

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**USO DE CULTIVO DE COBERTURA Y LABOREO REDUCIDO SIN
UTILIZACIÓN DE AGROQUÍMICOS EN HORTICULTURA:
EVALUACIÓN DEL GRADO DE ENMALEZAMIENTO Y
DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN TRES CULTIVOS DE
CEBOLLA**

por

Rodrigo ARANA RUIZ

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (PhD) Mariana Scarlato García

Ing. Agr. (PhD) Florencia Alliaume Molfino

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Ing. Agr. (MSc.) Juan Carlos Gilsanz

Ing. Agr. (Dra.) Florencia Alliaume

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Scarlato

Fecha:

13 de mayo de 2024

Estudiante:

Rodrigo Arana Ruiz

AGRADECIMIENTOS

A mis viejos, por su invaluable entrega, apoyo y dedicación durante toda mi vida.

A mis amigos, que son familia.

A las tutoras Mariana Scarlato y Florencia Alliaume, por contribuir con mi formación y por hacer posible este trabajo.

A las/los compas de la Asociación de estudiantes de Agronomía, por compartir un espacio esencial de formación y crecimiento.

A la Universidad de la República y a la Facultad de Agronomía por la educación pública de calidad.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE FIGURAS Y TABLAS	6
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Objetivo general	12
1.2. Objetivos específicos	12
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Estado del recurso suelo en sistemas hortícolas nacionales y estrategias para mejorar su calidad como pilar para la agricultura sostenible	13
2.2. Laboreo reducido en horticultura	14
2.3. Efecto de laboreo reducido sobre la dinámica de nitrógeno	15
2.4. Efecto del laboreo reducido sobre malezas	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Sitios experimentales	19
3.2 Caracterización de los suelos	20
3.3 Tratamientos y diseño experimental.....	21
3.4 Manejo del área experimental	22
3.4.1 Instalación del cultivo de cobertura y manejo general del suelo.....	22
3.4.2 Instalación del cultivo	25
3.4.3 Manejo de fertilización y malezas.	25
3.5 Mediciones realizadas.....	27
3.5.1 Biomasa y contenido de N y C del cultivo de cobertura	27
3.5.2 Nitrógeno mineral en el suelo	27
3.5.3 Biomasa y N-foliar de las plantas de cebolla	27
3.5.4 Evaluación del enmalezamiento del cultivo de cobertura y del cultivo de cebolla.....	28
3.5.5 Evaluación de cobertura del suelo	28
3.6 Análisis estadístico	29
4. RESULTADOS.....	31
4.1 Cantidad y calidad de biomasa del cultivo de cobertura.....	31
4.2 Cobertura del Suelo	32
4.3 Cobertura y Biomasa de malezas.....	34
4.4 Nitrógeno mineral en el suelo	36

4.5	Crecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla	38
4.5.1	Biomasa del cultivo de cebolla	38
4.5.2	Concentración de nitrógeno foliar.....	39
5.	DISCUSIÓN.....	40
6.	CONCLUSIONES.....	44
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
8.	ANEXOS.....	52

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura N°.	Página
Figura 1 <i>Ubicación de los tres sitios de estudio</i>	19
Figura 2 <i>Croquis de los ensayos y distribución de los tratamientos en los tres sitios</i>	22
Figura 3 <i>Uso del abresurco de tres discos en las parcelas LR en el Sitio 1.....</i>	24
Figura 4 <i>Aspecto de los canteros 30 días después del trasplante (LC izquierda, LR derecha) en el CRS.....</i>	25
Figura 5 <i>Uso del rugosímetro durante la segunda evaluación (60 días post-siembra) del cultivo de cobertura en el Sitio 2.....</i>	29
Figura 6 <i>Aspecto de los cultivos de cobertura sobre el final de su ciclo.....</i>	32
Figura 7 <i>Porcentaje de suelo desnudo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2</i>	33
Figura 8 <i>Porcentaje del cantero cubierto por los restos del cultivo de cobertura en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2.....</i>	34
Figura 9 <i>Biomasa de malezas durante el ciclo del cultivo de cebolla según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2.....</i>	35
Figura 10 <i>Contenido de nitrógeno mineral (NH₄ + NO₃) en el suelo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2.....</i>	37
Figura 11 <i>Biomasa de la planta de cebolla durante el ciclo del cultivo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2.....</i>	38
Figura 12 <i>Concentración de nitrógeno foliar en las plantas de cebolla durante el ciclo del cultivo según tratamiento, en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2</i>	39
Tabla N°.	Página
Tabla 1 <i>Características generales del CRS y los predios comerciales</i>	20
Tabla 2 <i>Propiedades físico-químicas de los suelos (0-20 cm) de los tres sitios al momento de la instalación del cultivo de cobertura (marzo).....</i>	21
Tabla 3 <i>Manejos de suelo realizados para instalar el cultivo de cebolla</i>	24

Tabla 4 <i>Estimación del aporte de N disponible para el cultivo por enmiendas y por el suelo</i>	26
Tabla 5 <i>Biomasa acumulada, composición y estado fenológico del cultivo de cobertura al final del ciclo</i>	31
Tabla 6 <i>Frecuencia relativa de las tres especies de malezas más abundantes en cada sitio durante todo el período de evaluación</i>	36

RESUMEN

Los suelos en los que tradicionalmente se realiza producción hortícola en nuestro país han sufrido procesos de erosión y degradación. La alta frecuencia de laboreo y baja cobertura del suelo, el bajo aporte de materia orgánica al suelo, problemas de sistematización y el uso excesivo de agroquímicos, explican en gran medida la aceleración de estos procesos. La sostenibilidad de los sistemas productivos depende del desarrollo y aplicación de técnicas y/o tecnologías que tiendan a revertir el deterioro del recurso. El uso de cultivos de cobertura y laboreo reducido (CC-LR) puede promover la salud y funcionalidad del suelo, pero su aplicabilidad en sistemas que buscan reducir el uso de agroquímicos es desafiante. El objetivo general de este trabajo es contribuir a la generación de conocimiento que permitan viabilizar el uso de la tecnología de CC-LR sin la utilización de agroquímicos en sistemas hortícolas. Para ello se compararon dos prácticas de laboreo para la preparación del suelo previo al trasplante de la cebolla: laboreo convencional (LC) y laboreo reducido (LR) en tres sitios. Las variables analizadas fueron: cantidad y calidad de biomasa del cultivo de cobertura, cobertura y biomasa de malezas, nitrógeno mineral del suelo (NMS), biomasa del cultivo de cebolla, concentración de nitrógeno foliar (NF) y cobertura del suelo. La producción de biomasa aérea de los CC estuvo entre 3,9 y 7,1 Mg MS ha⁻¹, en LR hubo mayor biomasa y cobertura de malezas, menor contenido de NMS y NF, menor crecimiento de las plantas de cebolla, y mayor cobertura del suelo que en LC. Los resultados alcanzados demuestran la posibilidad de implementar la tecnología CC-LR sin la aplicación de agroquímicos en cultivos hortícolas, sin embargo, la disponibilidad de nitrógeno y el aumento en la presión de malezas cuando el suelo no es laboreado son limitantes para su aplicación y es necesario realizar futuras investigaciones orientadas a levantarlas.

Palabras clave: laboreo reducido, cultivo de cobertura, disponibilidad de nitrógeno, presión de malezas, calidad de suelo, producción sostenible

SUMMARY

The soils traditionally used for horticultural production in our country have undergone erosion and degradation processes. The high frequency of tillage and low soil cover, low organic matter input to the soil, problems with systematization and excessive use of agrochemicals largely explain the acceleration of these processes. The sustainability of productive systems depends on the development and application of techniques and/or technologies that aim to reverse the deterioration. The use of cover crops and reduced tillage (CC-RT) can promote soil health and functionality, but its applicability in systems aiming to reduce the use of agrochemicals is challenging. The general objective of this work is to contribute to the generation of knowledge that allows for the feasibility of using CC-RT technology without the use of agrochemicals in vegetable systems. For this purpose, two tillage practices were compared for soil preparation prior to onion transplantation: conventional tillage (CT) and reduced tillage (RT) at three sites. The variables analyzed included: quantity and quality of cover crop biomass, weed biomass and soil cover, soil mineral nitrogen (SMN), onion crop biomass, foliar nitrogen concentration (FN), and soil coverage. The aboveground biomass production of cover crops ranged from 3.9 to 7.1 Mg dry matter ha⁻¹, with higher biomass and weed coverage in RT, lower SMN and FN content, reduced growth of onion plants, and greater soil coverage compared to CT. The results demonstrate the possibility of implementing RT without the use of agrochemicals. However, nitrogen availability and increased weed pressure in reduced tilled soil are limitations for its application, requiring further research to address these constraints.

Keywords: reduced tillage, cover crop, nitrogen availability, weed pressure, soil quality, sustainable production

1. INTRODUCCIÓN

La horticultura en Uruguay es desarrollada mayoritariamente por productores/as familiares en la zona sur del país. Según Ackermann y Díaz (2016), el 85% de los predios que tienen como principal ingreso la producción de hortalizas son de tipo familiar y el 80% se ubican en los departamentos de Montevideo y Canelones. En las últimas tres décadas ha ocurrido un proceso de especialización e intensificación productiva promovido por retornos económicos cada vez menores. Entre el año 1990 y el 2000 el 20% de los productores especializados abandonaron el rubro y durante la siguiente década lo hicieron un 50%. Actualmente hay unos 2500 productores/as de hortalizas cultivando 14.000 ha (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2020). Los/as productores/as que continuaron en la actividad aumentaron su volumen de producción para mantener los ingresos y disminuyeron el número de especies cultivadas, el incremento en los rendimientos se dio a partir del aumento en el uso de insumos externos, variedades más productivas y riego (Dogliotti et al., 2014). Este cambio en la matriz productiva de algunos cultivos genera también cambios socioeconómicos e incrementa la presión sobre los recursos naturales comprometiendo su mantenimiento.

Los suelos en los que tradicionalmente se realiza producción hortícola en nuestro país han sufrido y sufren procesos de erosión hídrica y pérdida de materia orgánica, acelerados por el manejo del suelo y del sistema productivo. La larga historia de producción, la baja incorporación de enmiendas orgánicas, la alta intensidad y frecuencia de laboreo mecánico, y la baja cobertura del suelo por largos periodos son las principales causas de estos procesos de pérdida de calidad edáfica (Alliaume et al., 2013; García de Souza et al., 2011).

Investigadores de la Facultad de Agronomía y del Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias han demostrado que existen prácticas agronómicas que permiten mitigar los procesos de erosión y degradación del suelo en sistemas de producción hortícola de nuestro país. Entre ellas, se resalta: la inclusión de abonos verdes y enmiendas orgánicas, la correcta sistematización de las chacras, las rotaciones de cultivos y la inclusión de pasturas. Sin embargo, en situaciones productivas donde no es posible incluir praderas en la rotación o en suelos que ya tienen un alto porcentaje de materia orgánica, la inclusión de estas prácticas no es

suficiente para lograr mantener altos niveles de materia orgánica en el suelo y reducir la erosión hídrica a niveles aceptables (Alliaume et al., 2013; García de Souza et al., 2011; Gilsanz et al., 2004).

En este contexto, las prácticas de manejo que tiendan a disminuir el laboreo y mantener alta cobertura del suelo, como es el uso de cultivos de cobertura y laboreo reducido (CC-LR), permitirían reducir significativamente la erosión y degradación del recurso. El uso de la tecnología de CC-LR ha demostrado que permite generar un incremento en el contenido de carbono orgánico, un aumento en el ciclaje de nutrientes, una reducción en las pérdidas de nitrógeno, un incremento en la retención de agua, una disminución en las emisiones de CO₂ y un incremento en la actividad biológica del suelo y en el control natural de plagas (Peigné et al., 2007; Tørresen & Skuterud, 2002; Zhang et al., 2020).

El cultivo de cebolla es uno de los principales cultivos hortícolas a nivel nacional, ocupando 1200 ha e involucrando aproximadamente a 800 predios (DIEA, 2017). Las características fisiológicas y estructurales de la planta de cebolla, y el manejo que normalmente se realiza para instalar y mantener el cultivo, generan una baja cobertura del suelo acelerando los procesos de erosión y degradación y la proliferación de malezas. Los suelos degradados tienen menos capacidad de suministrar nitrógeno y dependen en mayor medida de la aplicación de fertilizantes sintéticos, aumentando el riesgo ambiental de la actividad. Además, la proliferación y establecimiento de malezas provocan un aumento del uso de herbicidas y en la demanda de mano de obra para su control. Esta última es una de las causas principales que compromete la viabilidad de un cultivo de gran importancia social y económica de muchos sistemas de producción hortícola.

La tecnología de CC-LR en el cultivo de cebolla permitiría reducir significativamente el riesgo de erosión de suelo y reducir la presión de malezas. Sin embargo, en la práctica, el efecto supresor del mulch y el consiguiente manejo efectivo de las malezas, y la frecuente disminución de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo comercial posterior al CC debido a la inmovilización microbiana, suelen limitar la implementación de esta tecnología en condiciones de producción. Por otro lado, la mayoría de las investigaciones realizadas sobre el uso de la tecnología se ha hecho con la utilización de herbicidas para finalizar el

ciclo del CC y manejar las plantas espontaneas y con la utilización de fertilizantes sintéticos para aumentar la disponibilidad de nitrógeno. En este sentido, el uso de la tecnología de CC-LR es particularmente desafiante en sistemas en los que no se utilizan herbicidas ni fertilizantes sintéticos.

