado de independencia del cultivo de soja al ambiente edáfico puede explicarse principalmente por la capacidad de fijar N para superar la limitada disponibilidad del suelo (Qin et al., 2021), la mayor tolerancia al déficit hídrico y una mayor plasticidad vegetativa que le permite compensar una posible falla en la implantación a causa del rastrojo en superficie (Vega y Andrade, 2000).

En cuanto a esta última característica, la cantidad de rastrojo presente en superficie junto con la humedad y el tipo de suelo repercuten en la calidad de siembra a través de la profundidad de siembra, el contacto semilla-suelo y el tapado del surco (Valetti, citado por Coll, 2012). A su vez, la presencia de una

capa gruesa de rastrojo puede actuar como una barrera física a la emergencia del cultivo.

Artigas y García (2012), obtuvieron diferencias en el número de plantas logradas comparando la siembra de soja sobre una cobertura de avena, o sobre barbecho invernal. Aun así, en concordancia con la bibliografía, estas diferencias no se trasladaron a rendimiento, explicado por un aumento en el número de nudos, ramas y vainas por planta.

Esta plasticidad vegetativa, le permite al cultivo minimizar la reducción de la radiación interceptada y la producción de biomasa cuando el stand de plantas es menor (Vega y Andrade, 2000), confiriéndole al cultivo de soja una ventaja frente a las alternativas de verano, cuando la presencia de abundante rastrojo puede comprometer la implantación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

El experimento se ubicó en una chacra comercial, en el establecimiento “A&E Regehr”, en las cercanías a la localidad de La Boyada, departamento de San José, ruta nacional número 1, kilómetro 93. Las coordenadas geográficas del sitio son 34° 22' 45" latitud sur y 56° 57' 24" longitud oeste. Según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1976), los suelos corresponden a la unidad Isla Mala, donde el tipo de suelo dominante son Brunosoles Eutricos Lúvicos.

La chacra utilizada proviene de un esquema de más de 10 años de agricultura continúa, siendo en los últimos cuatro años un esquema de doble cultivo anual con predominancia de maíz como cultivo estival (Cuadro 2).

Cuadro 2. Secuencia de cultivos implementada desde el 2017 a la actualidad.

Zafra	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver
Año	2017	2017-18	2018	2018-19	2019	2019-20	2020	2020-21
Cultivo	Canola	Maíz	Cebada	Maíz	Raigrás	Soja	Canola	Maíz

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA RELEVADA

El trabajo se realizó relevando una superficie total de 13,2 hectáreas, en las que se sembraron tres fajas con distintos CC: *Secale cereale* (Centeno), mezcla de *Vicia villosa* y *Secale cereale* (Mezcla) y *Vicia villosa* con el agregado de centeno a baja densidad buscando un comportamiento de tutor para la leguminosa (*Vicia*). La superficie ocupada por cada faja corresponde a 4,2, 5,3 y 3,7 hectáreas respectivamente.

En cada faja se marcó una grilla georreferenciada a intervalos regulares de 30 metros, generando 42 sitios de muestreo (Figura 1). Las determinaciones se realizaron dentro de un radio de 5m respecto al centro de cada unidad de la grilla. Los muestreos se realizaron de manera sistemática en cada celda de la grilla para todas las variables relevadas. Posteriormente a la supresión de los CC, se sembró soja y se le realizó un manejo homogéneo a toda la superficie.

El período relevado fue entre mayo de 2021 y enero de 2022.

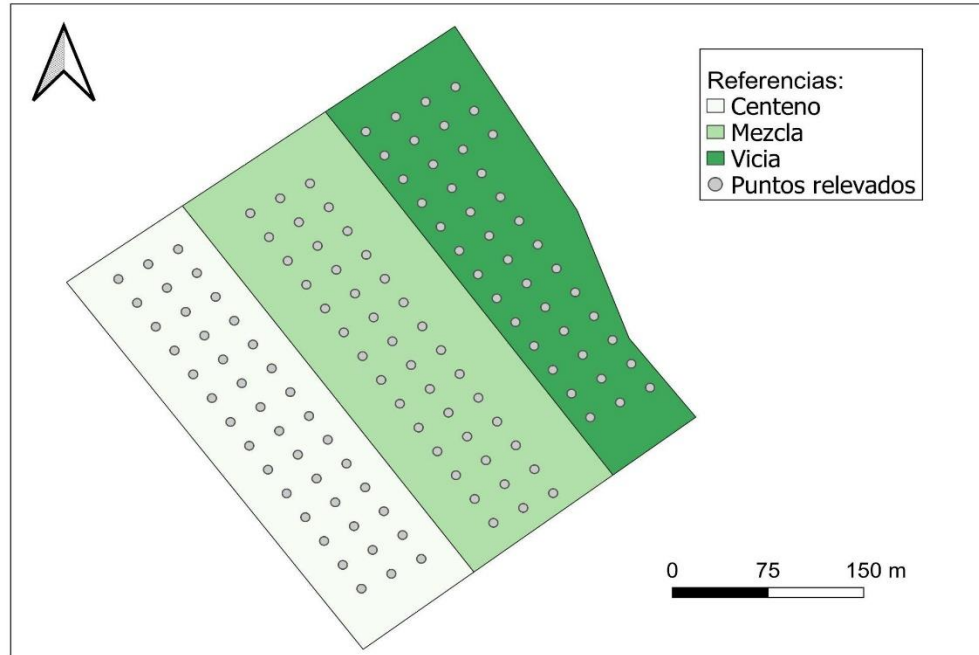


Figura 1. Croquis del ensayo.

3.2.1. Fecha y densidad de siembra de las coberturas

Los 3 CC fueron sembrados el 15 de mayo de 2021, sobre un antecesor de maíz, cosechado el 4 de abril. Previo a la siembra de los cultivos se realizó una aplicación de 4 litros ha⁻¹ de glifosato. La siembra se realizó con una sembradora de chorrillo, con una distancia entre hileras de 19 cm y la profundidad de siembra fue de 2 cm para todos los CC.

Cuadro 3. Densidad de siembra de los tratamientos

Tratamiento	Vicia (kg ha ⁻¹)	Centeno (kg ha ⁻¹)
Centeno	-	80
Mezcla	15	40
Vicia	25	10

3.2.2. Supresión de los CC y siembra de soja

Las coberturas fueron finalizadas el día 24 de setiembre mediante la aplicación de 3,5 litros ha⁻¹ de glifosato al 48% y 1 litro ha⁻¹ de clethodim al 24 %. El 3 de noviembre se realizó una aplicación de paraquat.

El cultivo de soja fue sembrado el 8 de noviembre, determinando un período de barbecho de 45 días. El cultivar utilizado fue Nidera 6248, sembrado a una densidad de 80 kg ha⁻¹, con una distancia entre hileras de 38 centímetros. Al momento de la siembra se fertilizó con 120 kg ha⁻¹ de 4-30/30-10+5s.

3.3. DETERMINACIONES REALIZADAS EN LOS CC

3.3.1. Implantación

El 10 de julio se relevó el número de plantas por metro lineal para tres surcos consecutivos, repitiendo tres veces este procedimiento para cada celda de la grilla. En base al peso de mil semillas y la densidad de siembra utilizada para cada CC, se calculó el número de semillas sembradas por unidad de área. Con este valor y la población lograda, se estimó el porcentaje de implantación de los CC.

3.3.2. Cobertura de suelo por los CC

Se relevó durante todo el ciclo de crecimiento de los CC, con una frecuencia de aproximadamente 15 días. Para la determinación del valor de cobertura se utilizó el software “Canopeo” (Copyright © 2021 Canopeo App), realizando de 3 a 5 repeticiones por celda de la grilla.

3.3.3. Fenología

Se estimó cada 15 días aproximadamente. Para Centeno se utilizó la escala de Zadoks, mientras que para Vicia la escala propuesta por Mischler et al. (2010).

3.3.4. Enmalezamiento

Se determinó durante todo el período que perduró el ensayo, con una frecuencia de aproximadamente 15 días. Se utilizó una metodología de presencia/ausencia por especie para cada celda de la grilla.

3.3.5. Producción de biomasa

Se estimó en tres momentos definidos por el estadio fenológico del centeno (inicio de encañazón, espigazón y previo a la aplicación del herbicida, que coincidió con la fase de antesis). Las fechas de las determinaciones fueron: 21/7, 28/8 y 24/9. En cada tratamiento se tomaron 5 puntos de producción de MS contrastante, asignándoles una escala del 1 al 5, donde 1 corresponde al punto de menor producción y 5 al de mayor. La producción de MS de cada punto se determinó mediante el corte a ras del suelo en una superficie de 0,25 m² la cual fue secada y posteriormente pesada.

A cada unidad de muestreo se le asignó un valor de esta escala por apreciación visual para estimar la producción por unidad de superficie.

3.3.6. Radiación interceptada

Las determinaciones de cobertura de suelo de cada fecha de muestreo se dividieron en deciles con el objetivo de realizar una prueba de significancia entre tratamientos (t Student). La cobertura diaria de suelo durante el ciclo de cada CC se estimó ajustando un modelo logístico para cada decil, de manera de predecir la cobertura diaria del suelo durante el ciclo de cada CC.

El modelo ajustado a cobertura de suelo fue:

$$\text{Cobertura de suelo según DPS} = \alpha / (1 + \beta * \exp(-\gamma * \text{DPS}))$$

Donde DPS= días post siembra; α =máxima cobertura lograda por el CC; β y γ = coeficientes que modelan la forma de la curva sigmoide.

La radiación incidente diaria se extrajo del proyecto “Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)” perteneciente a la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, 2021).

La radiación interceptada diaria se calculó mediante el producto de la radiación incidente y el nivel de cobertura de suelo para el día n:

$$\text{RI día } n = \text{Rinc día } n * \text{Cobertura de suelo día } n$$

Donde RI= Radiación interceptada; Rinc= Radiación incidente.

La RI acumulada se calculó como la sumatoria de la radiación interceptada diaria por los CC durante el transcurso total del ciclo.

3.3.7. Eficiencia en el uso de la radiación

Se calculó dividiendo la producción de biomasa entre los valores de radiación diaria interceptada acumulada el día correspondiente.

