

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DEL VOLUMEN DE RASTROJO REMANENTE EN EL LOGRO DE
RESIEMBRA DE RAIGRÁS**

por

Rafael de la ROSA PEREIRA

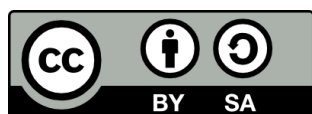
**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – Compartir igual**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Directores:

Ing. Agr. (Dr.) Javier Do Canto

Co-directores:

Ing. Agr. (Dr.) Diego Giorello

Lic. Bioq. (Dr.) Nicolás Glison

Tribunal:

Lic. Bioq. (Dr.) Nicolás Glison

Ing. Agr. (Mag.) Silvana González

Ing. Agr. (Dr.) Javier García Favre

Fecha:

6 de octubre de 2025

Estudiante:

Rafael de la Rosa

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
LISTA DE TABLA Y FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RAIGRAS ANUAL	10
2.1.1 Origen y generalidades	10
2.1.2. Usos del raigrás	12
2.2. Promociones de raigrás.....	13
2.2.1 Diferentes sistemas de resiembra.....	13
2.2.2. Fases de una promoción y su manejo.....	14
2.3 Persistencia de las semillas y dormición.....	17
2.4 Efectos del rastrojo en el ambiente del suelo.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Localización y periodo experimental.....	22
3.2 Material y diseño experimental	22
3.3 Manejo experimental y variables medidas	23
3.4. Análisis Estadístico.....	24
4. RESULTADOS	27
4.1. Precipitación y temperatura del aire durante el periodo experimental.	27
4.2. Efecto del tratamiento en la cantidad de rastrojo	28
4.4. Efecto del rastrojo en la humedad del suelo	30
4.5 Efecto del tratamiento en el índice de área foliar	32
4.6 Porcentaje de radiación interceptada	33
4.7 Evolución del estado de semillas.....	34
4.8 Logro de plantas, producción de forraje y cobertura del suelo	35
5. DISCUSIÓN.....	37
6. CONCLUSIONES	42
7. BIBLIOGRAFÍA.....	43

LISTA DE TABLA Y FIGURAS

Tabla No. Página

Tabla 1 Rastrojo de raigrás resultante por tratamiento (kgMS/ha) 28

Figura No. Página

Figura 1 Evolución de la temperatura (°C) del suelo a 2 cm de profundidad a lo largo del día 21

Figura 2 Precipitación mensual acumulada durante el período experimental en comparacion con valores históricos 27

Figura 3 Temperatura media del aire durante el periodo experimental en comparación con valores promedios históricos 27

Figura 4 Temperatura del suelo a 1 cm de profundidad por tratamiento dentro de cada fecha 29

Figura 5 Temperatura del suelo a 3,5 cm de profundidad durante el periodo 30

Figura 6 Porcentaje de humedad del suelo a 3,5 cm de profundidad por tratamiento en cada fecha 31

Figura 7 Porcentaje promedio de humedad del suelo a 20 cm de profundidad para cada fecha 32

Figura 8 Índice de área foliar por tratamiento dentro de cada fecha 33

Figura 9 Porcentaje de radiación interceptada por tratamiento dentro de cada fecha 33

Figura 10 Evolución del estado de las semillas según tratamientos de rastrojo remanente 35

Figura 11 Número de plantas logradas en otoño y porcentaje de logro según tratamiento 35

Figura 12 Producción de forraje y porcentaje de cobertura según tratamiento al primer corte 36

RESUMEN

El presente trabajo aborda la dinámica de la resiembra natural del raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) con foco en el efecto del manejo del barbecho estival mediante diferentes volúmenes de rastrojo. La importancia de esta temática radica en optimizar la implantación de raigrás a través del banco de semilla generado, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad del sistema.

El objetivo principal del estudio fue evaluar si el volumen de rastrojo remanente afecta el porcentaje de logro final, también entender como modifica las condiciones ambientales del suelo (temperatura, humedad y radiación) durante el verano, y en consecuencia, ver su afecto en la dinámica de dormición, la germinación y el establecimiento final de plantas a partir del banco de semillas. El experimento se realizó del 5 de diciembre de 2022 al 3 de abril de 2023 en la Unidad Experimental INIA Glencoe, ubicada en el departamento de Paysandú (Latitud 32,02°S; Longitud 57,16°O). El procesamiento de muestras se realizó en el laboratorio de Pasturas en la sede de INIA Tacuarembó (ruta 5, km 386). El diseño experimental fue de bloques completos al azar (DBCA) compuesto por cuatro bloques y cuatro tratamientos, totalizando 16 unidades experimentales (parcelas rectangulares de 2 x 5,5 metros). Se midieron variables del suelo (temperatura a 1 cm y a 3,5 cm, humedad a 3,5 cm y 20 cm), radiación interceptada, evolución del estado de semillas, y se determinó el porcentaje de logro final y la producción de biomasa.