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la tesis es contribuir a la generación de conocimiento que permita viabilizar el uso de la tecnología de CC-LR sin la utilización de agroquímicos en horticultura como herramienta que contribuye a desarrollar sistemas de producción más sostenibles.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de la tesis son:

Evaluar el efecto de la tecnología de LR respecto a la labranza convencional (LC) sobre el grado de enmalezamiento en tres cultivos de cebolla realizados luego de un CC mezcla de gramínea y leguminosa de verano sin uso de fertilizantes sintéticos y herbicidas.

Evaluar el efecto de la tecnología de LR respecto a la LC sobre el contenido de nitrógeno mineral del suelo en tres cultivos de cebolla realizados luego de un CC mezcla de gramínea y leguminosa de verano sin uso de fertilizantes sintéticos y herbicidas.

Evaluar el efecto de la tecnología de LR respecto a la LC sobre el crecimiento y desarrollo, y rendimiento, de los tres cultivos de cebolla realizados luego de un CC mezcla de gramínea y leguminosa de verano sin uso de fertilizantes sintéticos y herbicidas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ESTADO DEL RECURSO SUELO EN SISTEMAS HORTÍCOLAS NACIONALES Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR SU CALIDAD COMO PILAR PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

La degradación y erosión del suelo y la pérdida de las funciones ecosistémicas del recurso han sido identificadas como algunas de las mayores limitantes para mantener los niveles de producción en los sistemas que realizan un uso intensivo del recurso y por lo tanto comprometen su sustentabilidad (Alliaume et al., 2013; Dogliotti et al., 2012). Este deterioro se debe principalmente a una larga historia de producción, primero agrícola y luego hortícola, con alta intensidad de uso y laboreo del suelo, bajos aportes de materia orgánica, baja cobertura del suelo a lo largo del año, problemas graves de sistematización, y más recientemente en la historia, un alto uso de agroquímicos (Alliaume et al., 2013; Dogliotti et al., 2012; Dogliotti et al., 2014; García de Souza et al., 2011; Scarlato et al., 2022).

En un relevamiento del estado del suelo realizado en 61 cuadros de cultivo de 16 predios hortícolas y hortícola-ganaderos del sur del Uruguay, Dogliotti et al. (2012) demostraron que solamente tres cuadros de cultivos tenían un contenido de carbono mineralizable cercano al nivel original esperable para esos suelos. En nueve cuadros el contenido de carbono estaba entre el 33 y 50% del contenido original de carbono mineralizable original, y los restantes 49 tenían un contenido menor a 33% del carbono original. La degradación de los suelos de estos 16 predios, se evidenció también al constatar una reducción promedio de 36% del carbono orgánico del suelo (COS), 19% del potasio intercambiable, 2,3 mm de capacidad de retención de agua disponible, así como la pérdida de estabilidad de los agregados de los primeros 20 cm del suelo, y un incremento en promedio de 5 veces la concentración de P (Alliaume et al., 2013). Diversos trabajos posteriores, generaron evidencias que reflejan resultados similares sobre el elevado grado de degradación de los suelos en los sistemas hortícolas del sur del Uruguay (García de Souza et al., 2013; Dogliotti et al., 2021).

Mantener la salud de los suelos es fundamental para desarrollar una agricultura sostenible en la medida que los suelos sanos tienen mayor capacidad de resiliencia frente repetidas perturbaciones (Kraamwinkel et al., 2021). En sistemas de producción orgánicos, agroecológicos o en transición, el mantenimiento de la salud del suelo debe ser un principio fundamental para el diseño y manejo de los sistemas productivos (Wezel et al., 2020). Además, el fomento de la actividad biológica se asocia a un aumento en la fertilidad del suelo, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que mejoran los procesos de ciclaje de nutrientes y minimizan los desequilibrios de plagas y enfermedades (Altieri & Nicholls, 2007). En este sentido, el aporte de materia orgánica, por ejemplo mediante el uso de enmiendas, la realización de abonos verdes, y la reducción de las pérdidas de materia orgánica mediante la reducción de la frecuencia e intensidad de laboreo, son principios esenciales. Paradójicamente, en los sistemas orgánicos y agroecológicos, la estrategia principal para el control de malezas es el laboreo, práctica que aumenta la tasa de mineralización de la materia orgánica, la perturbación de los perfiles del suelo, y el riesgo de erosión de los suelos (Rühlemann & Schmidtke, 2015).

2.2. LABOREO REDUCIDO EN HORTICULTURA

El laboreo reducido, conservacionista, o mínimo laboreo, es aquel que mantiene una cobertura por residuos mayor o igual al 30% de la superficie del suelo al momento de la instalación del cultivo (Allmaras et al., 1991). Trabajos anteriores relacionados al uso de LR coinciden en aspectos positivos vinculados al uso de esta tecnología en diferentes sistemas de producción vegetal. En ellos se señalan como ventajas: la disminución de la erosión del suelo, mejora en la estructura y macroporosidad del suelo, mayor actividad microbiana, aumento en el almacenaje de carbono, menor escurrimiento, mayor infiltración y almacenamiento de agua (Alliaume et al., 2014; Arboleya et al., 2012), la menor pérdida de nutrientes, menor lixiviación de N y reducción en el uso de combustibles (Peigné et al., 2007; Tørresen & Skuterud, 2002), y la promoción de la actividad de lombrices (Zhang et al., 2020). Por lo tanto, la utilización de esta tecnología permitiría promover la salud y funcionalidad del suelo, aspectos claves para desarrollar estrategias de transición agroecológica y sistemas productivos

sostenibles. En particular, esta tecnología permitiría alcanzar rotaciones con balances de materia orgánica positivos y reducir los niveles de erosión a niveles aceptables en la mayoría de los sistemas hortícolas del sur del Uruguay (Alliaume et al., 2013; García de Souza et al., 2011).

En la zona hortícola del Uruguay, dados los suelos dominantes, de textura fina o media fina y con presencia de un horizonte arcilloso superficial, investigaciones locales concluyeron que el uso de la tecnología de LR en rotación con utilización de laboreos convencionales anuales es una alternativa aplicable en los sistemas de producción (Alliaume et al., 2012; Gilsanz et al., 2004). La tecnología permite realizar un solo laboreo de suelos al año, luego del cual se instala un cultivo de cobertura (CC) sobre los canteros o camellones. Al finalizar el ciclo del CC, se instalan los cultivos hortícolas sobre la “cobertura” generada por los restos muertos del CC (Alliaume et al., 2012; Gilsanz et al., 2004).

A pesar de los beneficios señalados y de la creciente investigación nacional e internacional en la temática, se identifican algunas limitantes para llevar adelante la tecnología de LR en condiciones reales de producción. Particularmente en sistemas orgánicos o que buscan reducir el uso de agroquímicos. Algunas limitantes que se destacan son, la dificultad para el manejo del fin del ciclo del CC y el control de las malezas, la restricción en la disponibilidad del nitrógeno debido al proceso de inmovilización microbiana y la consecuente merma en los rendimientos de los cultivos, la mayor dificultad para instalar algunos cultivos debido a la condición de suelo con cobertura vegetal y que se requieren suelos que puedan “soportar” una buena estructura y funcionalidad sin ser laboreados (Kruidhof et al., 2009; Peigné et al., 2007; Salonen & Ketoja, 2020; Zhang et al., 2020).

2.3. EFECTO DE LABOREO REDUCIDO SOBRE LA DINÁMICA DE NITRÓGENO

El 98% del nitrógeno del suelo se encuentra en formas orgánicas como constituyente principal de aminoácidos, proteínas, enzimas y otras estructuras químicas complejas; el restante 2% se encuentra en formas inorgánicas principalmente como nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), son estas

formas las disponibles para la absorción de las plantas (Martins et al., 2014; Tisdale et al., 1985). La dinámica del N y los procesos de mineralización/inmovilización, que generan un aumento o disminución de la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, están regulados principalmente por procesos biológicos que son fuertemente afectados por el manejo del suelo (Hodge et al., 2000; Mooshammer et al., 2014; Tisdale et al., 1985).

El laboreo convencional del suelo incrementa la aireación e incorpora y distribuye los restos orgánicos de la superficie, lo cual genera condiciones favorables para la descomposición y mineralización microbiana de la materia orgánica (Tisdale et al., 1985). Asociado a este proceso se produce una mayor liberación de N, que queda disponible para los cultivos (Peigné et al., 2007). En sistemas con LR, la dinámica de descomposición de restos vegetales en superficie enlentece el proceso de descomposición de la materia orgánica, lo cual limita la disponibilidad del nutriente para las plantas (Peigné et al., 2007).

Investigaciones nacionales, evidencian que los resultados productivos de los cultivos hortícolas manejados bajo LR no son consistentes. Alliaume et al. (2014) reportan que los tratamientos de LR provocaron una disminución del rendimiento del cultivo de tomate, asociado a un menor contenido de nitrógeno en etapas tempranas del cultivo (34 y 49 días post-trasplante) en comparación con LC. Esto fue asociado a la inmovilización de nitrógeno provocada por los restos ricos en C de la avena en superficie. Por otro lado, Arboleya et al. (2012) señalan que no existen diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en suelo ni en rendimiento de cultivos de cebolla, repollo, zanahoria, boniato y kabutía, comparando sistemas de LC y LR por 5 años.

La velocidad en el proceso de mineralización y la consecuente disponibilidad de nitrógeno para los cultivos, además de depender del manejo del suelo depende de la calidad de los restos, entre las cuales se señala la relación C/N. La relación C/N está determinada por la/s especie/s utilizada/s y el momento de terminación del CC (asociado a la edad fisiológica). Si el resto es rico en C (relación C/N superior a 30) se genera una fuerte inmovilización del nitrógeno provocando un desequilibrio en el balance mineralización/inmovilización sobre el suelo, dejando menos nitrógeno disponible para el cultivo (Amado et al., 2002; Martins et al., 2014), mientras que si el resto es rico en nitrógeno (relación C/N

inferior a 20) se genera un desequilibrio hacia la mineralización lo cual incrementa el nitrógeno mineral disponible para los cultivos (Geisseler et al., 2022; Hodge et al., 2000; Mooshammer et al., 2014). En concordancia con esto, Campiglia et al. (2010), comparando abonos verdes puros y mezclas (gramíneas y leguminosas) previo al cultivo de tomate en Viterbo (Italia), encontraron diferencias en el desarrollo del cultivo de tomate y en la respuesta a la fertilización nitrogenada según las especies de abono verde. Las leguminosas pueden fijar el N atmosférico, tienen menor relación C/N y sus tejidos son fácilmente descompuestos, esta descomposición deja más nitrógeno disponible que cuando los restos son de gramíneas (Vollmer et al., 2010).

2.4. EFECTO DEL LABOREO REDUCIDO SOBRE MALEZAS

El laboreo influye sobre las poblaciones de malezas, principalmente a través del daño mecánico a las plantas, el cambio en la distribución vertical de las semillas, en la dormancia y en la germinación (Peigné et al., 2007). Algunos trabajos demostraron que el LR tuvo un impacto supresor en la incidencia de malezas en diferentes sistemas de producción. Este efecto pudo ser adjudicado a un “efecto físico” que afecta la transmisibilidad de la luz hacia el suelo, a la fluctuación diaria de la temperatura, a un efecto químico de alelopatía generado por el CC en descomposición y a la inmovilización de nitrógeno que ocurre cuando el residuo es dejado en cobertura por el efecto que genera sobre la disponibilidad del nutriente (Campiglia et al., 2010; Liebman et al., 2001; Teasdale & Mohler, 2000).

Al comparar la incidencia de malezas en el cultivo de tomate con LR dejando un mulch orgánico de 8 cm de espesor con laboreo convencional, Campiglia et al. (2010) encontraron una disminución del 80% en la densidad de malezas y un 35% en la producción aérea de materia seca de las mismas. Weber et al. (2017) concluyeron que el uso de CC de centeno y cebada en combinación con LR disminuyó en un 79% la densidad de malezas en un cultivo orgánico de soja en Europa Central. En Uruguay, Arboleya et al. (2012) encontraron que las poblaciones de malezas en cultivo de zapallo y zanahoria con un CC predecesor dejado como mulch orgánico fueron entre 20 y 40% inferior en comparación con el LC. Sin embargo, Teasdale y Mohler (2000) señalan que el efecto supresor no

es siempre suficiente, y que es necesaria una producción de 8 t ha^{-1} de biomasa del CC y un ancho de cobertura muerta de 10 cm para lograr un efecto supresor de malezas. Este efecto es mayor en especies de malezas anuales que en perennes por el efecto inhibitorio de la germinación de semillas (Carr et al., 2013).