3.3.8. Cobertura de suelo por rastrojo

Se estimó al momento de la siembra de soja, mediante apreciación visual, utilizando un cuadro de 50x50 cm.

3.4. DETERMINACIONES REALIZADAS A LA IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO DE SOJA

3.4.1. Nitratos a siembra

Se realizó un muestreo de suelo en 2 estratos (0-7,5 cm y 7,5-15 cm). Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento, correspondiendo cada repetición a celdas de la grilla con producción diferencial de biomasa por los cultivos de cobertura.

3.4.2. Agua disponible

El 24/09 y el 17/11 se realizó la evaluación de humedad gravimétrica en el suelo mediante el muestreo del perfil de este con taladro holandés. Tomando como referencia los valores 1, 3 y 5 de la escala de producción de MS, se determinaron sitios de alta, media y baja productividad. En estos puntos se extrajo una muestra del perfil del suelo, las cuales fueron separadas según horizontes y secadas, para obtener la humedad gravimétrica por horizonte a partir de un doble pesado, utilizando la siguiente ecuación:

$$HG (\%) = ((PF - PS) / PS) * 100$$

Donde: HG= Humedad gravimétrica; PF= Peso fresco (g); PS= Peso seco (g).

3.4.3. Implantación

El 2 de diciembre se contó el número de plantas por metro lineal en dos surcos consecutivos, repitiendo el procedimiento 3 veces en cada celda de la grilla georreferenciada. El mismo día se midió la altura del cultivo y fenología, mediante la escala propuesta por Fehr y Caviness (1977).

3.5. ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó un análisis de medias poblacionales (μ) basado en muestras independientes, donde se toma como hipótesis nula que:

$$-\mu(x1) = \mu(x2)$$

$$-\mu(x2) = \mu(x3)$$

$$-\mu(x1) = \mu(x3)$$

Los datos recabados se analizaron mediante prueba T student para muestras independientes en casos donde se cumplió con el supuesto de normalidad y homocedasticidad; y test de Wilcoxon para las variables que no lo fueron.

Para el análisis de nitratos residuales a la siembra de soja se ajustaron modelos de regresión lineal tomando como variable regresora la productividad de los CC.

Se realizó un ajuste de modelos no lineales entre variables dependientes y días pos siembra.

Para el estudio de agua en el suelo al momento de la supresión de los CC y a la siembra de soja, se graficaron los resultados para observar tendencias de acuerdo al nivel de productividad de los CC.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

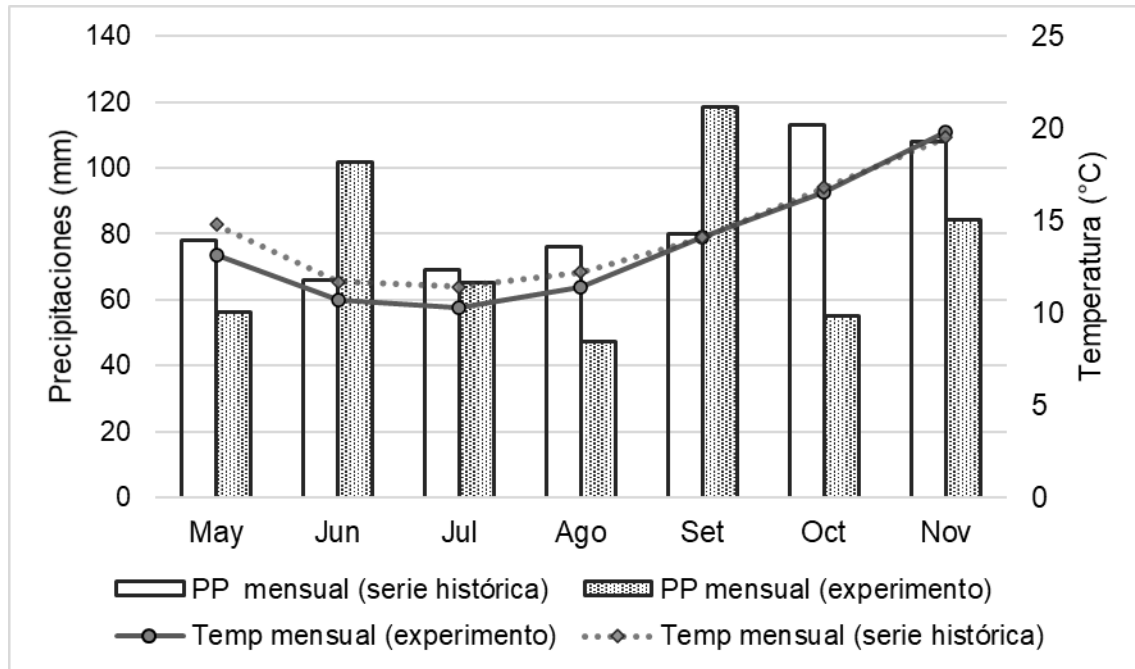


Figura 2. Régimen de precipitaciones y temperaturas durante el período experimental comparado con la serie histórica de la zona (1961-1990) (INUMET, 2013).

Las precipitaciones durante el período de estudio tuvieron un comportamiento diferencial respecto a la media histórica según el mes. Exceptuando junio, durante finales de otoño e invierno, las precipitaciones se ubicaron por debajo de la media histórica, observándose leves síntomas de deficiencia hídrica en los CC a finales de agosto. Las precipitaciones de setiembre permitieron una recarga total de agua en el perfil del suelo inclusive desde el momento de finalización de los CC.

El promedio mensual de temperaturas durante el período de crecimiento de los CC fue levemente inferior a la media histórica, pudiendo tener un impacto en el desarrollo de *Vicia villosa*, ya que bajas temperaturas reducen sensiblemente su tasa de crecimiento. A partir de primavera las temperaturas se igualan a la media histórica.

4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA

4.2.1. Implantación de los CC

En el cuadro 4 se presenta la población lograda y el % de implantación estimado para cada opción de CC.

Cuadro 4. Población lograda y porcentaje de implantación de los cultivos de cobertura.

Tratamiento	Vicia (pl m ⁻²)	% implantación	Centeno (pl m ⁻²)	% implantación
Mezcla	26,3	51,3a	64,7	22a
Vicia	43,2	50,0a	-	-
Centeno	-	-	133,2	22,7a

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

Tomando como referencia un valor de 40 plantas por metro cuadrado como el óptimo para Vicia (Miranda et al., 2016), la población lograda en él se considera adecuada. En Mezcla, la población de vicia corresponde a un 61% de la lograda en el tratamiento de Vicia, manteniendo la relación buscada al momento de la siembra, ya que el porcentaje de implantación no varió entre tratamientos.

Centeno tuvo un bajo porcentaje de implantación, tanto en la siembra pura como en la Mezcla, ubicándose por debajo del óptimo recomendado para esta especie, que ronda entre las 150 a 180 plantas por metro cuadrado (Calvo, 2020). Aun así, no se considera al número de plantas como una limitante de la producción en ningún tratamiento.

4.2.2. Evolución de la cobertura del suelo

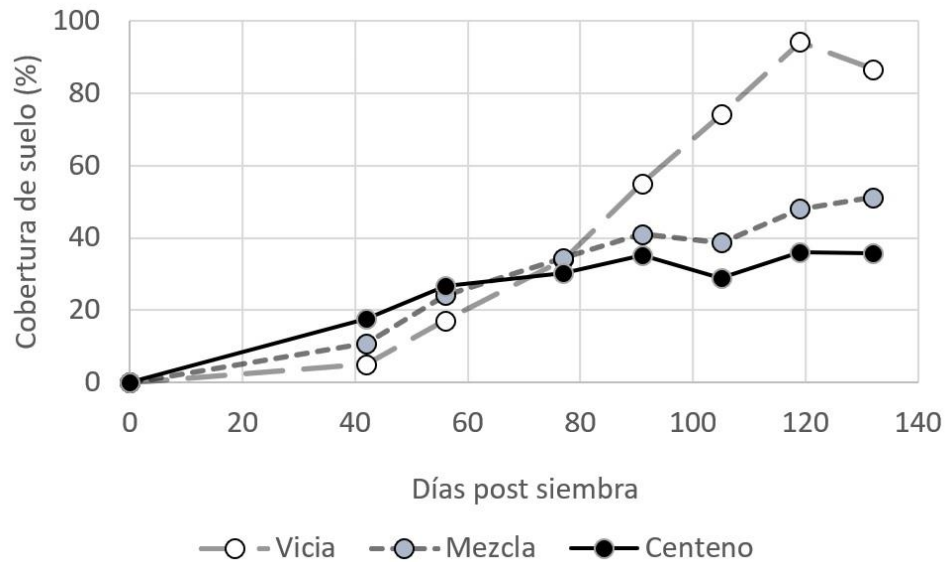


Figura 3. Evolución de la cobertura del suelo de los CC.

La evolución de la cobertura de suelo durante la fase de crecimiento de los cultivos presentó un comportamiento contrastante entre CC. Vicia se destacó por un crecimiento exponencial de la cobertura de suelo con una caída en la última etapa del ciclo a causa de *Ramularia sphaeroidea*, que afectó parte del tejido foliar, en especial aquel situado en el estrato inferior de la planta. Centeno mostró un rápido aumento inicial de la cobertura, siendo el que logró una mayor cobertura en las primeras etapas del ciclo, pero se estabilizó en torno al 35% a partir de los 60 DPS. Por su parte, la evolución de la cobertura de suelo de la Mezcla siguió un modelo de tipo sigmoide, con un punto de inflexión en torno a los 70 DPS.

La superioridad de Centeno frente a Vicia en etapas iniciales puede explicarse por un mayor vigor inicial de este, sumado a una mayor tolerancia a bajas temperaturas que vicia, donde siembras tardías enlentecen su establecimiento.

A partir del día 75, el cultivo comienza la etapa de encañazón, y la cobertura se estabilizó en torno al 35%. Este comportamiento en la evolución de

la cobertura del suelo también pudo estar condicionada por un déficit de nitrógeno, ya que los CC no se fertilizaron. Visualmente se constató la sintomatología de este déficit nutricional, como plantas poco vigorosas, con clorosis en hojas inferiores y una alta tasa de senescencia foliar.