En los sistemas de producción donde no se utilizan herbicidas, el laboreo del suelo es una práctica crucial para el control de las malezas y cuando estas prácticas se reducen, generalmente aumenta la presión de malezas (Carr et al., 2013; Casagrande et al., 2016). Por lo cual, es necesario remplazar paulatinamente el laboreo por otras técnicas para el control de malezas y evitar la degradación del suelo (Peigné et al., 2007). Rühlemann y Schmidtke (2015) señalan que la aplicación de LR es viable si la presión de malezas es baja en sistemas extensivos.

Finalmente, la persistencia de los CC como material muerto sobre el suelo está relacionada a las características fisiológicas y anatómicas de las especies utilizadas. Los restos de las gramíneas demoran más en descomponerse que los de leguminosas generando un efecto físico supresor de malezas más efectivo y durable en el tiempo, mientras que las especies pertenecientes a la familia de leguminosas dejan un residuo con mayor proporción de nitrógeno en sus tejidos, siendo más fácilmente descompuestos por los microorganismos generando un menor efecto físico de supresión de malezas (Vollmer et al., 2010). En este sentido existe potencialmente un compromiso entre la disponibilidad de N y la capacidad de supresión de malezas asociado a la velocidad de descomposición del residuo.

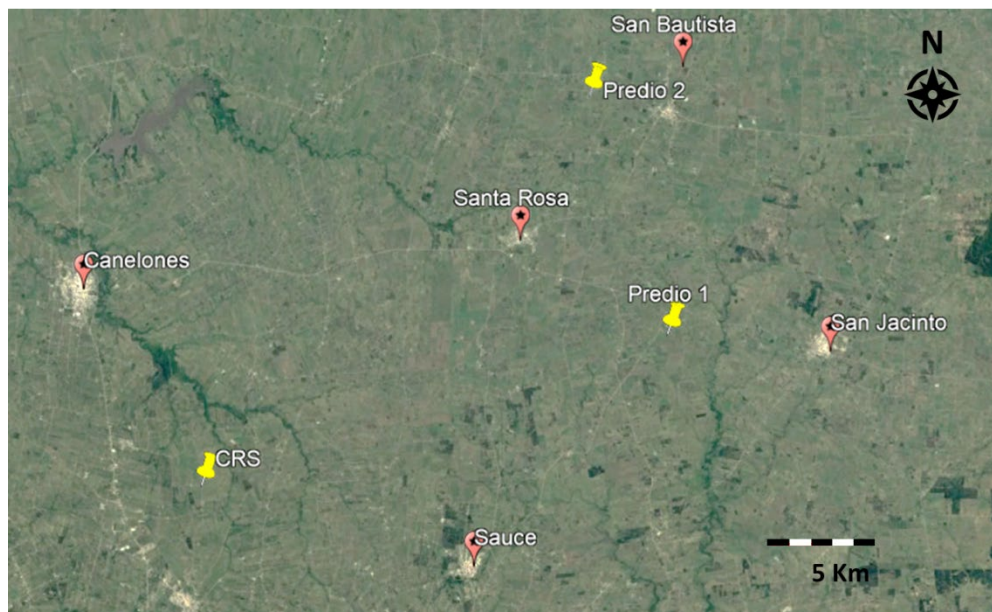
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SITIOS EXPERIMENTALES

Los ensayos se realizaron en tres sitios en el departamento de Canelones durante el año 2020. Uno de los ensayos fue instalado en Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía (CRS), en Progreso. Los otros dos sitios correspondieron a predios comerciales ubicados en la zona del Santoral (Fig. 1). En el Sitio 1 se realiza manejo convencional y en el Sitio 2 se realiza manejo orgánico o agroecológico desde hace más de 10 años. Los sitios difieren en su disponibilidad de recursos y manejo, pero en los tres casos el cultivo de cebolla es un cultivo principal y en el cual se tiene más de 10 años de trayectoria de trabajo (Tabla 1), se utilizan variedades similares del cultivo, y se tiene similar tipo de suelo (ver sección 5.2).

Figura 1

Ubicación de los tres sitios de estudio



Nota. Adaptado de Google (2023).

Tabla 1*Características generales del CRS y los predios comerciales*

	CRS	Sitio 1	Sitio 2
Área total (ha)	10 (unidad de horticultura)	20	10
Área hortícola (ha/año)	7	10	3
Área de cultivos hortícolas	3 (entre 2.5 y 4)	6	3
Área Cebolla (ha)	1,5	1,5	1
Relevancia del cultivo de cebolla	Principal	Principal	Principal
Años produciendo cebolla	>20	>40	>40
Otros cultivos principales	Variable (papa, maíz, zapallo)	Boniato	Boniato, zapallo, papa
Cultivos secundarios		Cebolla de verdeo, maíz, zanahoria, remolacha, puerro	Espárrago
Tipo de manejo	Parte del área con manejo convencional, parte del área con manejo orgánico	Convencional - manejo integrado desde mediados de los '90	Orgánico agroecológico desde el año 2012
Uso anterior del cuadro donde se realizó el ensayo	Avena- 2 de años vegetación espontanea- cebolla	Avena-boniato-avena	Zapallo-avena-vegetación espontanea

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos de los tres sitios corresponden a la unidad de suelos Complejo Indiferenciado Canelones; Pantanoso; Tala según la información de suelos disponible en el mapa digital de la carta de suelos de Canelones 1: 40.000 (Dirección General de Recursos Naturales, 2022). Los suelos de las series que componen la unidad se desarrollan a partir de sedimentos cuaternarios de la formación Libertad y los suelos más representativos son: Vertisol Rúptico Típico Limoso, Brunosol Éutrico Típico Limoso y Vertisol Rúptico Lúvico Limo Arcilloso (Dirección Nacional de Minería y Geología, 2020).

De acuerdo a la descripción del perfil de suelo (ver Anexo A) y análisis físico-químico (0-20 cm) realizado en cada sitio (Tabla 2), se determinó que los suelos presentes en los tres sitios corresponden a Vertisololes Rúpticos Típicos. En el análisis químico, para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo

(COS), fue utilizado el método Walkley-Black descripto por Nelson y Sommers (1996), el pH fue determinado utilizando una relación suelo: agua 1:1 (Van Lierop, 1990), el potasio intercambiable según la metodología desarrollada por Isaac y Kerber (1971) y el fósforo mediante extracción ácida (Bray & Kurtz, 1945). Los suelos tienen similar granulometría y densidad aparente, pero diferencias en el porcentaje de COS, en el contenido de fósforo y de potasio.

Tabla 2

Propiedades físico-químicas de los suelos (0-20 cm) de los tres sitios al momento de la instalación del cultivo de cobertura (marzo)

Sitio	pH	COS %	K (Cmol _c kg ⁻¹)	P (ppm)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	Dap (Mg m ⁻³)
CRS	6,78	2,55	1,70	162	8	43	49	Arcillo limoso	0,84
1	7,40	1,79	1,63	105	12	49	39	Arcillo limoso	0,86
2	7,07	2,28	0,84	32	11	49	40	Arcillo limoso	0,86

Nota. Dap= Densidad aparente.

3.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

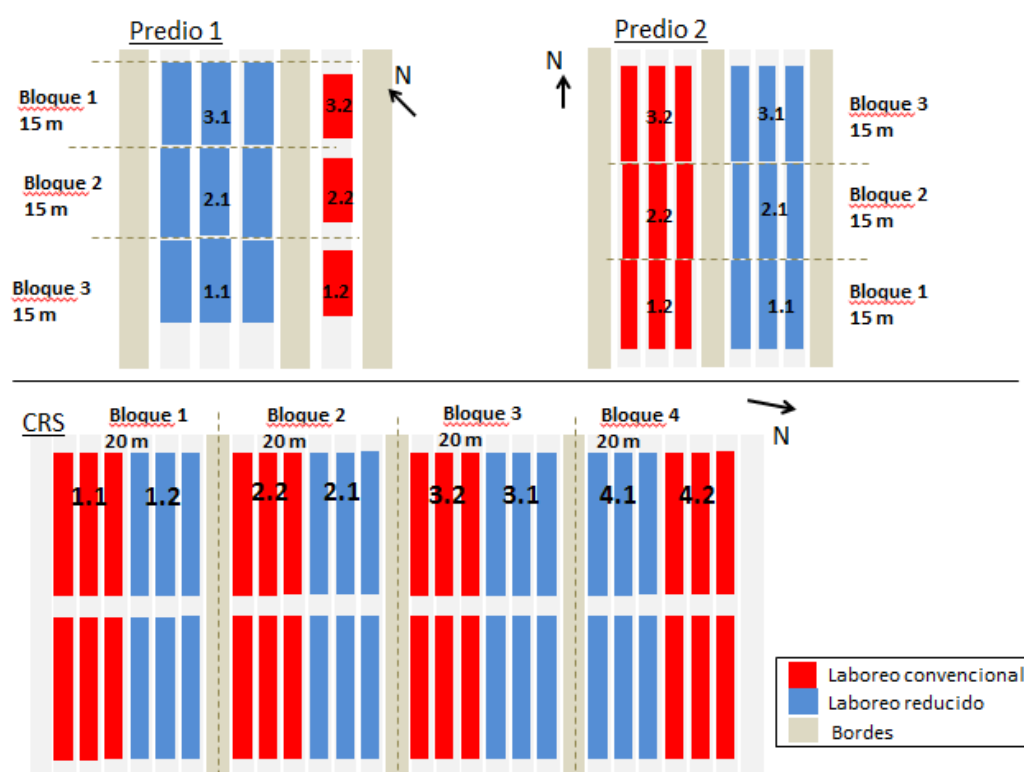
El trabajo formó parte de un proyecto mayor que involucró el testeo de dos factores (laboreo y aplicación de un biopreparado). Por este motivo, el diseño general del experimento fue de bloques con parcelas divididas. Pero esta tesis se centró en el estudio del efecto del laboreo, por lo que el diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, considerando únicamente el efecto de parcela grande (laboreo). El tratamiento testado fue la práctica de laboreo realizada para la preparación del suelo y manejo del CC previo al trasplante de la cebolla: laboreo convencional (LC) y laboreo reducido (LR). En el CRS el diseño tuvo 4 bloques, mientras en los sitios 1 y 2 se realizaron 3 repeticiones. En el CRS, cada parcela consistió en 3 canteros contiguos de 40 m de largo. En el Sitio 1, cada parcela con LR consistió en 2 canteros contiguos y 15 m de largo, y las de LC en un cantero y 15 m de largo. En el Sitio 2, cada parcela LC y LR consistió en 3 canteros contiguos y 15 de largo (Figura 2). En todos los ensayos fueron

establecidos canteros en los bordes del ensayo, y área de cantero entre las parcelas, donde no se realizaron evaluaciones, para evitar el efecto borde.

En el CRS y Sitio 2 se realizó un manejo orgánico, sin fertilizantes ni pesticidas de síntesis química. En el Sitio 1 el tratamiento LR tuvo fertilización a base de enmienda orgánica como los otros sitios, mientras que el LC tuvo fertilización con urea, como es realizado habitualmente por el productor. En ninguno de los tres sitios se utilizaron herbicidas.

Figura 2

Croquis de los ensayos y distribución de los tratamientos en los tres sitios



3.4 MANEJO DEL ÁREA EXPERIMENTAL

3.4.1 Uso anterior de los cuadros de cultivo

3.4.2 Instalación del cultivo de cobertura y manejo general del suelo

Las especies seleccionadas para realizar el CC fueron moha (*Setaria itálica*) y una leguminosa (cowpea, *Vigna unguiculata* en el CRS; y soja, *Glicine max*, en los predios comerciales). Sin embargo la escases de precipitaciones y agua disponible en el suelo no permitieron el establecimiento de la leguminosa,

resultado un cultivo puro de moha. La siembra tardía de una especie estival permitiría una aceptable producción de biomasa en un periodo breve de tiempo hasta la aparición de las primeras heladas agrometeorológicas y la consecuente muerte de las plantas sin la aplicación de herbicida antes de que produzca semillas viables. Por otro lado, teniendo en cuenta el ciclo del cultivo y los manejos realizados, se estableció un compromiso entre la cantidad de biomasa y la relación C/N de los restos del cultivo con el fin de reducir el efecto de la inmovilización de nitrógeno pero logrando una adecuada cobertura del suelo que redujera el riesgo de erosión y redujera la aparición de malezas.

Los CC fueron sembrados en los tres sitios entre 8 y el 12 de febrero de 2020, sobre los canteros o surcos ya armados y abonados. La moha se sembró a una densidad de 40 kg ha⁻¹. Debido a la poca disponibilidad de agua en el suelo la emergencia fue baja y poco uniforme, por lo cual se realizó una resiembra un mes después, entre el 11 y el 13 de marzo, a una densidad de 40 kg ha⁻¹.

El laboreo de suelos previo a la instalación del CC consistió en una o dos pasadas de excéntrica o disquera, una pasada de cinceles, dos pasadas de encanteradora, y una pasada de rastra liviana. El manejo de suelos al finalizar el ciclo del CC y previo al trasplante de la cebolla difirió entre sitios y con los tratamientos experimentales (Tabla 3). En todos los sitios el tratamiento LC implicó perturbación de suelo a una profundidad de 20-30 cm, en tanto el LR implicó la pasada de disco abresurco (Figura 3), que perturba el suelo únicamente en las líneas de trasplante de la cebolla, manteniendo la cobertura del residuo vegetal (Figura 4).

Figura 3

Uso del abresurco de tres discos en las parcelas LR en el Sitio 1

**Tabla 3**

Manejos de suelo realizados para instalar el cultivo de cebolla

Sitio	Tratamiento	Manejo
CRS	LC	17/7 cincel y encanteradora, 3/8 rotoencanteradora y disco abresurco.
	LR	31/7 y 3/8 disco abresurco
1	LC	6/8 desmalezadora y rotoencanterador
	LR	3/8 disco abresurco
2	LC	24/7 disquera, 19/8 disquera y alomadora
	LR	17/8 chirquera (control avena), 19/8 disco abresurco

Figura 4

Aspecto de los canteros 30 días después del trasplante (LC izquierda, LR derecha) en el CRS



3.4.3 Instalación del cultivo

En los tres sitios se utilizaron plantines provenientes del mismo almácigo que fue sembrado en el CRS el 17 de abril del 2020 en un cantero previamente solarizado. La variedad utilizada fue Armonía, obtenida del cruzamiento de las variedades Pantanoso del Sauce y Regia en Facultad de Agronomía. Armonía mantiene las características de Pantanoso del Sauce e incorpora tolerancia a *Peronospora destructor*.

El trasplante fue realizado el 4 de agosto del 2020 en el CRS y en el Sitio 1 y el 19 de agosto del 2020 en el Sitio 2. El retraso en el Sitio 2 se debió a la ocurrencia de precipitaciones que retrasó la finalización del laboreo de suelos en las parcelas con tratamiento LC.

La densidad utilizada para la instalación del cultivo fue de 200.000 plantas por hectárea en el CRS (3 filas por cantero y 10 cm entre plantas), 200.000 (3 filas sobre cantero y 10 cm entre planta) y 125.000 (una fila sobre surco y 10 cm entre planta) plantas por hectárea en el Sitio 1 y 2, respectivamente. En el CRS se utilizó riego por goteo durante todo el ciclo, mientras que en los sitios comerciales el cultivo fue en secano.

3.4.4 Manejo de fertilización y malezas.

Durante la preparación de los canteros para la siembra del CC se aplicó cama de pollo a razón de 40 m³ ha⁻¹ en el CRS para ambos tratamientos, en el Sitio 1 se utilizó la misma cantidad de estiércol para el tratamiento LR mientras

que el LC fue fertilizado con 150 kg ha⁻¹ de urea (46% N). En el Sitio 2 se utilizó compost (marca comercial Bioterra), a razón de 20 m³ ha⁻¹. A partir del trasplante de la cebolla y durante todo el ciclo del cultivo se realizaron aplicaciones al suelo con té de cama de pollo y Mixamin® con una frecuencia aproximada de cada 10 días (9 aplicaciones en total). En función de este manejo se estimó un total aporte de N (Tabla 4). Para estimar el aporte de N de las enmiendas se consideró un coeficiente de humificación del 50% para la cama de pollo y de 40% para el compost. Para el aporte del suelo se consideró que el 3% de la materia orgánica del suelo se mineraliza anualmente.

Tabla 4

Estimación del aporte de N disponible para el cultivo por enmiendas y por el suelo

Sitio	Trat.	Enmiendas	Urea	Suelo	Mixamin	Té de cama de pollo	Total
(Kg N ha ⁻¹)							
CRS	LR y LC	126	0	92	8	1	227
1	LR	126	0	69	7	1	203
	LC	0	69	69	7	1	146
2	LR y LC	44	0	86	7	1	137

Durante la fase de CC no se realizó ningún control de malezas adicional al generado por la propia competencia del CC. Durante la fase de cultivo de cebolla, en base al monitoreo semanal de los cultivos, los canteros fueron desmalezados para evitar la competencia directa. Esto determinó que en el CRS se realizaran cuatro desmalezadas en el tratamiento LR y tres en el LC, en el Sitio 1 se realizaran tres desmalezadas en el LR y dos en el LC, y en el Sitio 2 se realizaron tres desmalezadas en ambos tratamientos. En las parcelas con LR el desmalezado fue totalmente manual para reducir la perturbación del suelo y la cobertura vegetal, en los tratamientos con LC fueron utilizadas escardillo de mano en el CRS y en el Sitio 1, y carpidor de tiro y escardillo de mano en el Sitio 2.

3.5 MEDICIONES REALIZADAS

3.5.1 Biomasa y contenido de N y C del cultivo de cobertura

El CC detuvo su crecimiento y comenzó la senescencia a mediados de mayo debido a las bajas temperaturas y la ocurrencia de heladas agrometeorológicas. En ese momento, el 25 de mayo, se midió la cantidad de biomasa producida. Para ello, se tomaron 3 muestras por parcela con cuadrante de 0,36 m² (30 x 60 cm) y se secaron en estufa a 60°C por 96 hs.

Posteriormente utilizando la muestra seca de cada parcela, se determinó el contenido de nitrógeno mediante el método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney 1982) y el contenido de carbono mediante oxidación con K₂CrO₇ en H₂SO₄ a 150°C por 30 minutos y medido mediante colorimetría (Mebius, 1960).

3.5.2 Nitrógeno mineral en el suelo

Se realizaron 5 muestreos para determinar el contenido de nitrógeno mineral (nitrato y amonio) en el suelo. Los muestreos se hicieron tomando una muestra compuesta por 10 tomas de los primeros 20 cm de los canteros o surcos en cada parcela, utilizando un calador. Los momentos de muestreo fueron: a la instalación del CC (marzo 2020), al trasplante de la cebolla (agosto 2020), 25 días post-trasplante (setiembre y octubre 2020, según el sitio), e inicio de bulbificación (noviembre 2020). El contenido de nitrógeno se determinó por colorimetría (Doane & Horwáth, 2003; Rhine et al., 1998).

3.5.3 Biomasa y N-foliar de las plantas de cebolla

Se realizaron 5 muestreos destructivos de planta de cebolla para determinar el crecimiento y desarrollo del cultivo. Los muestreos se realizaron: al trasplante, 30 y 60 días post-trasplante, a inicio de bulbificación y a cosecha. En cada fecha se extrajeron 10 plantas al azar por parcela, se fraccionaron por órgano (lamina, cuello o “falso tallo” y bulbo), y se secaron a 60°C por 96 hs, hasta que el peso se estabilizó.

La determinación de la concentración de nitrógeno foliar se realizó en 3 momentos del ciclo del cultivo entre trasplante e inicio de bulbificación, a los 30,

60 y 90 días post-trasplante. Se tomó una muestra compuesta de 10 hojas de cebollas jóvenes, completamente desarrolladas y sanas, provenientes de 10 plantas por parcela. Luego se analizó en el laboratorio mediante el método de Kjeldahl.

3.5.4 Evaluación del enmalezamiento del cultivo de cobertura y del cultivo de cebolla

La biomasa de malezas y la identificación de las especies predominantes se llevaron a cabo en 5 momentos en el CRS y 4 momentos en los sitios 1 y 2. En el CRS se realizó una evaluación el día 8 de marzo durante el CC, luego, en todos los sitios se evaluó el enmalezamiento mensualmente a partir de la última semana de agosto. En cada momento de evaluación se tomaron 3 muestras al azar por parcela, cortando toda la biomasa aérea de maleza utilizando un cuadrante de 0,36 m² (60 x 30 cm). Para cada muestra se determinó la biomasa total, secando las muestras durante 48 horas a 60°C, y se identificaron las malezas predominantes y secundarias. Los cuadrantes de evaluación de malezas eran delimitadas previo a cada intervención de desmalezado en caso de que estuviera prevista su realización, de forma de no incidir en la evaluación.

3.5.5 Evaluación de cobertura del suelo

La cobertura del suelo se evaluó en 6 fechas (dos semanas luego de la siembra del CC, al final del ciclo del CC, antes del trasplante de cebolla, a los 30 y 60 días post-trasplante, a inicio de bulbificación y antes de cosecha). Se utilizó un rugosímetro con 32 varillas a 5 cm de distancia cada una (Figura 5) registrando la cobertura del suelo que tocaba cada varilla (residuo muerto, maleza, cebolla o suelo desnudo). En cada fecha se realizaron 3 mediciones al azar por parcela.

Figura 5

Uso del rugosímetro durante la segunda evaluación (60 días post-siembra) del cultivo de cobertura en el Sitio 2



3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables cantidad de biomasa y relación C/N del CC, biomasa de malezas, nitrógeno mineral en el suelo, biomasa del cultivo de cebolla y concentración de nitrógeno foliar se analizaron mediante un modelo correspondiente a un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Todas las variables fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANAVA) y posterior comparación de medias a través de pruebas de Tukey, considerando un nivel de significancia de 0,05.

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ corresponde a la media general, τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j el efecto del j -ésimo bloque y ε_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} .

El análisis de las variables de cobertura de suelos se realizó utilizando modelos lineales generalizados mixtos. Se consideraron como variables explicativas el laboreo (RT o CT) y fecha de muestreo, y sus interacciones. Los efectos aleatorios se especificaron de la siguiente manera: la interacción laboreo por bloque como el error de la parcela (1|Bloque:Laboreo), e interacción con fecha para el error de las medidas repetidas en el tiempo (1|Bloque:Laboreo:Fecha). Dado que tenía muchos ceros, se incluyeron correcciones en el modelo. Los modelos lineales mixtos generalizados se desarrollaron utilizando el paquete

R glmmTMB (Brooks et al., 2017). Los residuos del modelo se comprobaron con el paquete DHARMA de R. En el caso de efectos significativos, se ajustaron las medias de mínimos cuadrados y se realizó la prueba de Tukey para comparaciones múltiples con el paquete lsmeans de R (Lenth, 2016).

4. RESULTADOS

4.1 CANTIDAD Y CALIDAD DE BIOMASA DEL CULTIVO DE COBERTURA

Los CC fueron heterogéneos entre los sitios en las variables evaluadas, generando una biomasa aérea entre 3,9 y 7,1 Mg MS ha⁻¹ con una relación C/N de entre 15 y 26 Mg MS ha⁻¹ (Tabla 5). En el CRS se observó la mayor producción de materia seca del cultivo de moha con una C/N de 21/1. En el Sitio 1 el CC produjo menor cantidad de biomasa, con la menor relación C/N y menor proporción de malezas al final del ciclo en comparación con los otros sitios. En el Sitio 2 se observó la relación C/N más alta (26/1) y un estado fenológico general más avanzado, dado por la mayor germinación de las semillas de moha de la primera fecha de siembra. También germinaron semillas de la segunda fecha generando un cultivo con plantas de distinto estado fenológico (Figura 6).

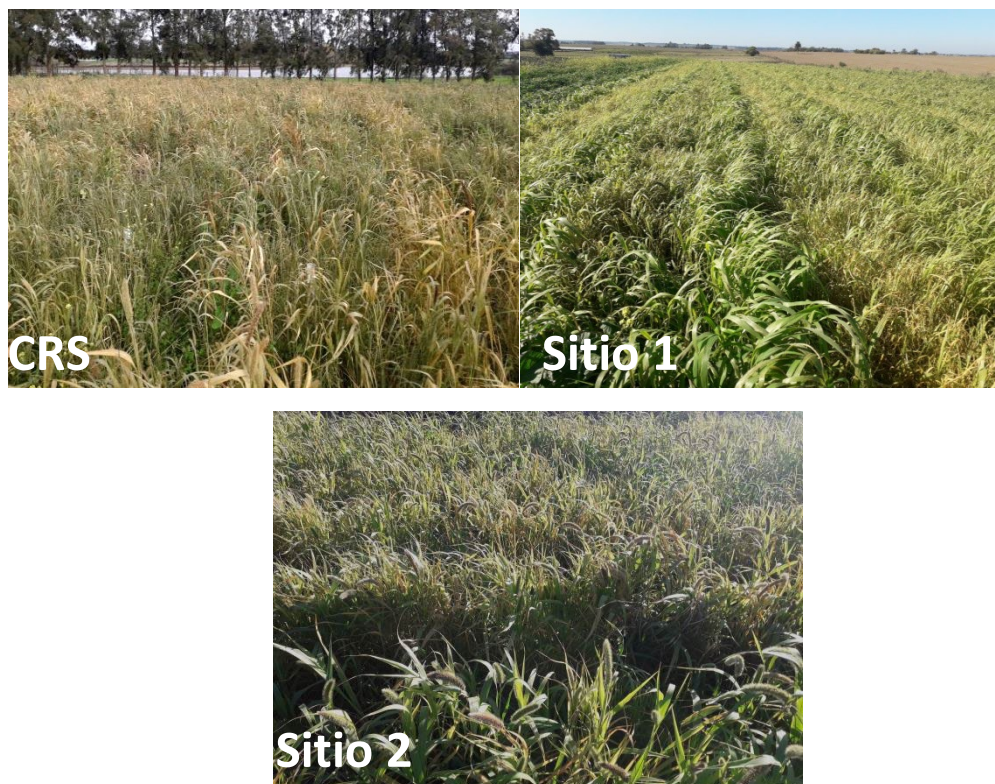
Tabla 5

Biomasa acumulada, composición y estado fenológico del cultivo de cobertura al final del ciclo