El uso de Mezcla logró una cobertura más rápida del suelo que el cultivo de Vicia, aumentando la radiación interceptada y reduciendo el riesgo de erosión en las etapas tempranas del cultivo. No obstante, la cobertura lograda al final del ciclo de los CC es mayor en Vicia.

La cobertura de suelo en etapas tempranas de Centeno es mayor que en Mezcla, revirtiendo la situación a partir de la segunda mitad del ciclo de los CC.

Por lo tanto, se puede destacar un comportamiento intermedio del tratamiento Mezcla, frente a ambas especies sembradas por separado.

4.2.3. Radiación interceptada

A partir de los valores de radiación incidente se estimó la radiación interceptada acumulada para tres momentos del ciclo de los CC, tomando como referencia el estadio fenológico del centeno, ya que la vicia se mantuvo en estado vegetativo hasta el momento de finalización de los CC.

Cuadro 5. Radiación interceptada (MJ m^{-2}) por los CC para tres momentos del ciclo de crecimiento.

Días Post Siembra (DPS)	Estadio centeno	MJ m^{-2}		
		Centeno	Mezcla	Vicia
77	Z30	108a	89b	61c
105	Z33	218b	227ab	256a
132	Supresión (Z65)	340c	390b	568a

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

Al igual que en la Figura 3, Centeno logró una mayor intercepción de la radiación durante el período de siembra a encañado, revirtiéndose la situación cuando se considera la radiación interceptada acumulada durante todo el ciclo de los CC. En este caso, Vicia interceptó 228 MJ m^{-2} más que Centeno, contrastando con lo obtenido por Elhakeem et al. (2021), donde la gramínea superó a la leguminosa por 127 MJ m^{-2} . Cabe destacar, que la gramínea utilizada en dicho trabajo fue avena negra, considerada por estos autores como la gramínea con mayor capacidad para lograr una rápida y elevada cobertura de suelo.

La superioridad de Vicia en su capacidad de interceptar radiación puede explicarse, en parte, por la disposición del follaje, que adopta una posición de las hojas más planófila, mientras que el centeno lo hace en una forma más erectófila, determinando que a igual IAF, la cobertura de suelo, y por lo tanto la RI, sea mayor en Vicia. A su vez, como ya fue mencionado, el estrés causado por la deficiencia de N en el cultivo de Centeno, posiblemente contribuyó a esta diferencia.

4.2.4. Producción de biomasa

Durante la fase de crecimiento, la producción de biomasa de los CC presentó una evolución de tipo exponencial. Al igual que con la cobertura de suelo, por su mayor vigor inicial y mejor adaptación a bajas temperaturas, Centeno superó a Vicia en 550 kg MS ha⁻¹ durante los primeros 77 días. Esta diferencia se mantuvo hasta la segunda medición (105 DPS), donde no se encontraron diferencias entre Vicia y Mezcla. Al momento de la supresión de los CC, la máxima producción de MS se logró en el tratamiento Mezcla, diferenciándose estadísticamente sobre los otros dos tratamientos.

Cuadro 6. Producción de biomasa (kg MS ha⁻¹) de los CC para tres momentos del ciclo de crecimiento.

DPS	VICIA	MEZCLA	CENTENO
77	461c	786b	1008a
105	1235b	1317b	1806a
132	3040b	3621a	3147b

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

En el cuadro 7 se presentan las tasas de crecimiento para los tres períodos mencionados, y su correspondiente ubicación en el ciclo de desarrollo del centeno. Realizando una comparativa entre el tratamiento Mezcla y Centeno, se puede observar que, en primer y segundo período, las tasas de crecimiento fueron superiores en Centeno. Esto debido a que el principal aporte de biomasa en Mezcla lo hacía la gramínea, y en este caso fue sembrada a una menor densidad. Hasta ese momento, no se observaron efectos de competencia entre plantas, por lo que un mayor número de estas por unidad de área explicaron la superioridad del Centeno.

A partir del inicio de encañado, donde se maximizan los requerimientos nutricionales en gramíneas (Perdomo y Hoffman, 2011), se constataron síntomas importantes de competencia en Centeno, principalmente por nitrógeno. Esto derivó en una menor tasa de crecimiento en Centeno que en Mezcla, donde una menor densidad de siembra del centeno, redujo el efecto negativo entre plantas,

lo que permitió un mayor crecimiento individual, sumado al aporte que realizó la vicia en este período.

Cuadro 7. Tasas de crecimiento parciales y totales ($\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) para cada CC.

Período	Fechas	Estadio centeno	Vicia	Mezcla	Centeno
1er período	15/5 - 31/7	Siembra-Z30	6,0c	10,2b	13,1a
2do período	1/8 - 28/8	Z30 - Z33	27,6a	19,0b	28,5a
3er período	29/8 - 24/9	Z33 - Supresión	66,9b	85,3a	49,7c
Total	15/5 - 24/9	Siembra - Supresión	23,0b	27,4a	23,8b

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

Al igual que lo sucedido con la cobertura de suelo, Vicia presentó un lento crecimiento inicial que sumado a que las condiciones no fueron óptimas para su crecimiento, determinó una baja tasa de crecimiento inicial (primer período). Con el progresivo aumento de temperatura, la tasa de crecimiento creció exponencialmente a lo largo del ciclo.

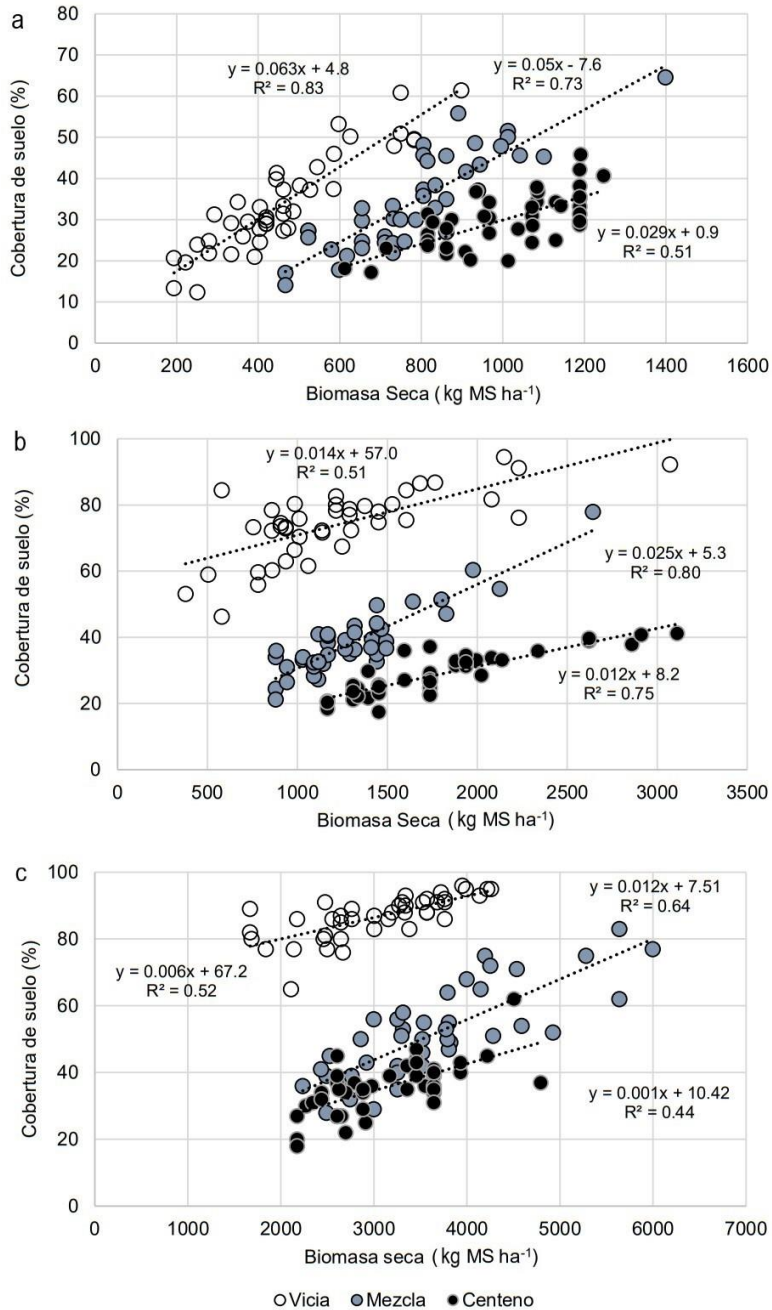
En este caso, el uso de Mezcla permitió capitalizar el mayor crecimiento inicial del centeno, y las altas tasas de crecimiento primaverales que posee el cultivo de vicia. A su vez, ante un ambiente de alta deficiencia de nitrógeno, una menor población de centeno, favorece el desarrollo de esta especie.

4.2.5. Relación entre cobertura de suelo y producción de biomasa

En la siguiente figura se presenta la relación entre las variables de cobertura de suelo y producción de biomasa, para los estadios inicio de encañado (Z30), mitad de encañado (Z33) y anthesis (Z65) respectivamente, tomando como referencia a Centeno (77, 105 y 132 DPS respectivamente). En los tres momentos Vicia logró un mismo valor de cobertura de suelo que Centeno con una menor producción de MS, lo que se atribuye a la disposición diferencial del follaje anteriormente explicada.

Estas diferencias se hicieron más claras al momento de la supresión del cultivo, donde a valores similares de producción de MS, la cobertura de Vicia fue del orden del 80 al 100%, mientras que en Centeno fue del 20 al 50% aproximadamente.

En este caso, para alcanzar una cobertura de suelo del 80%, necesaria para un buen control de la erosión (García Préchac, 1992), se requirió de una



producción de 2 Mg ha⁻¹ MS en Vicia, 6 Mg ha⁻¹ MS en Mezcla, y 7,5 Mg ha⁻¹ MS en Centeno, asumiendo una relación lineal para este último entre cobertura de suelo y producción de MS.

Figura 4. Cobertura de suelo (%) en función de la producción de biomasa de los CC (kg MS ha⁻¹) para a) 77 DPS; b) 105 DPS; c) 132 DPS.

Al superponer la información de los tres momentos en un mismo gráfico (Figura 5), se puede observar que Vicia se ajusta claramente a un modelo de tipo logarítmico, donde en un primer momento a medida que aumenta la producción de biomasa, la cobertura lo hace en una alta proporción, hasta llegar a valores de cobertura cercanos al 80%, donde la pendiente de la curva decrece. Esto puede explicarse en parte por el tipo de crecimiento de *Vicia villosa*, que en un principio lo hace de forma "rastrera" hasta lograr una cobertura casi total del suelo, para luego crecer en altura y volumen, utilizando las plantas de centeno como tutores.

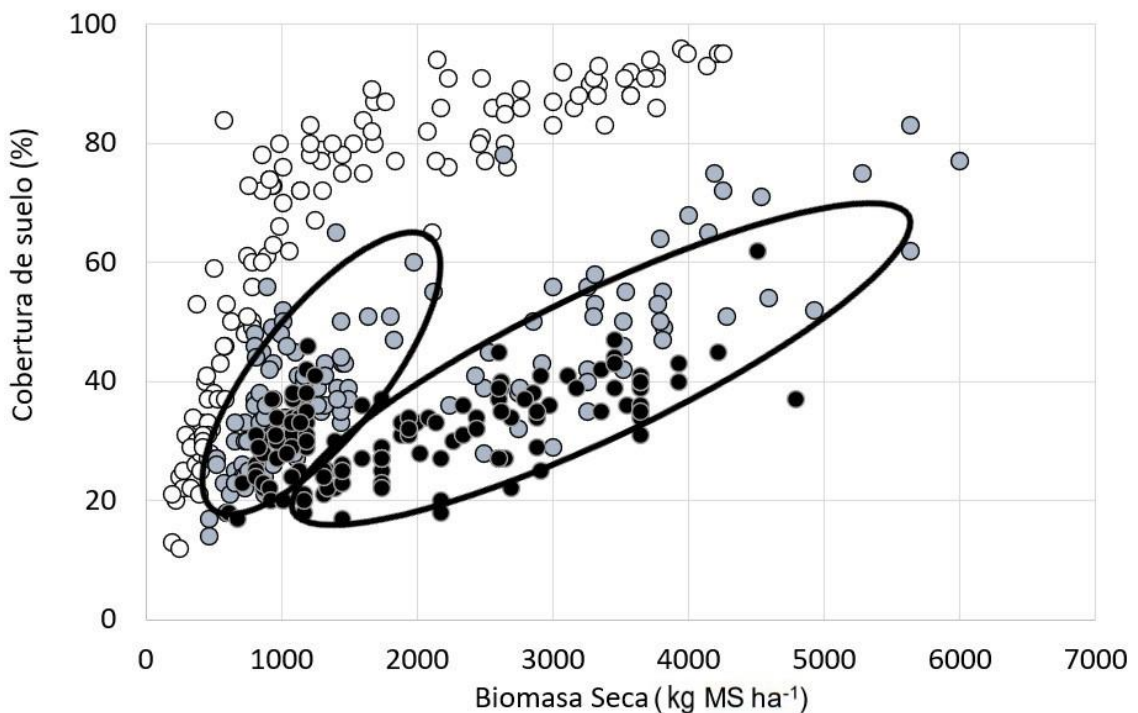


Figura 5. Cobertura de suelo (%) en función de la producción de biomasa de los CC (kg MS ha⁻¹), para los tres momentos establecidos.

En el caso de Centeno y Mezcla, pueden observarse dos tendencias, una de menor pendiente que otra, asociadas al período de previo y posterior a Z30 respectivamente. En el período previo a encañazón, que se corresponde con la fase de establecimiento y macollaje, el crecimiento se enfoca en lograr la máxima

cobertura posible del suelo, determinando que a mayor número de macollos, mayor será el área foliar alcanzada (Calderini et al., 2014). Es por esto, que en dicha fase, se logran aumentos importantes en la cobertura de suelo, variando poco la producción de biomasa.

Lo opuesto ocurre a partir del período de encañado, donde en Centeno se registran aumentos del orden de 2 Mg ha⁻¹ MS, variando solo un 20% la cobertura de suelo.

La misma información puede también analizarse desde otro punto de vista, siendo que el cultivo de Centeno requiere de una menor cobertura de suelo, y por lo tanto una menor radiación interceptada, para lograr valores iguales de producción de MS que Vicia. En este caso, la radiación interceptada acumulada por Centeno fue un 34% inferior a Vicia, y aun así la producción de biomasa no difirió entre cultivos. Esto se explica por un efecto diferencial de la EUR de ambos tratamientos.

4.2.6. Eficiencia en el uso de la radiación

Cuadro 8. Eficiencia de uso de la radiación de cada tratamiento.

Tratamiento	EUR (g MJ ⁻¹)
Centeno	0,93a
Mezcla	0,92a
Vicia	0,53b

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

No se encontraron diferencias entre la EUR de Centeno y Mezcla, pero estos sí se diferenciaron de Vicia. Estos datos coinciden con lo hallado por Elhakeem et al. (2021), quienes no encontraron diferencias cuando evaluaban la EUR de una gramínea sembrada pura, o en mezcla con una leguminosa. Aun así, los valores obtenidos por estos autores fueron de 1,15 g MJ⁻¹ y 1,13 g MJ⁻¹, para gramínea pura y mezcla gramínea leguminosa respectivamente. Esta diferencia podría estar explicada por la aplicación de 30 kgN ha⁻¹ realizada en dicho experimento, favoreciendo el crecimiento de la gramínea, ya que, en el presente trabajo, no se aplicó nitrógeno, considerando a este nutriente como la principal limitante en el crecimiento del centeno.

En cuanto a Vicia, la EUR se asemeja a valores obtenidos por estos autores. Se concluye que el cierto grado de independencia a la disponibilidad de N en suelo que le otorga la FBN a la leguminosa, permitió que la EUR no se vea deprimida en condiciones limitantes de este nutriente, como sí ocurrió en Centeno.

Aun así, la EUR de Vicia fue un 43% menor a Centeno, explicado principalmente por la arquitectura de la planta. Coincidiendo con la bibliografía, la estructura de planta, y disposición más erecta de las hojas en gramíneas, con un menor coeficiente de extinción de la luz, permitiría reducir el sombreado al estrato inferior y así lograr una distribución más homogénea de la luz en la planta.

De los resultados obtenidos, se puede destacar dos estrategias diferentes para obtener el mismo nivel de producción de biomasa en Vicia y Centeno. Por un lado, Vicia logró interceptar una alta proporción de la radiación incidente (40,3%), pero con una eficiencia baja para convertirla en biomasa. Mientras que Centeno interceptó una menor proporción de la radiación incidente (24,1%), pero logró una EUR más elevada que le permite compensar la menor radiación interceptada.

De esta manera, Mezcla logró la mejor combinación entre RI y EUR. El producto de estas variables en Mezcla, supera por un 15% y 19% al de Centeno y Vicia respectivamente, lo que puede trasladarse directamente a producción de MS.

Por lo tanto, el uso de estas especies sembradas en mezcla, permite utilizar de manera más eficiente la radiación incidente, que cuando se siembran por separado.

4.2.7. Enmalezamiento de los CC

El grado y diversidad del enmalezamiento varió con los CC (Figura 6).

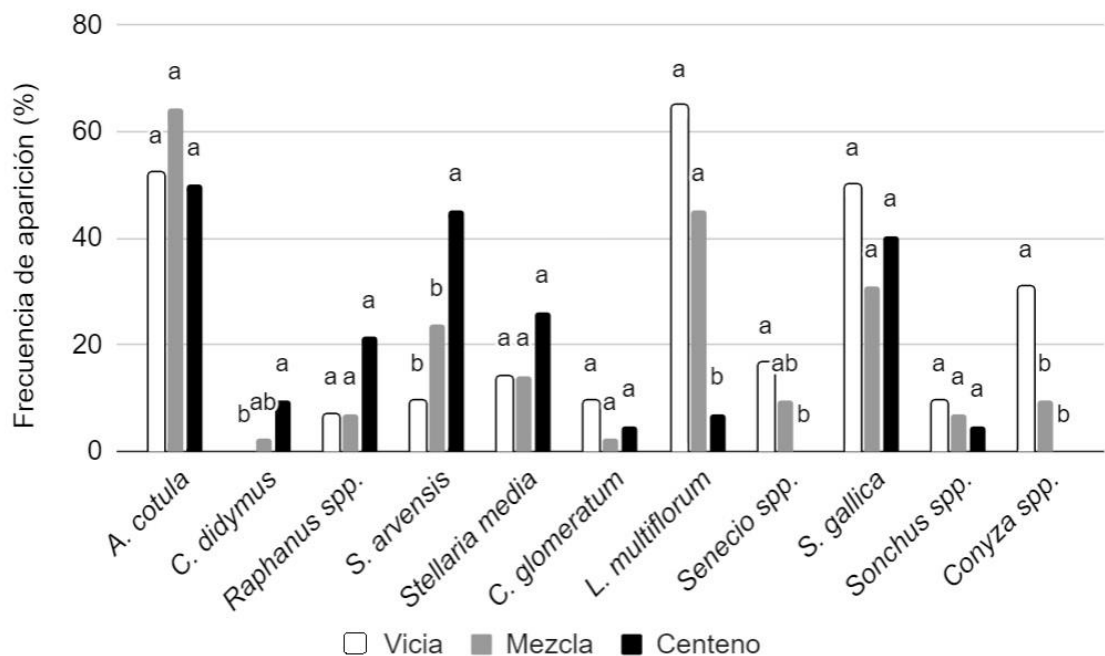


Figura 6. Frecuencia de aparición de malezas durante el transcurso del experimento para cada tratamiento.

Las especies de malezas presentes en el sitio fueron: *Anthemis cotula*, *Coronopus didymus*, *Raphanus spp*, *Stachys arvensis*, *Stellaria media*, *Cerastium glomeratum*, *Lolium multiflorum*, *Senecio spp*, *Silene gallica*, *Sonchus oleraceus* y *Conyza spp*.