Sitio	Biomasa Mg MS ha ⁻¹	C N		Relación C/N	Moha Malezas		Estado fenológico
		%			% de la MS		
CRS	7099	38,6	1,9	21/1	94	6	Grano lechoso
Sitio1	3884	38,7	2,7	15/1	98	3	Espigando
Sitio2	4264	40,4	1,6	26/1	93	7	Grano lechoso a maduro

Figura 6

Aspecto de los cultivos de cobertura sobre el final de su ciclo



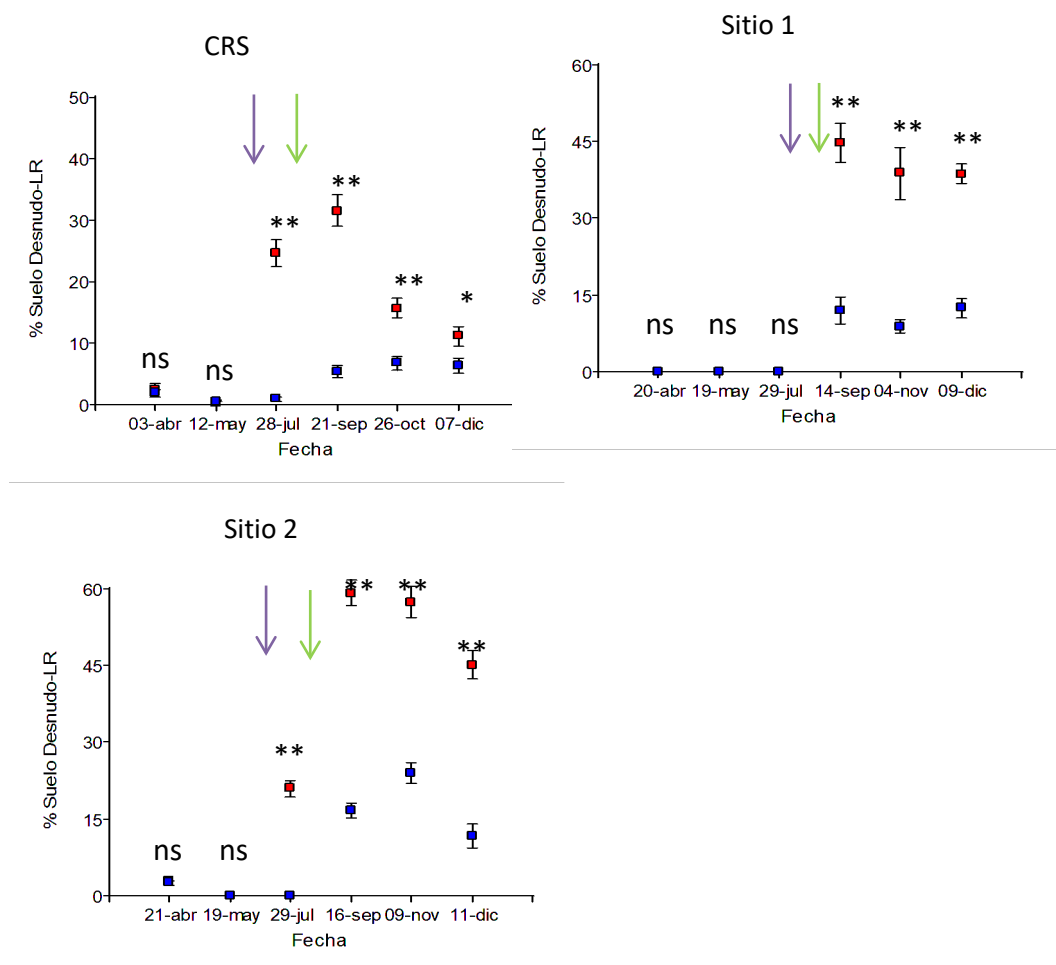
4.2 COBERTURA DEL SUELO

En los tres sitios, las parcelas con el tratamiento de LR tuvieron menor porcentaje de suelo desnudo (Fig. 7) y mayor porcentaje de cantero cubierto por mulch (Fig. 8) en comparación con LC durante todo el ciclo del cultivo de cebolla ($p < 0.001$, $p < 0.05$, $p < 0.01$, dependiendo del sitio y fecha).

En el CRS, el porcentaje de suelo desnudo promedio de las mediciones durante el ciclo de la cebolla en las parcelas con LR fue de 5,1% mientras que en las parcelas con LC de 14,3. En el Sitio 1 el LR durante el ciclo de cebolla presentó valores promedio de suelo desnudo de 8,3% y LC de 29,8%. En el Sitio 2, los valores promedio de suelo desnudo fueron de 11,9 y 38,6 %, para LR y LC, respectivamente.

Figura 7

Porcentaje de suelo desnudo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2

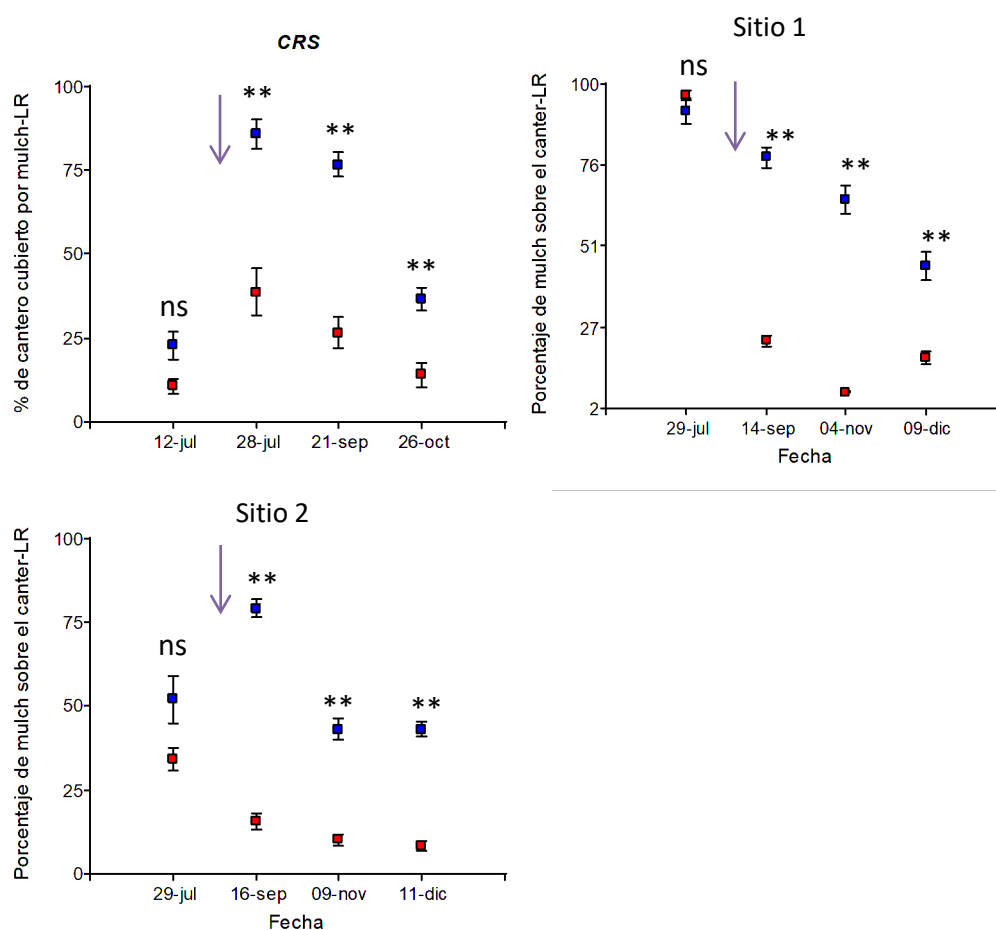


Nota. LC en rojo y LR en azul. La flecha violeta indica el momento de laboreo en LC y la flecha verde el trasplante de cebolla, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: no significativo.

Las diferencias observadas entre tratamientos para el porcentaje de suelo desnudo son explicadas principalmente por el mulch generado por los restos del CC. En los tratamientos LR la persistencia de los restos fue mayor y más duradera que LC en todos los sitios (Fig. 8).

Figura 8

Porcentaje del cantero cubierto por los restos del cultivo de cobertura en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



Nota. LC en rojo y LR en azul. La flecha violeta indica el momento de laboreo en LC. **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ns: no significativo.

4.3 COBERTURA Y BIOMASA DE MALEZAS

En los tres sitios estudiados, el LR tuvo mayor biomasa de malezas que el LC en la mayoría de las fechas de muestreo realizadas (Fig. 9). En el CRS y en el Sitio 1, estas diferencias se vieron desde el inicio del ciclo de la cebolla. La primera fecha de evaluación correspondió al momento de trasplante, donde el LR tenía el CC acamado y el LC había tenido laboreo mecánico. En ambos sitios las diferencias se mantuvieron posteriormente en el ciclo. En el Sitio 2, la biomasa de malezas fue mayor en el LR respecto al LC en el segundo y tercer muestreo,

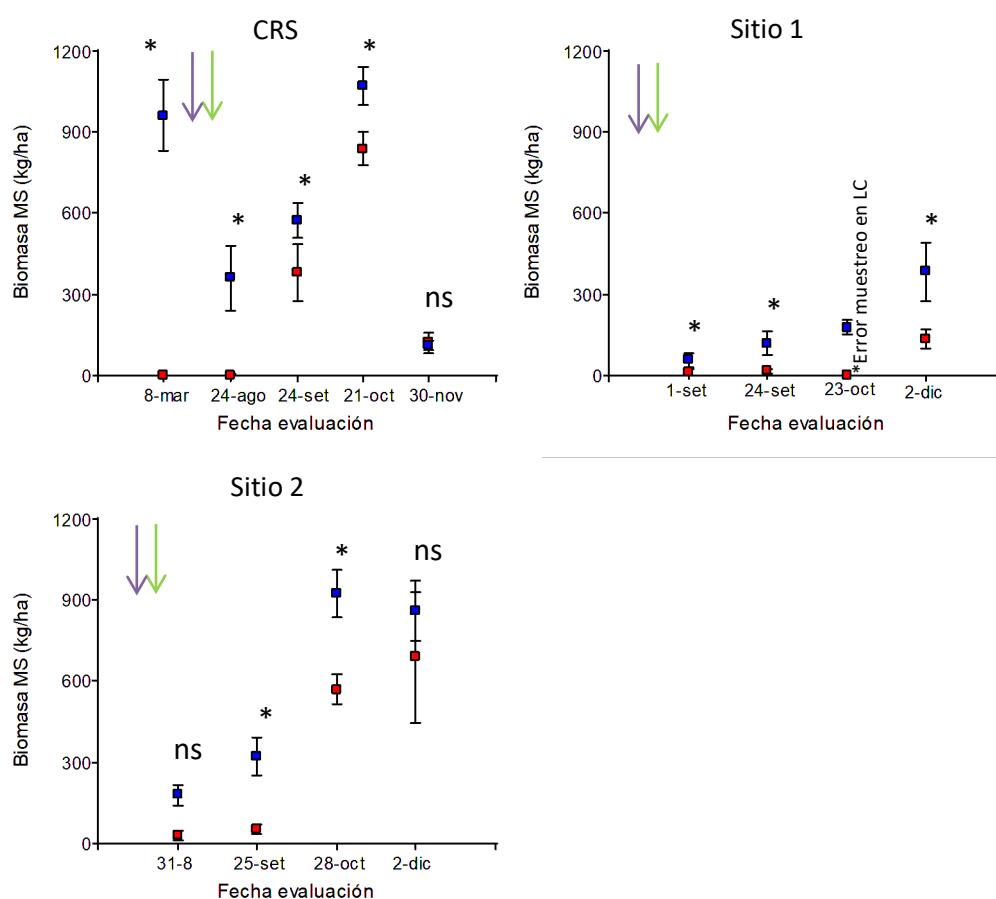
cuando las malezas correspondieron mayormente a plantas de avena que había sido utilizada como abono verde en el invierno anterior.

A pesar de la tendencia antes mencionada, de mayor biomasa de malezas en LR respecto al LC, existieron diferencias en el valor absoluto de biomasa de maleza entre los tres sitios. El CRS y el Sitio 2 tuvieron niveles de biomasa de malezas de más del doble de los niveles del Sitio 1 (Fig. 9).

Los resultados de cobertura del suelo por malezas muestran la misma tendencia que los de biomasa de malezas cuando se comparan ambos tratamientos (Anexo B).

Figura 9

Biomasa de malezas durante el ciclo del cultivo de cebolla según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



Nota. LC en rojo y LR en azul. La flecha violeta indica el momento de laboreo en LC y la flecha verde el trasplante de cebolla. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns: no significativo.

En los tres sitios evaluados las malezas predominantes fueron diferentes. Las malezas principales fueron: *Stachys arvensis*, *Convolvulus arvensis* y *Avena sativa* en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2 respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6

Frecuencia relativa de las tres especies de malezas más abundantes en cada sitio durante todo el período de evaluación

CRS	<i>Stachys arvensis</i>		<i>Digitaria sanguinalis</i>		<i>Stellaria media</i>		Otras	
Tratamiento	LR	LC	LR	LC	LR	LC	LR	LC
Frecuencia relativa	33	31	16	31	31	14	20	24

Sitio1	<i>Convolvulus arvensis</i>		<i>Trifolium or Melilotus</i>		<i>Bowlesia incana</i>		Otras	
Tratamiento	LR	LC	LR	LC	LR	LC	LR	LC
Frecuencia relativa	23	42	21	17	7	17	49	24

Sitio2	<i>Avena sativa</i>		<i>Lolium multiflorum</i>		<i>Bromus sp.</i>		Otras	
Tratamiento	LR	LC	LR	LC	LR	LC	LR	LC
Frecuencia relativa	79	33	11	28	10	8	0	31

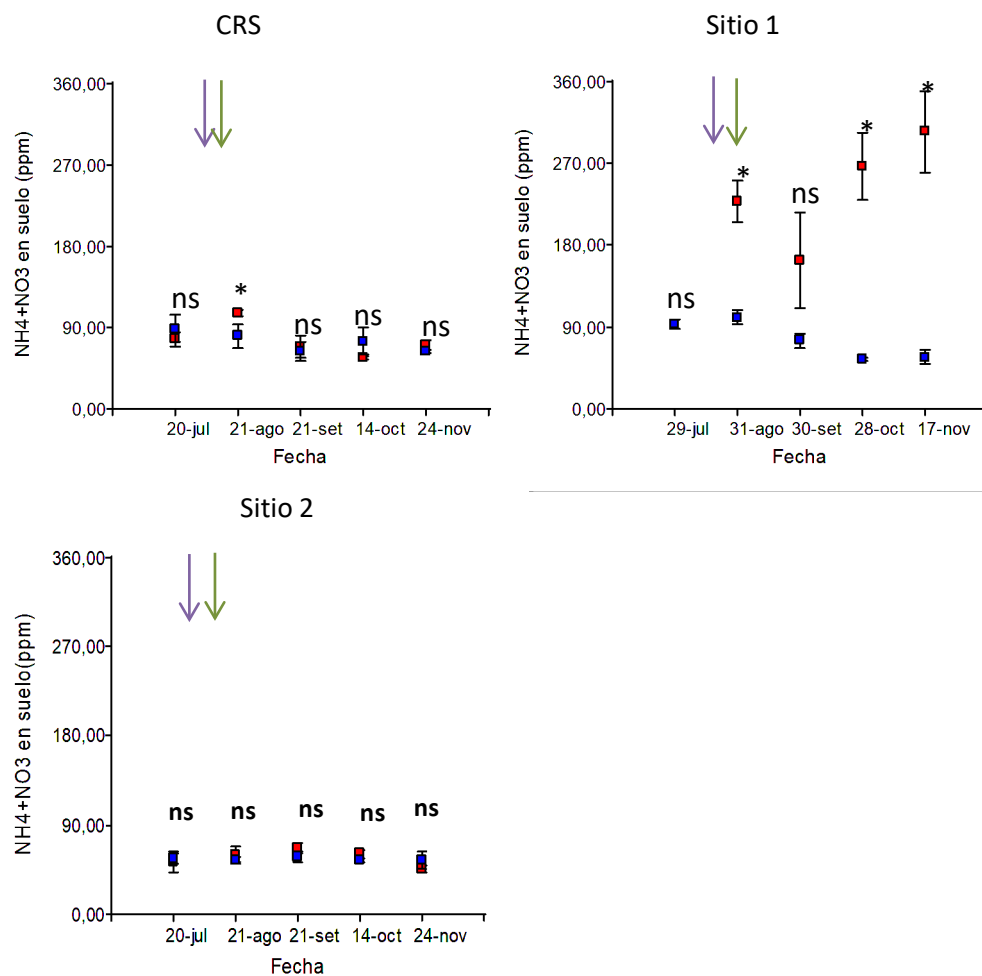
4.4 NITRÓGENO MINERAL EN EL SUELO

En el CRS y en el Sitio 2, donde el aporte de N fue con enmiendas orgánicas, el contenido de N mineral en el suelo no presentó diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de los muestreos, aunque los valores en las parcelas de LC fueron superiores a las parcelas de LR (Fig. 10). En el Sitio 1, donde el tratamiento de LC tuvo el agregado de urea, se observaron valores mayores de N mineral en el LC respecto al LR. La mayor diferencia entre tratamientos se dio en la última fecha cuando las parcelas correspondientes a LR tenían un contenido de N mineral ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) promedio de 57 ppm y las de LC tuvieron 305 ppm (Fig. 10).

El Sitio 2 fue donde hubo menores contenidos de N en el suelo, 53 ppm y 60 ppm de NH_4+NO_3 en las parcelas de LR y LC respectivamente durante el ciclo del cultivo de cebolla, también fue el sitio donde los contenidos de N entre tratamientos fueron más parecidos entre sí. En el CRS los contenidos promedio de N mineral en el suelo fueron de 68 ppm en LR y 82 ppm en LC.

Figura 10

Contenido de nitrógeno mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) en el suelo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



Nota. LC en rojo y LR en azul. La flecha violeta indica el momento de laboreo en LC y la flecha verde indica el momento del trasplante. *: $p < 0,05$, ns: no significativo.

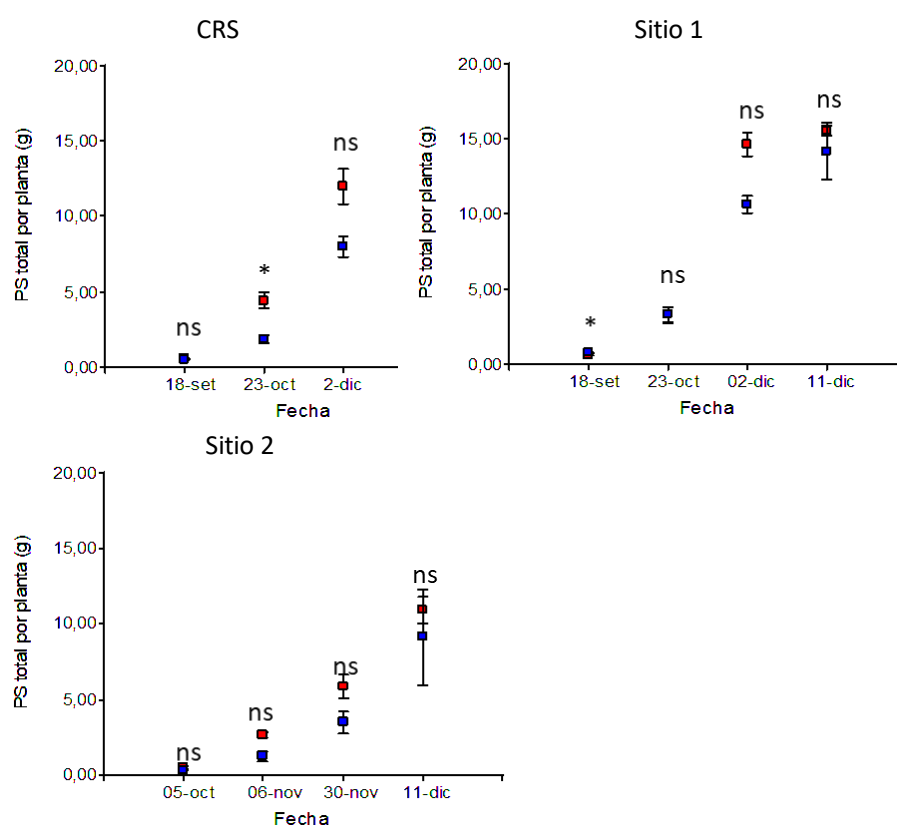
4.5 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE CEBOLLA

4.5.1 BIOMASA DEL CULTIVO DE CEBOLLA

Aunque no en todas las fechas de muestreo las diferencias fueron estadísticamente significativas, el peso seco de las plantas de cebolla de los tratamientos con LR fue menor que las plantas del tratamiento LC (Fig. 11). En el CRS, las diferencias entre tratamientos se evidenciaron en el segundo y tercer muestreo (a partir de los 70 días post-trasplante), cuando las plantas de cebolla correspondientes a los tratamientos con LC presentaron en promedio 2,3 y 1,5 veces más biomasa que las plantas de las parcelas de LR. En el Sitio 1 se identificaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la biomasa de las plantas en el primer muestreo (30 días post-trasplante), cuando el peso seco promedio de las plantas de LC era de 0,77 g y las de LR 0,59 g, en las siguientes dos fechas no hubo diferencias significativas entre tratamientos. En el Sitio 2, no hubo diferencias entre tratamientos en ninguna de las fechas (Fig. 11).

Figura 11

Biomasa de la planta de cebolla durante el ciclo del cultivo según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



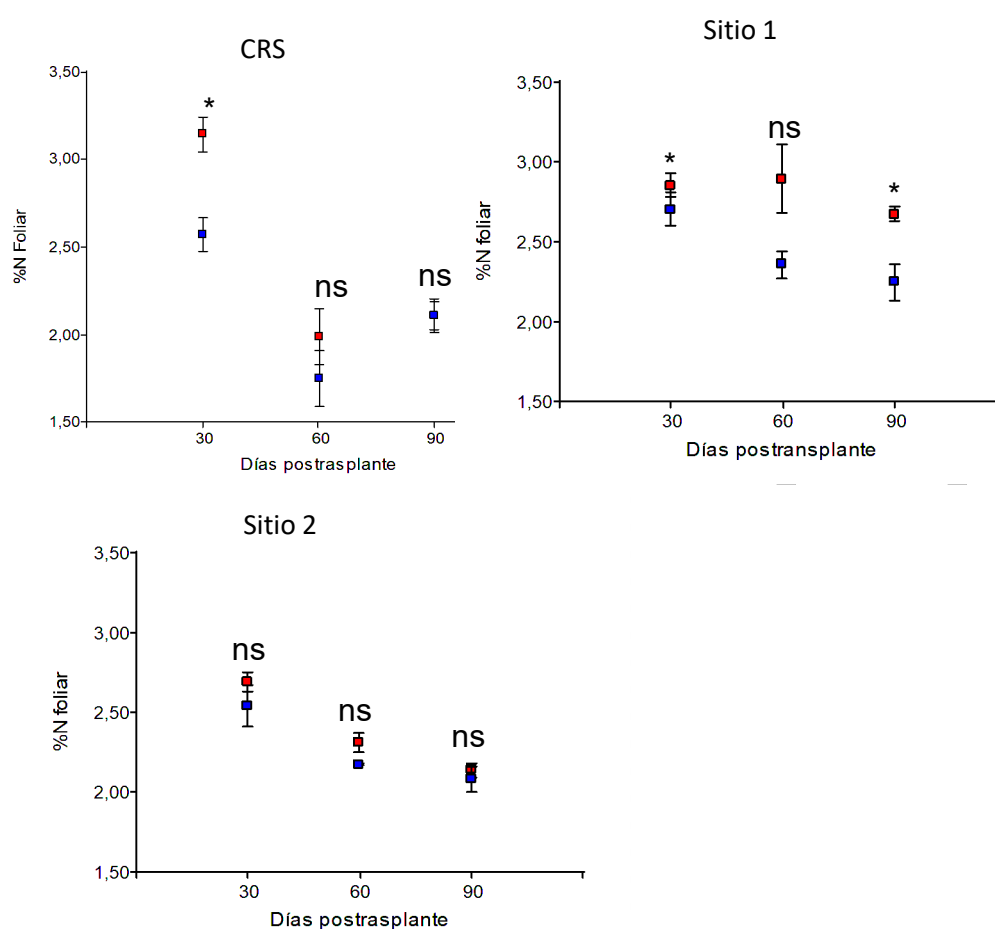
Nota. LC en rojo y LR en azul *: $p < 0.05$, ns: no significativo.

4.5.2 CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO FOLIAR

En los tres sitios evaluados, las plantas de cebolla de los tratamientos LC presentaron mayor concentración de nitrógeno foliar que las de LR (Fig. 12). En el CRS, a los 30 días post-trasplante las plantas del tratamiento LC contenían un porcentaje de nitrógeno significativamente mayor que LR ($p < 0.05$), en las dos siguientes evaluaciones no hubo diferencias significativas. En el Sitio 1, la concentración de nitrógeno foliar a los 30 días post-trasplante fue similar en LC y LR, pero a los 60 y 90 días post-trasplante el cultivo en LC tuvo mayor concentración de nitrógeno foliar respecto al LR ($p < 0.1$ y $p < 0.05$, respectivamente). En el Sitio 2, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna fecha de evaluación.

Figura 12

Concentración de nitrógeno foliar en las plantas de cebolla durante el ciclo del cultivo según tratamiento, en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



Nota. LC en rojo y LR en azul. *: $p < 0.05$, (.): $0.1 \leq p \leq 0.05$, ns: no significativo.