Existió un comportamiento diferencial del enmalezamiento para los tres CC, variando en función de la especie de maleza en cuestión. Para el caso de malezas anuales invernales de hoja ancha, sólo se encontró diferencias entre CC en *Stachys arvensis* y *Coronopus didymus*, con mayor frecuencia en Centeno. Esto difiere con lo obtenido por Dávila y Elduayen (2015), donde un CC gramíneo tenía una mayor capacidad supresora sobre malezas invernales de hoja ancha.

La mayor presencia de estas malezas en Centeno se explica por flujos de emergencia entre agosto y setiembre, donde la cobertura de suelo fue aproximadamente la mitad que en Vicia. Esta variable toma relevancia teniendo en cuenta que especies como el mastuerzo logran emergencias potenciales hasta el mes de octubre (Picapietra y Acciaresi, 2018).

En cuanto a las malezas estivales como *Conyza spp.*, existió una mayor frecuencia en Vicia. Se destaca entonces, que la presencia de una gramínea como cultivo de cobertura resultó efectiva en reducir el flujo de emergencia de *Conyza spp.* respecto a un CC leguminosa.

Ferber (2016) no encontró diferencias en las emergencias de *Conyza spp.* para diferentes CC, pero sí respecto a una situación de barbecho invernal. Este autor destaca la importancia de la cobertura de suelo para un eficiente control de esta especie.

La reducida capacidad de Vicia para lograr una rápida cobertura de suelo puede explicar la baja eficiencia en el control de las emergencias otoñales de *Conyza spp.*, las cuales representan alrededor del 60% de las emergencias totales de esta especie (Gianelli et al., 2017).

4.3. EFECTOS RESIDUALES A LA SIEMBRA DE SOJA

4.3.1. Cobertura de rastrojo a la siembra de soja

Desde la supresión de los CC hasta la siembra del cultivo estival transcurrieron 45 días. Como se mencionó anteriormente, Vicia logró mayor cobertura de suelo al momento de su finalización. Sin embargo, esta se redujo desde 87% a inicio de barbecho, a 16% al momento de la siembra de soja. Los tratamientos Mezcla y Centeno no se diferenciaron estadísticamente entre sí, pero sí lo hicieron con el tratamiento Vicia, duplicando la cobertura de suelo lograda por este último (Cuadro 9).

En cuanto a la relación entre la cobertura de suelo a la siembra de soja sobre la cobertura a inicio de barbecho, los tres manejos presentaron un comportamiento diferente. Vicia presentó el menor valor, ya que desapareció el 82% de la cobertura lograda al momento de terminación (aplicación de herbicida), seguido por Mezcla (33% de pérdida de cobertura) y por último, Centeno, con solo 14% de reducción de la cobertura de suelo durante este período de 45 días.

El resultado obtenido puede explicarse por la tasa de degradación diferencial que presentan ambas especies. Los residuos de vicia se caracterizan por ser de fácil descomposición, ya que su contenido de lignina es bajo y la relación C/N de los mismos es de 10:1 (Vanzolini et al., 2010a). Por su parte, el centeno, cuando no se le aplica fertilización nitrogenada, presenta una relación C/N de aproximadamente 28:1 (Miguez y Bollero, 2006). Al poseer una menor

concentración de N, los residuos de Centeno, y más aún los ubicados en superficie, requieren de una fase de descomposición microbiana más prolongada (Sánchez et al., 1998).

Cuadro 9. Cobertura de rastrojo a la siembra de soja y relación entre la cobertura final e inicial del mismo para cada CC.

CC	Cobertura a la finalización de los CC (%)	Cobertura a la siembra de soja (%)	Relación Cob. fin barbecho/inicio barbecho
Vicia	87a	16b	0,18c
Mezcla	51b	34a	0,67b
Centeno	36c	31a	0,86a

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

4.3.2. Nitratos residuales en suelo

La disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra de soja varió entre las opciones de CC (Figura 7 y 8).

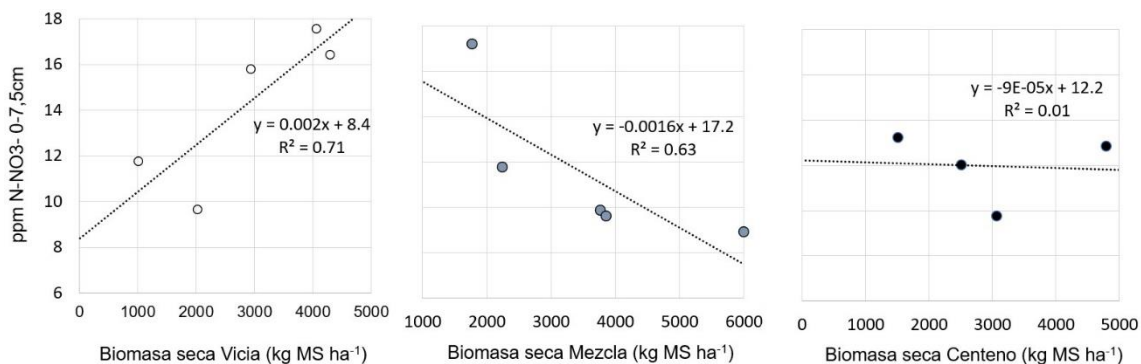


Figura 7. Concentración de $N-NO_3^-$ en suelo (ppm) en el estrato 0 - 7,5 centímetros en base a la producción de biomasa aérea (kg MS ha⁻¹) de los CC.

En el estrato superior, no se logró encontrar una tendencia clara entre biomasa producida por Centeno y disponibilidad de $N-NO_3^-$ en la capa superficial (0 - 7,5 cm). En tanto, en Vicia y Mezcla, se encontró una relación contrastante.

Mientras que en Vicia a mayor producción de biomasa por parte del CC, mayor fue la disponibilidad de N-NO₃⁻ residual en suelo, en Mezcla la relación fue negativa. En Vicia la disponibilidad de N-NO₃⁻ se incrementó 2 ppm por tonelada de biomasa seca producida, lo que representa una reducción de 14 kg ha⁻¹ de N en la dosis de fertilizante recomendada en el cultivo sucesor. Como se mencionó anteriormente, la baja relación C/N de los tejidos vegetales de esta especie determina que el proceso dominante al momento de la degradación de residuos sea la mineralización de N al suelo. Esto se relaciona directamente con la desaparición de cobertura de suelo cuantificada en este CC. Vanzolini et al. (2010a) encontraron que por cada tonelada de MS producida, se acumulan aproximadamente 38 kg de N en los residuos, de los cuales una fracción es incorporada rápidamente al suelo a medida que se degradan los residuos vegetales. A esto se le suma, que aproximadamente un 76% del N en biomasa proviene de FBN (Lussich et al., 2020), por lo cual la extracción de N del cultivo durante la fase de crecimiento es menor al realizado por una gramínea.

La tendencia negativa cuantificada en Mezcla podría explicarse por la alta proporción de Centeno en el tratamiento (mayor a un 80%), que, a mayor producción de biomasa, mayor extracción de N del suelo, que requerirá de un período más prolongado que Vicia para degradarse, y por lo tanto retornar nutrientes al suelo.

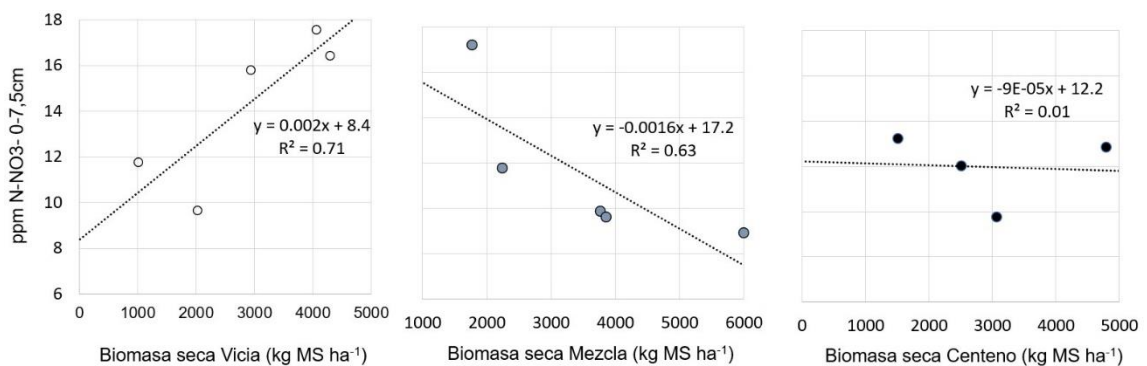


Figura 8. Concentración de N-NO₃⁻ en suelo (ppm) en el estrato 7,5 - 15 centímetros en base a la producción de biomasa aérea (kg MS ha⁻¹) de los CC.

En cuanto al estrato inferior, solo existió una relación positiva entre biomasa producida y concentración de N-NO₃⁻ en Vicia, demostrando que

Centeno no generó cambios en la dinámica del nitrógeno en este período de 45 días, independientemente del grado de producción de biomasa. Se podría asumir, que la leve tendencia positiva hallada para este tratamiento, se debe a factores intrínsecos del suelo, que determinarían, en parte, la variabilidad de producción intra tratamiento. Para Vicia, se encontró un comportamiento similar que en el estrato superior, pero con un menor ajuste lineal, no pudiendo concluir un efecto claro de la producción de biomasa en esta variable.

4.3.3. Contenido de agua en suelo

Para las condiciones climáticas del año y los niveles de producción de MS logrados, no se encontró una relación clara entre productividad y agua residual en el suelo al momento de supresión de los CC. Las precipitaciones registradas durante la fase de crecimiento de los CC permitieron llegar al final del ciclo de los cultivos con elevada humedad en el perfil del suelo y mantener la recarga de agua del mismo independientemente del tipo de CC y su nivel de producción de biomasa.

Lo mismo sucedió a la siembra de soja, aunque puede destacarse un aumento en la humedad gravimétrica en el estrato superior del suelo en los niveles altos de producción de MS para Centeno. Esto podría explicarse por un efecto de la cantidad de rastrojo y cobertura de suelo lograda por Centeno sobre la evaporación del agua almacenada en la capa superficial del suelo.

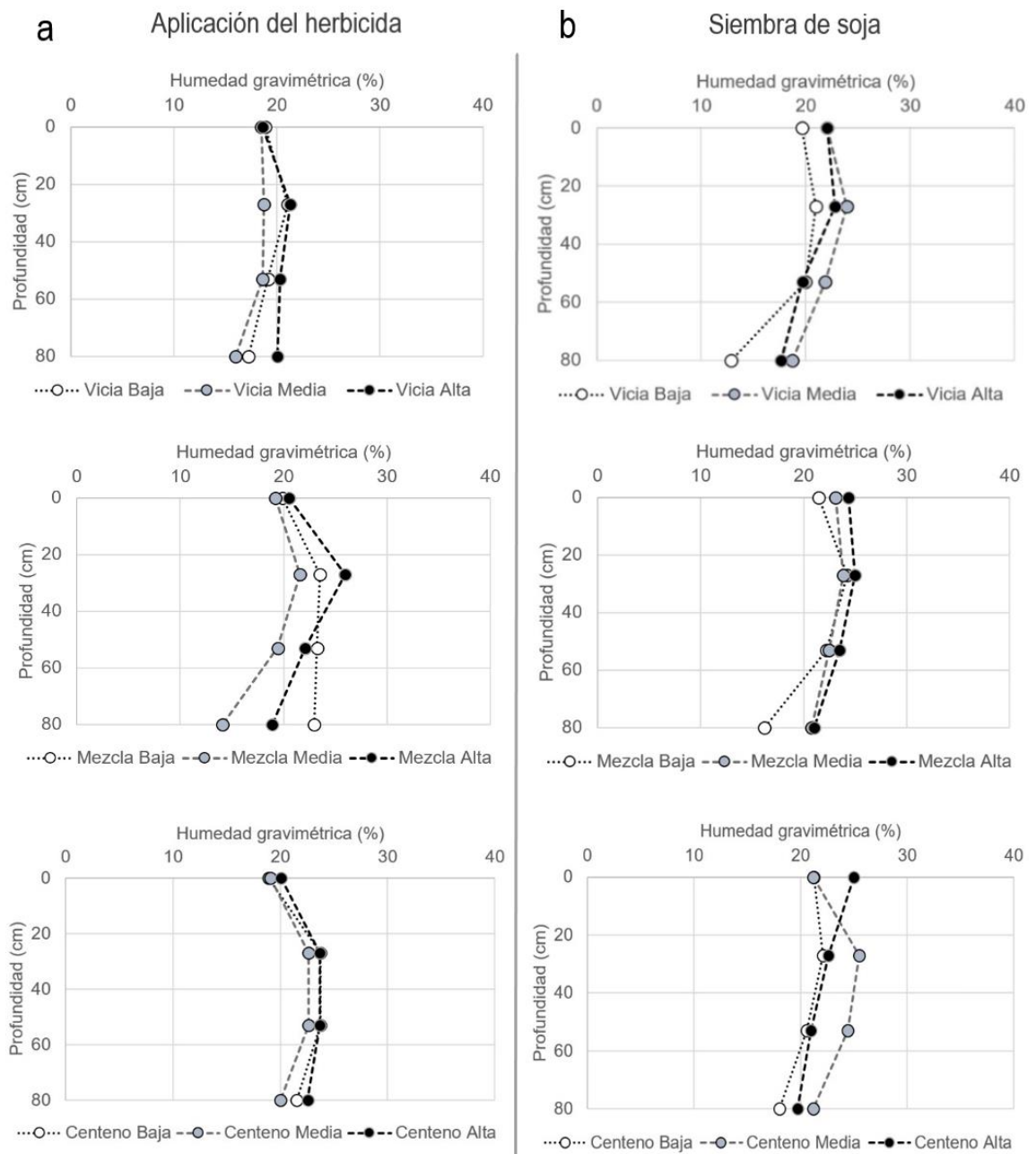


Figura 9. Contenido de agua en suelo para los diferentes niveles de producción de materia seca de cada CC para a) momento de finalización de los CC; b) siembra de soja.

4.3.4. Enmalezamiento a la siembra de soja

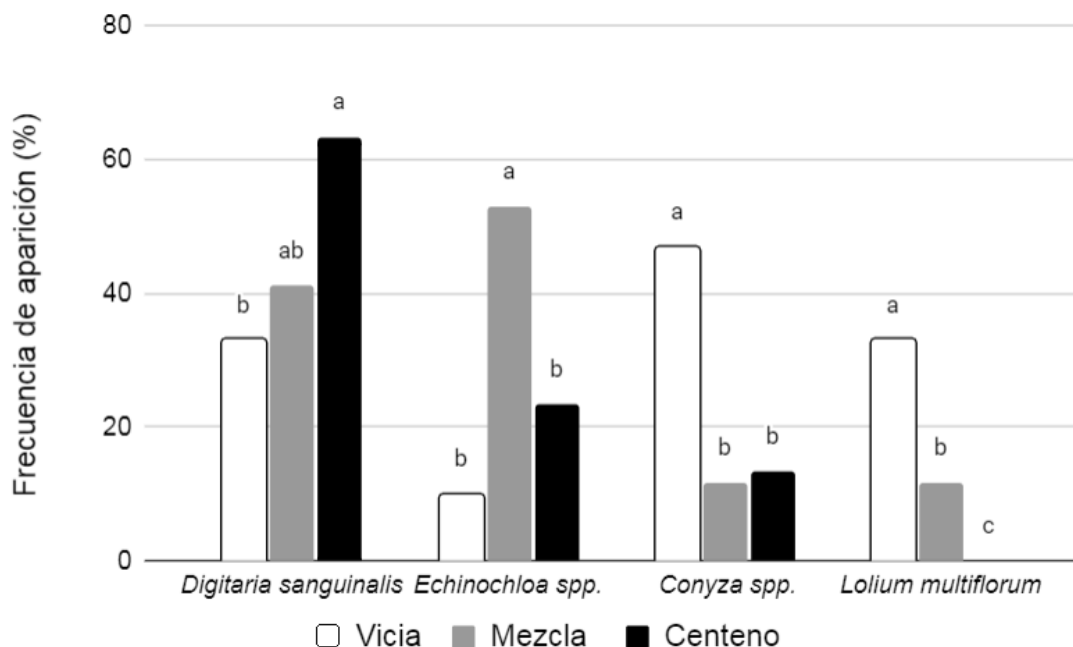


Figura 10. Frecuencia de aparición de malezas al momento de la siembra de soja para cada tratamiento.

Las especies de malezas presentes al momento de la siembra de soja fueron *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa spp.*, *Conyza spp.* y *Lolium multiflorum*.

Al igual que lo observado durante el desarrollo de los cultivos, el CC Vicia fue aquel que presentó una mayor proporción de sitios de muestreo con presencia de *Conyza spp.* y *Lolium multiflorum*. En cuanto a *Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa spp.* la mayor presencia sucedió en el Centeno y Mezcla respectivamente.

Como se mencionó antes, la baja cobertura inicial de suelo por parte de Vicia sería la explicación de las mayores emergencias de raigrás en el período otoñal, como también de *Conyza spp.*. Para el caso de *Conyza spp.*, es de esperar que además hayan existido flujos de emergencia durante el barbecho previo a la siembra de soja, ya que un 20% de las emergencias totales de carnicera suceden en la primavera (Gianelli et al., 2017).

La frecuencia de *Digitaria sanguinalis* fue mayor en Centeno que en Vicia, obteniéndose un resultado intermedio en Mezcla. En tanto, *Echinochloa spp.* fue

más frecuente en Mezcla, diferenciándose estadísticamente por sobre los otros 2 tratamientos. Servera et al. (2016) evidenciaron que el momento de finalización del CC no influye en el número de malezas monocotiledóneas encontradas en el cultivo de renta siguiente, por lo que se puede concluir que la cantidad de malezas gramíneas no fue influenciada por el mes en que se dio la aplicación de herbicidas para la supresión del CC.

4.4. EFECTOS EN EL CULTIVO DE SOJA

4.4.1. Implantación

Cuadro 10. Implantación de soja para cada tratamiento.

CC	Implantación (pl m ⁻¹)
Vicia	17,13a
Mezcla	17,39a
Centeno	17,84a

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

No se encontraron diferencias en la implantación de soja para ninguno de los tratamientos, dando la pauta de que los niveles de producción obtenidos por los CC, no generaron un impedimento físico al momento de la siembra y establecimiento de las plántulas. A su vez, no se halló relación entre los diferentes niveles de producción intra tratamiento y la población lograda, reafirmando que se requiere de volúmenes más altos de residuos para que esta se vea afectada.

5. CONCLUSIONES

La siembra de un cultivo de cobertura gramíneo logró una mayor cobertura de suelo que uno leguminoso durante los primeros 75 días de ciclo. A partir de ese momento, inicio de encañado (Z30), la cobertura de este se estabilizó, y fue superado por la leguminosa.

El uso de ambas especies sembradas en conjunto permitió capitalizar el mayor crecimiento inicial del centeno, y las altas tasas de crecimiento primaverales que posee el cultivo de vicia.

La siembra en mezcla de una gramínea y una leguminosa permitió un uso más eficiente de la radiación incidente que cuando estas se siembran por separado. La mezcla logró mantener la EUR de la gramínea, aumentando la radiación interceptada por esta especie.

El volumen de precipitaciones registrado durante la fase de crecimiento de los CC, permitió cubrir la demanda de estos y mantener la recarga de agua en el perfil del suelo independientemente del tipo de CC y el nivel de producción de biomasa de este.

El CC de vicia presentó las mayores tasas de degradación de rastrojo, llegando a la siembra del cultivo estival con la menor presencia de residuos en el suelo.

En Vicia la disponibilidad de N-NO₃⁻ se incrementó 2 ppm por tonelada de biomasa seca producida, lo que representa una reducción de 14 kg ha⁻¹ de N en la dosis de fertilizante recomendada en el cultivo sucesor.

El grado de cobertura de suelo por los residuos de los CC repercutió en los niveles de humedad gravimétrica (%) en el estrato superior al momento de la siembra de soja.