5. DISCUSIÓN

El crecimiento y desarrollo del cultivo de cobertura fue satisfactorio en relación con la biomasa producida y al momento en el que se dio el fin de su ciclo (Alliaume et al., 2012; Gilsanz et al., 2004). La muerte de todas las plantas del CC fue aproximadamente 7 semanas antes de la fecha de plantación recomendada para las variedades de cebolla de día intermedio, dando un margen adecuado para la preparación e instalación del cultivo posterior.

Los suelos de las parcelas LR tenían menos nitrato y amonio que los suelos de las parcelas LC en casi todas las evaluaciones, esto pudo estar explicado por la menor tasa de mineralización de la materia orgánica cuando el suelo no es laboreado y por la consecuente disminución en la disponibilidad del nutriente (Alliaume et al., 2014; Peigné et al., 2007; Tisdale et al., 1985). Los menores contenidos de nitrógeno mineral del suelo (NMS) de las parcelas LR, están relacionados a menor contenido de nitrógeno foliar (NF) de las plantas de cebolla y menor crecimiento del cultivo de cebolla, probablemente debido a una mayor restricción de nitrógeno para el cultivo en LR (Alliaume et al., 2014; Amado et al., 2002; Vollmer et al., 2010). En todos los tratamientos de LR evaluados en este trabajo, el contenido de NMS estuvo asociado a la relación C/N del CC al final de su ciclo. La mayor tasa de inmovilización de nitrógeno generado por los restos en superficie del cultivo de moha con mayor C/N explicarían estas diferencias (Geisseler et al., 2022; Hodge et al., 2000; Martins et al., 2014).

Además de las diferencias en los contenidos de nitrógeno entre los tratamientos, se observó que tanto en las parcelas LR como en las LC, los niveles del nutriente en hoja eran insuficientes. A pesar de haber aportado cantidades que cubrirían la demanda del cultivo, en ninguno de los muestreos se observaron valores de nitrógeno foliar mayores o iguales a 4%, nivel crítico para la etapa de pre-bulbificación en cebolla (Geisseler et al., 2022; Maynard & Hochmuth, 2007). La inmovilización del nitrógeno aportado antes de que el cultivo pudiera absorberlo puede explicar los niveles de nutriente encontrados (Tisdale et al., 1985).

En el Sitio 1, los tratamientos LC fertilizados con urea tenían un contenido de NMS hasta 6 veces mayor que los tratamientos LR, observándose las

diferencias más grandes al final del ciclo del cultivo, cuando el cultivo ya no requiere altas extracciones de nutrientes. Estos resultados evidencian el riesgo de contaminación por lixiviación y desnitrificación cuando se realiza el manejo del suelo y N más difundido para el cultivo de cebolla en Uruguay.

Futuras investigaciones en la tecnología de CC-LR, particularmente a largo plazo, deberían hacer foco en desarrollar estrategias para aumentar la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo hortícola posterior, particularmente en etapas tempranas del cultivo. Por ejemplo, a través del estudio y caracterización de enmiendas orgánicas como fuente del nutriente, evaluando el manejo del CC (elección de especie/es y variedades, fechas y densidades de siembra, momento de “acamado”), o testeando la realización de aplicaciones foliares o al suelo de diferentes bio-fertilizantes.

Los CC produjeron una aceptable cantidad de biomasa y determinaron una cobertura del suelo de más de 80% durante el ciclo del CC y de cebolla en LR. Esta biomasa y nivel de cobertura implica una reducción significativa del riesgo de erosión de los suelos (Alliaume et al., 2014), pero no fue suficiente para observar el efecto supresor de malezas que efectuaría una capa de mulch (Arboleya et al., 2012; Campiglia et al., 2010). Probablemente, debido a la diferencia en el ancho de la cobertura muerta lograda, la disminución de la cobertura del suelo por mulch a lo largo del ciclo y a la baja capacidad de competencia de la planta de cebolla. (Teasdale & Mohler, 2000; Carr et al., 2013). Ninguno de los CC produjo 8 Mg MS ha⁻¹, reportado como mínimo para generar un efecto supresor en la aparición de malezas (Teasdale & Mohler, 2000). Si bien no evaluamos el ancho de la capa de mulch, sí observamos que no se logró un ancho uniforme de 10 cm, también reportado como mínimo por los mismos autores. Adicionalmente, la cobertura del suelo por mulch y el efecto supresor fue disminuyendo durante el ciclo de cebolla hasta valores de cobertura por mulch de entre 40 y 50 por ciento en la última evaluación (diciembre). Además, según lo reportado por Carr et al. (2013) la cobertura del suelo tiene un mayor efecto supresor de malezas anuales limitando la germinación de semillas. En nuestros ensayos la mayoría de las malezas eran especies anuales invernales y la cobertura del suelo lograda durante el ciclo del cultivo de cebolla no evitó su germinación. Cabe destacar que la “dinámica” de las malezas fue fuertemente intervenida en las

sucesivas prácticas de desmalezado, que se realizaron con el objetivo de simular una situación real de producción y mantener el cultivo en condiciones aceptables de competencia durante su ciclo.

Observamos diferencias importantes en la abundancia de malezas entre los sitios que pueden estar explicadas por el banco de semillas del suelo, determinado principalmente por la historia del uso del suelo y el manejo realizado en cada cuadro. En base a las entrevistas realizadas y a la información recabada sobre el manejo de los cuadros en los dos sitios y en el CRS, la menor presión de malezas en el Sitio 1 comparado con el CRS y el Sitio 2 puede estar explicada por: la inclusión de alfalfas de 5 años y la inclusión de abonos verdes en la rotación y el exhaustivo control de la semillazón de las malezas (con control manual y químico) en el Sitio 1.

Para lograr un mejor control de malezas por la cobertura se tendrían que alcanzar producciones de biomasa del CC en torno a 8 Mg MS ha⁻¹ y reducir el tiempo entre el fin del ciclo del CC y la instalación del cultivo hortícola para tener mejor cobertura durante el ciclo del cultivo. Se debería evaluar el comportamiento de diferentes especies y variedades adaptables a CC-LR, definir manejos adaptados a producción orgánica, brindar alternativas de manejo para diferentes especies de CC y estudiar como incluirlos en diferentes rotaciones hortícolas. Además podría estudiarse el efecto de incorporar mulch “externo” para complementar la cobertura generada por un CC. Debe considerarse que el incremento en la cantidad de material muerto sobre el suelo tiene un efecto positivo en la supresión de malezas pero puede provocar un incremento en la inmovilización de N y una disminución en su disponibilidad.

Aunque durante el ensayo todas las parcelas fueron desmalezadas, los tratamientos LR tuvieron más malezas y consecuentemente, dado el ambiente de bajo nitrógeno mineral en el suelo, mayor competencia por nitrógeno con el cultivo. Esta situación podría estar explicando también los menores niveles de N foliar encontrados en las plantas de cebolla en LR. Para detectar esa dinámica se deberían hacer mediciones más frecuentes, adoptar el uso de medidores rápidos, observar cómo fluctúan los contenidos durante el ciclo y relacionarlo con la dinámica de las malezas.

La tecnología de LR en horticultura tiene un gran potencial en términos de conservación del suelo y es aplicable en muchos sistemas hortícolas con bajo uso o sin uso de agroquímicos si se tiene en cuenta que no debe ser aplicada aisladamente. Se requiere la simultánea inclusión de otras prácticas como las rotaciones de cultivos, la reducción en la frecuencia e intensidad de los laboreos, el uso de abonos verdes y cultivos de cobertura en invierno y verano que permitan mejorar las condiciones edáficas y reducir la presión de malezas. Se podría realizar una “transición al laboreo reducido” cuando las condiciones del suelo y la presencia de malezas no permitan excluir o disminuir las prácticas de laboreo.

6. CONCLUSIONES

El tipo de laboreo tiene una incidencia directa sobre la dinámica del nitrógeno, la aparición y proliferación de malezas, y sobre la cantidad y persistencia de los restos vegetales en la superficie del suelo; que condicionan el crecimiento y desarrollo del cultivo y su manejo.

En este trabajo se demostró la posibilidad de implementar la tecnología CC-LR sin la aplicación de agroquímicos en un cultivo hortícola. Sin embargo, la disponibilidad de nitrógeno y el aumento en la presión de malezas cuando el suelo no es laboreado son limitantes para su aplicación, y son aspectos en los cuales se debería continuar profundizando el estudio en futuros trabajos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, M. N., & Díaz, A. (2016). Horticultura: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2016* (pp. 229-246). MGAP.
https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202016/anuario_opypa_2016_en_baja.pdf
- Alliaume, F., Jorge, G., & Dogliotti, S. (2012). Impact of minimum tillage, oat straw management, and chicken manure on soil water content, runoff, erosion and tomato production. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(3), 199-207.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.16.670>
- Alliaume, F., Rossing, W. A. H., García, M., Giller, K. E., & Dogliotti, S. (2013). Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. *European Journal of Agronomy*, 46, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.11.005>
- Alliaume, F., Rossing, W. A. H., Tiftonell, P., Jorge, G., & Dogliotti, S. (2014). Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 183, 127-137.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.001>
- Allmaras, R. R., Langdale, G. W., Unger, P. W., Dowdy, R. H., & Van Doren, D. M. (1991). Adoption of conservation tillage and associated planting systems. En R. Lal & F. Pierce (Eds.), *Soil management for sustainability* (pp. 53-83). SWCS.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: Teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, 16(1), 3-12.
- Amado, T. J. C., Mielniczuk, J., & Aita, C. (2002). Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência*, 26(1), 241-248. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100025>

- Arbolea, J., Gilsanz, J. C., Alliaume, F., Leoni, C., Falero, M., & Guerra, S. (2012). Minimum tillage and vegetable crop rotation. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(3), 62-70. <https://doi.org/10.31285/AGRO.16.647>
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-45.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-Total. En A. Page (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 595-624). ASA; SSSA.
- Brooks, M. E., Kristensen, K., Van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2), 378-400.
- Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., & Caporali, F. (2010). Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Crop Protection*, 29(4), 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.001>
- Carr, P., Gramig, G., & Liebig, M. (2013). Impacts of organic zero tillage systems on crops, weeds, and soil quality. *Sustainability*, 5(7), 3172-3201. <https://doi.org/10.3390/su5073172>
- Casagrande, M., Peigné, J., Payet, V., Mäder, P., Sans, F. X., Blanco-Moreno, J. M., Antichi, D., Bàrberi, P., Beeckman, A., Bigongiali, F., Cooper, J., Dierauer, H., Gascoyne, K., Grosse, M., Heß, J., Kranzler, A., Luik, A., Peetsmann, E., Surböck, A., ... David, C. (2016). Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. *Organic Agriculture*, 6(4), 281-295. <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0136-0>
- Dirección General de Recursos Naturales. (2022, dic.). *Carta de suelos*. <https://web.renare.gub.uy/js/visores/cartasuelos/>
- Dirección Nacional de Minería y Geología. (2022, dic.). *Visualizador geológico minero*. http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2

- Doane, T. A., & Horwáth, W. R. (2003). Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. *Analytical Letters*, 36(12), 2713-2722.
- Dogliotti, S., Abedala, C., Aguerre, V., Albín, A., Alliaume, F., Alvarez, J., Bacigalupe, J. F., Barreto, M., Chiappe, M., Corral, J., Dieste, J. P., García de Souza, M., Guerra, S., Leoni, C., Malán, I., Mancassola, V., Pedemonte, A., Peluffo, S., Pombo, A., ... & Scarlato, M. (2012). *Desarrollo sostenible de sistemas de producción hortícolas y hortícolas-ganaderos familiares: Una experiencia de co-innovación*. INIA.
- Dogliotti, S., García, M. C., Peluffo, S., Dieste, J. P., Pedemonte, A. J., Bacigalupe, G. F., Scarlato, M., Alliaume, F., Alvarez, J., Chiappe, M., & Rossing, W. A. H. (2014). Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 126, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>
- Dogliotti, S., Scarlato, M., Berrueta, C., Barros, C., Rehmann, F., Rieppi, M., Inetti, C., Soust, G., & Borges, A. (2021). *Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento y calidad en los principales cultivos hortícolas del Uruguay*. INIA.
- García de Souza, M., Alliaume, F., Mancassola, V., & Dogliotti, S. (2011). Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 70-81. <https://doi.org/10.31285/AGRO.15.613>
- García de Souza, M., Scarlato, M., Colnago, P., Dogliotti, S., & Gómez, A. (2013). Caracterización y diagnóstico del estado del recurso suelo en sistemas de producción orgánico y convencional de Montevideo Rural. En Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Ed.), *IV Congreso Latinoamericano de Agroecología: Potenciación agroecológica de la pequeña agricultura para la soberanía alimentaria y la resiliencia frente al cambio climático y la crisis económica* (pp. 52-53).
- Geisseler, D., Ortiz, R. S., & Diaz, J. (2022). Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.): A literature review. *Scientia Horticulturae*, 291, Artículo e110591. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110591>