El CC de cobertura vicia presentó una mayor invasión de *Lolium multiflorum* y *Conyza spp.* durante el transcurso de las coberturas, como en el barbecho post supresión de las mismas.

El tipo de cobertura no influyó en la implantación de soja.

6. RESUMEN

La expansión agrícola que atravesó el país en la primera década del siglo XXI rápidamente mostró síntomas de su insostenibilidad en el largo plazo. Los frecuentes períodos de barbecho invernal en las rotaciones agrícolas demostraron ser el punto más débil de este sistema de producción. Los cultivos de cobertura surgen como una alternativa para mitigar estos períodos improductivos, y su consecuente pérdida de propiedades físico-químicas del suelo. La magnitud de estos efectos responde fuertemente a la especie empleada como CC y a la producción de biomasa lograda, por lo que el objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento diferencial de una gramínea y una leguminosa sembrados puro o en mezcla, y sus efectos residuales a la siembra de soja. Las especies utilizadas fueron *Vicia villosa* y *Secale cereale*. En cuanto al comportamiento de los CC, *Vicia* logró la mayor intercepción de radiación, pero una menor EUR. Mezcla y Centeno no presentaron diferencias en cuanto a EUR, por lo que con una mayor RI, la Mezcla superó a los otros tratamientos en producción de biomasa. Se observaron diferencias en la dinámica del enmalezamiento durante el ciclo de crecimiento de las coberturas, al igual que durante el barbecho posterior a la finalización de las mismas. Se ajustaron modelos de regresión lineal para nitratos residuales a la siembra de soja en función de la producción de biomasa de los CC observando tendencias contrastantes entre tratamientos. La cobertura de suelo por residuos al momento de la siembra de soja presentó diferencias significativas, pero no repercutió en la implantación del cultivo.

Palabras clave: cultivos de cobertura; *Vicia villosa*; *Secale cereale*; radiación.

7. SUMMARY

The agricultural expansion that the country went through in the first decade of the XXI century showed symptoms of its unsustainability in the long term. The frequent periods of winter fallow in the agricultural rotation demonstrated being the weakest point on these production systems. Cover crops appeared as an alternative in order to mitigate these unproductive periods and its consequent loss of physical-chemical properties of the soil. The magnitude of these effects strongly responses to the species used as cover crop and the biomass production achieved, so the objective of this thesis is to evaluate the differential performance of a grass and a legume that had been sown purely or in a mix and its residual effects on the soybean sowing. The species used were *Vicia villosa* and *Secale cereale*. Regarding the behavior of the cover crops, hairy vetch obtained a higher interception of radiation but a minor efficiency in the use of it. The mix and the rye did not show differences when talking about RUE, but since the mix achieved a higher radiation intereceptance, this cover crop overcame the other treatments referring to biomass production. They were observed differences in the weeding dynamics during the growth cycle, and also during the fallow period that occurred after the end up of their cycles. Linear regression models were adjusted for residuals nitrates levels when the sowing of soybean happened in function of the biomass production obtained by each cover crop, observing contrasting trends between treatments. The ground cover by the crop residues at the moment of the soybean sowing showed significant differences, but they did not affect the implantation of the crop.

Key words: cover crops; *Vicia villosa*; *Secale cereale*; radiation.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdalla, M.; Hastings, A.; Cheng, K.; Yue, Q.; Chadwick, D.; Espenberg, M.; Truu, J.; Rees, R. M.; Smith, P. 2019. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. (en línea). *Global Change Biology*. 25: 2530 – 2543. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>.
2. Álvarez, R.; Daniel, E.; Santanatoglia, J.; Brazzola, G. M.; García, R. 1991. Descomposición de rastrojo de soja en bolsas de residuos con distinto tamaño de poro. *Turrialba*. 41(3): 279 – 284.
3. _____; Steinbach, H. S.; De Paepe, J. L. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: a meta-analysis. (en línea). *Soil and Tillage Research*. 170: 53 – 65. Consultado set. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.005>.
4. Álvarez, S.; Berriel, J. 2017. Reciclaje de nutrientes y mejora de propiedades físicas del suelo por el uso de cultivos de cobertura invernales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 49 p.
5. Andriolo, F.; Berger, P. 2019. Efectos de la especie y manejo de cultivos de servicio en el enmalezamiento invernal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 55 p.
6. Artigas, M.; García, I. 2012. Efecto del cultivo de cobertura con y sin pastoreo sobre implantación, crecimiento y rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 74 p.
7. Baigorria, T.; Cazorla, C. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. (en línea). In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (22°. , 2010, Rosario). Trabajos presentados. Rosario, INTA. s.p. Consultado set. 2021. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-eficiencia.pdf>.
8. _____; _____; Santos, D.; Pegoraro, V.; Ortiz, J. 2012. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. Informe de Actualización Técnica. no. 24: 73 – 76.
9. Bertolla, A.; Baigorria, T.; Gómez, D.; Cazorla, C.; Cagliero, M.; Lardone, A.; Bojanich, M.; Aimetta, B. 2013. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como

- cultivos de cobertura. *In*: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 138 – 147.
10. Bratschi, A.; López, F. 2012. Empleo de cultivos cobertura y su incidencia en nitratos, agua acumulada en el suelo y rendimiento de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 60 p.
 11. Bristow, K. L. 1988. The role of mulch and its architecture in modifying soil temperature. *Australian Journal of Soil Research*. 26(2): 269 – 280.
 12. Calderini, D. F.; Bredemeier, C.; Viega, L.; Hoffman, T.; Jobet, C. 2014. Manual del trigo y la cebada para el cono sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. *In*: Miralles, D. J.; González, F. G.; Abeledo, L. G.; Serrago, R. A.; Alzueta, I.; García, G. A.; de San Celedonia, R.; Lo Valvo, P. eds. Manual de trigo y cebada para el cono sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. Buenos Aires, CYTED. pp. 1 – 25.
 13. Calvo, A. 2020. Principales características del cultivo de centeno. (en línea). s.l., Agroptima. s.p. Consultado set. 2021. Disponible en <https://www.agroptima.com/es/blog/principales-caracteristicas-del-cultivo-de-centeno/#:~:text=La%20densidad%20de%20siembra%20de,densidad%20de%20siembra%20de%20centeno>.
 14. Capurro, J.; Monti, J. M.; Dickie, M. J.; González, M. C. 2010. Vicia y fertilización nitrogenada en maíz. *Para Mejorar la Producción*. no. 44: 49 – 52.
 15. _____; Dickie, M. J.; Ninfi, D.; Zazzarini, A.; Tosi, E.; González, M. C. 2012. Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz. *In*: XXIII Congreso Argentino y XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (2012, Mar del Plata). Trabajos presentados. Santa Fe, INTA. pp. 20 – 22.
 16. _____; Montico, S. 2020. Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del Curiham*. 26: 41 – 47.
 17. Carámbula, M. 2002. Pasturas y forrajes. Vol.1: Potencialidades y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. 357 p.
 18. Caviglia, O. P.; Sadras, V.; Andrade, F. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. (en línea). *Field*

- Crops Research. 87(2): 117 – 129. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>.
19. _____.; Melchiori, R. J. M.; Kemerer, A.; Van Opstal, N. V.; Gregorutti, V. C. 2007. Relaciones entre la eficiencia en el uso del nitrógeno y la radiación en maíz. Serie Extensión. no. 44: 7 – 12.
 20. _____.; Novelli, L.; Gregorutti, V.; Van Opstal, V.; Melchiori, R. 2013. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. In: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 148 – 157.
 21. Cazorla, C. R.; Cisneros, J. M.; Moreno, I. S.; Galarza, C. M. 2017. Mejora en el carbono del suelo y estabilidad de los agregados por fertilización y cultivos de cobertura. Ciencia del Suelo. 35(2): 300 – 313.
 22. Ciampitti, I. A.; García, F. O. 2007. Requerimientos nutricionales: absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: cereales, oleaginosas e industriales. Archivo Agronómico. 11: 13 – 16.
 23. Coll, L. 2012. Influencia del rastrojo del cultivo antecesor en la implantación de colza. (en línea). Paraná, INTA. Consultado oct. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-antecesores_colza.pdf.
 24. Dávila, E.; Elduayen, N. 2015. Efecto de diferentes coberturas de invierno antecesoras a la siembra de maíz en la dinámica del enmalezamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 53 p.
 25. De Agustini, C. A.; Domínguez, G. A.; Agostini, M. A.; Studdert, G. A.; Tourn, S. N. 2017. Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: efecto sobre propiedades físicas del suelo. Ciencia del Suelo. 35(2): 325 – 335.
 26. Díaz Rossello, R. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1(1): 103 – 110.
 27. Domínguez, G. F.; García, G. V.; Studdert, G. A.; Agostini, M. A.; Tourn, S. N.; Domingo, M. N. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as a soil quality/health indicator? Spanish Journal of Soil Science. 6(2): 82 – 97.

28. Duval, M. E.; Capurro, J. E.; Galantini, J. A.; Andriani, J. M. 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del Suelo*. 33(2): 247 – 261.
29. Earl, H. J.; Davis, R. F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. (en línea). *Agronomy Journal*. 95(3): 688 – 696. Consultado set. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880>.
30. Elhakeem, A.; van der Werf, W.; Bastiaans, L. 2021. Radiation interception and radiation use efficiency in mixtures of winter cover crops. (en línea). *Field Crops Research*. 264: 1 – 9. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108034>.
31. Ernst, O.; Bentancur, O.; Borges, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia (Uruguay)*. 6(1): 20 – 26.
32. _____. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 21: 1 – 9.
33. _____. 2006. Efecto de una leguminosa invernal como cultivo de cobertura sobre rendimiento en grano y respuesta a nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo. *Agrociencia (Uruguay)*. 10(1): 25 – 35.
34. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Iowa, Iowa State University. 13 p. (Special Report no. 80).
35. Ferber, C. 2016. Efecto de distintas coberturas invernales en la dinámica del enmalezamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 78 p.
36. Fernández, M. A. 2013. Estrés hídrico: sus efectos sobre el rendimiento de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), trigo fideos (*Triticum durum* Desf.) y triticale (*X. Triticosecale*, Wittmack). *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*. 23(1): 7 – 23.
37. Fernández, R.; Quiroga, A.; Noellemeyer, E.; Funaro, D.; Montoya, J.; Hitzmann, B.; Peinemann, N. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management*. 95(9): 1028 – 1040.
38. Gallego, J. J.; Barbarossa, R. A.; Neira Zilli, F.; Miñón, D. P. 2014. Verdeos de invierno: producción de forraje de cultivares de avena, cebada,

- centeno, triticale y raigrás anual en valles regados del norte patagónico. Río Negro, INTA. 28 p. (Información Técnica no. 35).
39. García Préchac, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos. Montevideo, INIA. 63 p. (Serie Técnica no. 26).
40. Gianelli, V.; Bedmar, F.; Ulzurrun, P. D. D.; Panaggio, H. 2017. Dinámica de emergencia y competencia intraespecífica en *Conyza sumatrensis*. Agrociencia (Uruguay). 21(1): 69 – 77.
41. Giménez, L. 2019. Rendimientos de maíz y soja: un desafío que provoca...: la información experimental y la producción comercial. Cangüé. no. 41: 7 – 12.
42. 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. no. 60: 71 – 74.
43. Hussain, A.; Chaudhry, M. R.; Wajid, A.; Ahmad, A.; Rafiq, M.; Ibrahim, M.; Goheer, A. R. 2004. Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. International Journal of Agriculture & Biology. 6(6): 1074 – 1079.
44. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología). 2013. Estadísticas climatológicas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2022. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>.
45. Jensen, L.; Salo, T.; Palmason, F.; Breland, T.; Henriksen, T.; Stenberg, B.; Pedersen, A.; Lundstorm, C.; Esala, M. 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. Plant and Soil. 273(1-2): 307 – 326.
46. Johnson, J. M.; Barbour, N. W.; Weyers, S. L. 2007. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. Soil Science Society of America Journal. 71(1): 155 – 162.
47. Lanyasunya, T.; Wang, H.; Kariuki, S.; Kuria, D.; Chek, A.; Mukisira, E. 2007. Effect of maturity on the mineral content of hairy vetch (*Vicia villosa*). Tropical and Subtropical Agroecosystems. 7(1): 53 – 58.
48. Lu, Y. C.; Watkins, K. B.; Teasdale, J. R.; Abdul-Bak, A. A. 2000. Cover crop in sustainable food production. Food Reviews International. 16(2): 121 – 157.
49. Lussich, F. 2020. Variabilidad de la fijación biológica de nitrógeno de leguminosas forrajeras en Uruguay: posibles causas y consecuencias

- nutricionales. Tesis Mag. en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 109 p.
50. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:1.000.000. Color. Consultado may. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/carta-reconocimiento-suelos-del-uruguay-escala-11000000>
51. Marino, M. A.; Agnusdei, M. 2007. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* Scrheb. (sudeste bonaerense, Argentina): crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado oct. 2021. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/33-Marino-Festuca_alta.pdf.
52. Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 8(1): 68 – 96.
53. Míguez, F. E.; Bollero, G. A. 2006. Winter cover crops in Illinois: evaluation of ecophysiological characteristics of corn. *Crop Science*. 46(4): 1536 – 1545.
54. Miranda, W.; Giron, P.; Barraco, M. 2016. Densidad de siembra de *Vicia villosa* roth. como cultivo de cobertura en el noroeste bonaerense. In: INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). Memoria técnica 2015-2016. Buenos Aires, INTA. pp. 11 – 14.
55. Mischler, R.; Duiker, S. W.; Curran, W. S.; Wilson, D. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. (en línea). *Agronomy Journal*. 102(1): 355 – 362. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0183>.
56. NASA (National Aeronautics and Space Administration, US). 2021. The POWER Project. (en línea). Estados Unidos. s.p. Consultado dic. 2021. Disponible en <https://power.larc.nasa.gov>.
57. Novelli, L. E.; Caviglia, O. P.; Melchiori, R. J. M. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. (en línea). *Geoderma*. 167-168: 254 – 260. Consultado set. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.015>.

58. Ormeño, J. 1999. Manejo y control de malezas con plantas alelopáticas: centeno. In: Céspedes, C.; Carvajal, P. eds. Agricultura orgánica. La Platina, INIA. pp. 121 – 137.
59. Pécora, J. I.; Testa, M. E. 2018. Cultivos de cobertura de vicia y centeno como antecesores de maíz de fecha de siembra tardía: efecto de la fecha de quemado sobre producción de biomasa, relación C/N y eficiencia del uso del agua. Tesis Ing. Agr. La Pampa, Argentina. Universidad de La Pampa. Facultad de Agronomía. 39 p.
60. Perdomo, C.; Hoffman, E. 2011. Manejo del nitrógeno en cereales de invierno, en un escenario de cambios del sistema agrícola uruguayo. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (2º., 2011, Paysandú). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 45 – 60.
61. Picapietra, G.; Acciaresi, H. 2018. Emergencia anual de malezas en distintos sistemas de cultivos en labranza cero. Revista de Tecnología Agropecuaria. 10(36): 43 – 47.
62. Qin, Z.; Guan, K.; Zhou, W.; Peng, B.; Villamil, M. B.; Jin, Z.; Tang, J.; Grant, R.; Gentry, L.; Margenot, A. J.; Bollero, G.; Li, Z. 2021. Assessing the impacts of cover crops on maize and soybean yield in the US Midwestern agroecosystems. Field Crops Research. 273: 1 – 12.
63. Renzi, J. P.; Cantamutto, M. A. 2013. Vicias: bases agronómicas para el manejo en la región pampeana. Buenos Aires, INTA. 300 p.
64. _____. 2020. Caracterización agroecológica de poblaciones naturales de *Vicia villosa* Roth (Fabaceae) de Argentina. Tesis Dr. en Agronomía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur. 152 p.
65. Restovich, S.; Andriulo, A. 2013. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano. In: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 29 – 35.
66. Rillo, S.; Álvarez, C.; Quiroga, A.; Noellemeyer, E.; Diaz Zorita, M.; Frasier, I. 2018. Cambios en los contenidos de carbono e infiltración por la inclusión de cultivos de cobertura. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (27º., 2018, Tucumán). Trabajos presentados. Tucumán, INTA. pp. 1303 – 1308.

67. Ríos, A.; Fernández, G.; Collares, L. 2005. Estudio de las comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. *In*: Seminario Iberoamericano de Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia). Trabajos presentados. Colonia, INIA. pp. 129 – 141.
68. 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 cultivo de cobertura en secuencias basadas en soja. *In*: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 88 – 91.
69. Sánchez, S.; Studdert, G.; Echeverría, H. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo*. 16(1): 1 – 6.
70. Sawchik, J. 2004. La intensificación agrícola y el manejo del agua en los sistemas. *In*: Simposio Sustentabilidad de la Intensificación Agrícola en el Uruguay (2004, Mercedes). Resúmenes. Montevideo, INIA. pp. 11 – 17.
71. Servera, M.; Zamora, C.; Quiroga, A.; Frigerio, F.; Aymar, D.; Abascal, S. 2016. Efecto del momento de quemado de centeno utilizado como cultivo de cobertura sobre propiedades edáficas, malezas y rendimiento de maíz. *Semiárida*. 26(1): 11 – 18.
72. Sinclair, T. R.; Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. (en línea). *Crop Science*. 29(1): 90 – 98. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900010023x>.
73. _____; Muchow, R. C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*. 65: 215 – 265.
74. Siri Prieto, G.; Ernst, O. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿Hacia dónde va el sistema? *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 111 – 123.
75. _____; _____. 2011. Raigrás como cultivo de cobertura: efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. *Cangüé*. no. 31: 18 – 27.

76. Smith, M. S.; Frye, W. W.; Varco, J. J. 1987. Legume winter cover crops. (en línea). *Advances in Soil Science*. 7: 95 – 139. Consultado oct. 2021. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4790-6_3.
77. Steven, M. D.; Biscoe, P. V.; Jaggard, K. W.; Paruntu, J. 1986. Foliage cover and radiation interception. (en línea). *Field Crops Research*. 13: 75 – 87. Consultado oct. 2021. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90012-2).
78. Teasdale, J. R.; Brandsaeter, L. O.; Calegari, A.; Skora Neto, F. 2007. Cover crops and weed management. *In*: Upadhyaya, M. K.; Blackshaw, R. E. eds. *Nonchemical weed management*. Oxfordshire, s.e. pp. 49 – 64.
79. Vanzolini, J. I.; Galantini, J.; Agamennoni, R.; Martínez, J. M.; Reinoso, O. 2010a. Efectos del momento de secado de un cultivo de cobertura de *Vicia villosa* Roth. sobre su acumulación de biomasa y su contenido de N. *In*: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (20°, 2010, Salta). Trabajos presentados. Buenos Aires, INTA. pp. 5 – 6.
80. _____; Renzi, J. P.; Martínez, J. M.; Reinoso, O. 2010b. Efecto de la fecha de siembra sobre la producción de materia seca y la acumulación de N en *Vicia villosa* Roth. como cultivo de cobertura. *In*: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (20°, 2010, Salta). Trabajos presentados. Buenos Aires, INTA. pp. 1 – 5.
81. _____. 2011. La *Vicia villosa* como cultivo de cobertura: efectos de corto plazo sobre el suelo y la productividad del maíz bajo riego en el valle bonaerense del Río Colorado. Tesis Mag. en Ciencias Agrarias. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional del Sur. 134 p.
82. Varela, M. F.; Scianca, C.; Taboada, M. A.; Rubio, G. 2012. Cultivos de cobertura: descomposición de residuos y ciclado de fósforo. *In*: XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo (2012, Mar del Plata). Trabajos presentados. Mar del Plata, INTA. pp. 72 – 76.
83. Vega, C. R.; Andrade, F. H. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. *In*: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Balcarce, INTA. pp. 97 – 126.
84. Williams, M. M.; Mortensen, D. A.; Doran, J. W. 1998. Assessment of weed and crop fitness in cover crop residues for integrated weed management. *Weed Science*. 46(5): 595 – 603.