- Gilsanz, J. C., Arbolea, J., Maeso, D., Paullier, J., Behayout, E., Lavandera, C., Sanders, D. C., & Hoyt, G. D. (2004). Evaluation of limited tillage and cover crop systems to reduce n use and disease population in small acreage vegetable farms mirror image projects in Uruguay and North Carolina, USA. *Acta Horticulturae*, (638), 163-169.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.638.21>
- Google. (2023). [Santa Rosa, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 14 de enero de 2023, de
<https://www.google.com.uy/maps/place/91400+Santa+Rosa,+Departamento+d+e+Canelones/@-34.4979275,-56.0491784,2584m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x95a0481adda9c99b:0x64f8b2a7308e24ed!8m2!3d-34.4992989!4d-56.0393368!16s%2Fm%2F0gvrw5!5m2!1e4!1e2?hl=es-419&entry=ttu>
- Hodge, A., Robinson, D., & Fitter, A. (2000). Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? *Trends in Plant Science*, 5(7), 304-308. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01656-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01656-3)
- Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant and water analysis. En L. M. Walsh (Ed.), *Instrumental methods for analysis of soil and plant tissues* (pp. 17-37). SSSA.
- Kraamwinkel, C. T., Beaulieu, A., Dias, T., & Howison, R. A. (2021). Planetary limits to soil degradation. *Communications Earth & Environment*, 2(1), Artículo e249. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00323-3>
- Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., & Kropff, M. J. (2009). Cover crop residue management for optimizing weed control. *Plant and Soil*, 318(1-2), 169-184. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9827-6>
- Lenth, R. V. (2016). Least-squares means: The R package ismeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1), 1-33. <https://doi.org/doi:10.18637/jss.v069.i01>
- Liebman, M., Mohler, C. L., & Staver, C. P. (2001). *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511541810>

- Martins, R. P., Comin, J. J., Gatiboni, L. C., Soares, C. R. F., Couto, R. D. R., & Brunetto, G. (2014). Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. *Revista Ceres*, 61(4), 587-596.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040020>
- Maynard, D. N., & Hochmuth, G. J. (2007). *Knott's handbook for vegetable growers*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470121474>
- Mebius, L. J. (1960). A rapid method for the determination of organic carbon in soil. *Analytica Chimica Acta*, 22, 120-124. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88254-9](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88254-9)
- Mooshammer, M., Wanek, W., Hämmerle, I., Fuchslueger, L., Hofhansl, F., Knoltsch, A., Schneckner, J., Takriti, M., Watzka, M., Wild, B., Keiblinger, K. M., Zechmeister-Boltenstern, S., & Richter, A. (2014). Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: Nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nature Communications*, 5(1), Artículo e3694.
<https://doi.org/10.1038/ncomms4694>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. En D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods* (pp. 961-1010). SSSA; ASA.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2017). *Anuario estadístico agropecuario 2017*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020). *Anuario estadístico agropecuario 2020*. MGAP.
- Peigné, J., Ball, B. C., Roger-Estrade, J., & David, C. (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? *Soil Use and Management*, 23(2), 129-144. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x>
- Rhine, E. D., Sims, G. K., Mulvaney, R. L., & Pratt, E. J. (1998). Improving the berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Science Society of America Journal*, 62(2), 473-480.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200020026x>

- Rühlemann, L., & Schmidtke, K. (2015). Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy*, 65, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.006>
- Salonen, J., & Ketoja, E. (2020). Undersown cover crops have limited weed suppression potential when reducing tillage intensity in organically grown cereals. *Organic Agriculture*, 10(1), 107-121. <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00262-6>
- Scarlato, M., Dogliotti, S., Bianchi, F. J. J. A., & Rossing, W. A. H. (2022). Ample room for reducing agrochemical inputs without productivity loss: The case of vegetable production in Uruguay. *Science of the Total Environment*, 810, Artículo e152248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152248>
- Teasdale, J. R., & Mohler, C. L. (2000). The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science*, 48(3), 385-392. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0385:TQRBWE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0385:TQRBWE]2.0.CO;2)
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). *Soil fertility and fertilizers* (4th ed.). Macmillan.
- Tørresen, K. S., & Skuterud, R. (2002). Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. IV.: Changes in the weed flora and weed seedbank. *Crop Protection*, 21(3), 179-193. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00081-3)
- Van Lierop, W. (1990). Soil pH and lime requirement determination. En R. Westerman (Ed.), *Soil testing and plant analysis* (pp. 73-126.). SSSA.
- Vollmer, E. R., Creamer, N., Reberg-Horton, C., & Hoyt, G. (2010). Evaluating cover crop mulches for no-till organic production of onions. *HortScience*, 45(1), 61-70. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.1.61>
- Weber, J., Kunz, C., Peteinatos, G., Zikeli, S., & Gerhards, R. (2017). Weed control using conventional tillage, reduced tillage, no-tillage, and cover

crops in organic soybean. *Agriculture*, 7(5), Artículo e43.

<https://doi.org/10.3390/agriculture7050043>

Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), Artículo e40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>

Zhang, Y., Xie, D., Ni, J., & Zeng, X. (2020). Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300, Artículo e107003. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107003>

8. ANEXOS**ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN LOS TRES SITIOS****Tabla A1***Perfil del suelo del área hortícola en el CRS*

Horiz.	Prof.(cm)	Color	Textura	Concreciones	Raíces
Ap	0-19	10YR 2/1	FAcL		Comunes
Bt	19-36	10YR 2/1	Ac	Ca	Pocas
Btkss	36-80	10YR 2/1	Ac	Ca	Muy pocas
BCKss	+80	7,5YR 6/3	AcL	Ca	Muy pocas

Tabla A2*Perfil del suelo imperturbado del área hortícola en el Sitio 1*

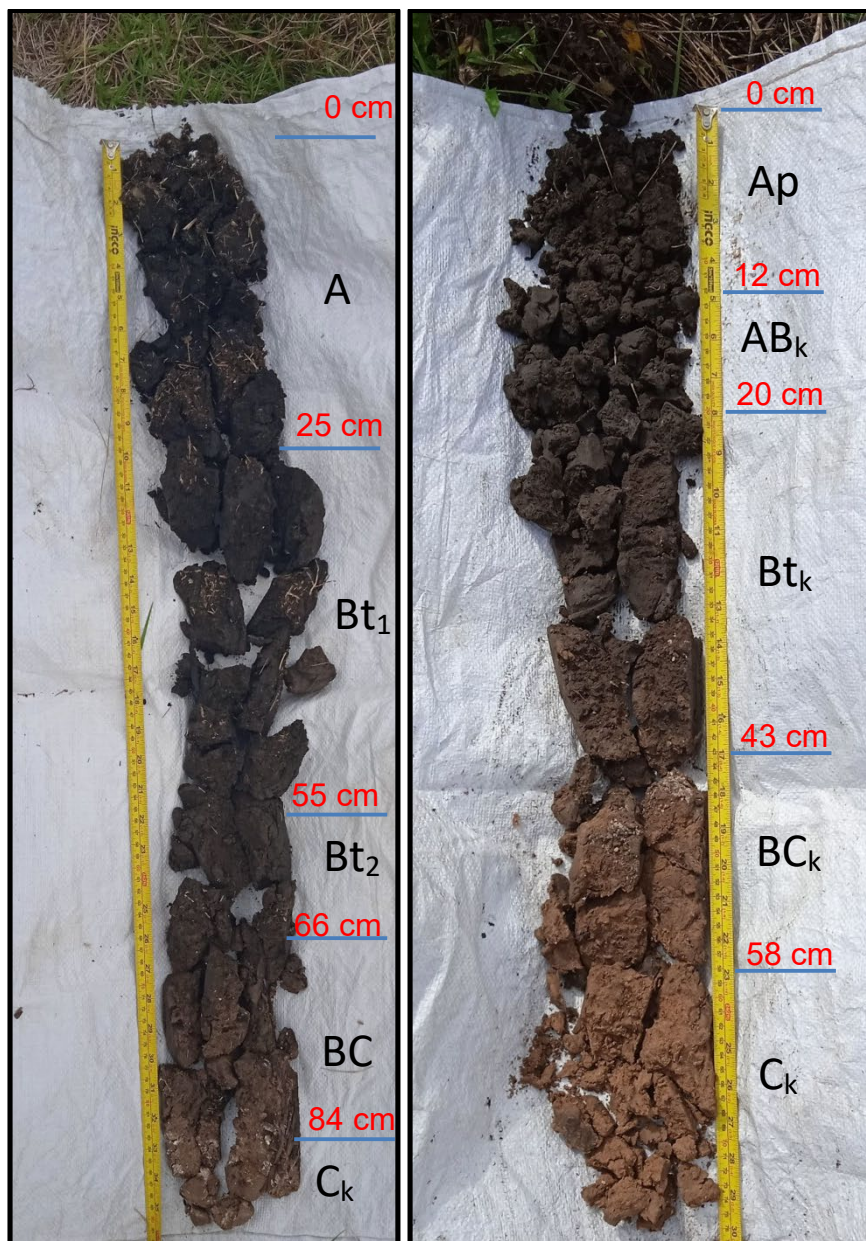
Horiz.	Prof.(cm)	Color	Textura	Concreciones	Raíces
A	0-25	10YR2/1	AcL		Abundantes
Bt₁	25-55	10YR3/4	Ac	Ca	Comunes
Bt₂	55-66	10YR3/4	Ac	Ca	Comunes
BC	66-84	7,5YR5/3	AcL	Ca	Comunes
C_k	+84	10YR3/1	Ac		Pocas

Tabla A3*Perfil del suelo del área hortícola en el Sitio 2*

Horiz.	Prof.(cm)	Color	Textura	Concreciones	Raíces
A	0-12	7,5YR2,5/3	FAcL		Comunes
AB_k	12-20	7,5YR2,5/1	AcL	Ca	Pocas
Bt_k	20-43	7,5YR3/1	AcL	Ca	Pocas
BC_k	43-58	7,5YR4/4	AcL	Ca	Pocas
C_k	+58	10YR5/4	FAcL		Pocas

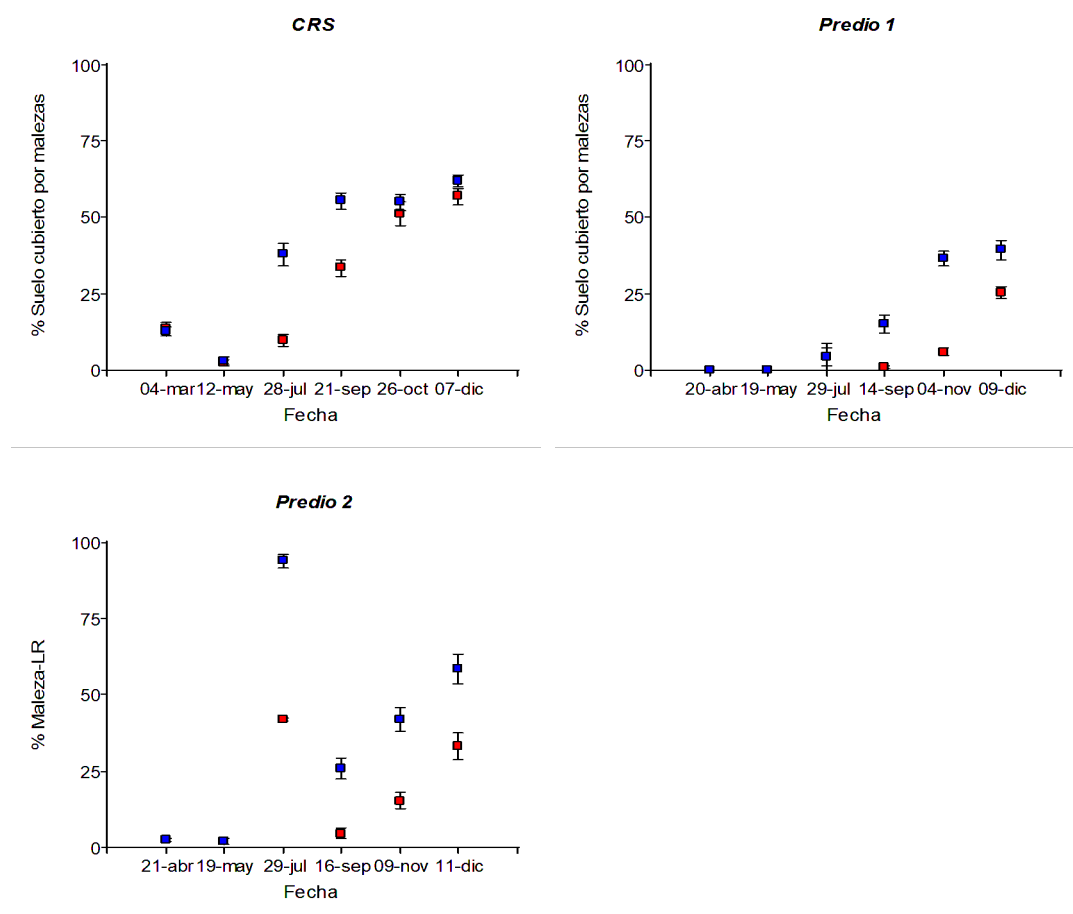
Figura A1

Perfiles de suelos de los Sitios 1 y 2



ANEXO B

Proporción de malezas durante el ciclo del cultivo de cebolla según tratamiento en el CRS, Sitio 1 y Sitio 2



Nota. LC en rojo y LR en azul.