Los resultados mostraron que un mayor volumen de rastrojo generó un ambiente más húmedo y con menor temperatura en la superficie, con mayor intercepción de radiación fotosintéticamente activa. A pesar de que la cantidad de rastrojo generó diferencias significativas en la temperatura y humedad del suelo, no se observaron efectos del tratamiento sobre la evolución de la dormición de las semillas. A pesar de las diferencias en humedad y temperatura, se observó una alta conservación del banco de semillas hasta principios de marzo. En términos de germinación, los tratamientos con mayor rastrojo presentaron una emergencia más temprana, aunque no se tradujo en diferencias en el número final de plantas logradas.

Las conclusiones indican que el manejo del rastrojo durante el verano modifica las condiciones del suelo y puede adelantar la germinación, pero no impacta de forma significativa en la densidad final de plantas establecidas en otoño. Por tanto, el volumen de rastrojo no determinó ventajas agronómicas claras en la reimplantación del raigrás bajo las condiciones evaluadas.

Palabras clave: promoción, raigrás anual, *Lolium multiflorum*, dormición, rastrojo

ABSTRACT

This study addresses the dynamics of natural reseeding of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), focusing on the effect of summer fallow management through different levels of crop residue. The importance of this topic lies in optimizing ryegrass establishment via the seed bank, thus reducing costs and improving system sustainability.

The main objective was to evaluate whether the amount of residue left on the soil surface affects final plant establishment, to understand how it modifies environmental conditions (temperature, moisture, and radiation) during summer, and how this, in turn, influences seed dormancy dynamics, germination, and plant establishment from the seed bank. The experiment was conducted from December 5, 2022, to April 3, 2023, at the INIA Glencoe Experimental Unit, located in the department of Paysandú (Latitude 32.02°S; Longitude 57.16°W). Sample processing was carried out at the Pasture Laboratory of INIA Tacuarembó (Route 5, km 386). A randomized complete block design (RCBD) was used, with four blocks and four treatments, resulting 16 experimental units (rectangular plots measuring 2 x 5.5 meters). Soil variables were measured (temperature at 1 cm and 3.5 cm depth, moisture at 3.5 cm and 20 cm), as well as intercepted radiation, seed dormancy status over time, final establishment percentage, and biomass production.

Results showed that higher residue levels created a moister and cooler surface environment, with greater interception of photosynthetically active radiation. Despite significant differences in soil temperature and moisture among treatments, no effects on the progression of seed dormancy were observed. Regardless of these environmental variations, the seed bank remained largely conserved until early March. In terms of germination, treatments with higher residue levels promoted earlier emergence, although this did not result in significant differences in the final number of established plants.

It is concluded that summer residue management alters soil conditions and may advance germination timing, but does not significantly affect autumn plant density. Therefore, under the evaluated conditions, residue volume did not result in clear agronomic advantages for ryegrass reseeding.

Keywords: promotion, anual ryegrass, *Lolium multiflorum*, seed dormancy, stubble

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el porcentaje de la superficie destinada a praderas artificiales y mejoramientos forrajeros, ha aumentado a lo largo de los años, pasando de 16,4% en el periodo 2013/14 a 19,1% en el periodo 2020/21, ocupando un área total de 2.734.448 hectáreas (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2022).

El cultivo de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) está extensamente difundido en los sistemas ganaderos como una de las principales opciones forrajeras para el período invernal. La estimación de uso nacional de semillas de raigrás aportada por el Instituto Nacional de Semillas (INASE, 2025) de los últimos 5 años supera en promedio las 12 mil toneladas anuales, equivalentes a unas 687 mil hectáreas sembradas por año; esta información se obtiene ingresando al enlace en la referencia y seleccionando la opción “Estimación de Uso”, luego se elige de forma discriminativa el “Año” deseado (2024) y la “Especie”, según nombre común (raigrás anual) y nombre científico (*Lolium multiflorum*). Este cultivo forrajero tiene gran versatilidad, ya que puede ser usado tanto como cultivo puro en verdeos invernales, o dentro de praderas mixtas como componente gramínea en mezclas con otras especies, y también en mejoramientos de campo natural, aumentando la calidad y productividad estacional y anual de estos sistemas (Rossi, 2017). Esto se debe a su gran adaptación y rusticidad proporcionando buena competencia inicial por su rápida implantación, buena productividad, calidad nutricional y producción de semilla (Piñeiro Andión et al., 2001).

Esta última característica, le proporciona a muchos sistemas ganaderos una ventaja, ya que tiene una alta capacidad de resiembra natural por producir gran cantidad de semilla viable, las cuales mantienen cierta dormición en el periodo estival, germinando e instalándose nuevamente en otoño, momento donde las condiciones son más adecuadas para la supervivencia de las plantas reclutadas (Gigón et al., 2017). De esta manera, si se lo maneja adecuadamente, permite mantener a la especie durante varios ciclos de producción en los sistemas pastoriles. Una de estas formas de manejo es la promoción de raigrás, donde se maneja el cultivo puro y se combina la semillazón intencional con la eliminación de la competencia de otras especies a partir de la segunda mitad del verano (Scheneiter, 2014).

Según Do Canto y Giorello (2023), el restablecimiento anual del raigrás mediante la resiembra natural es una práctica común entre los productores uruguayos, y el éxito de esta práctica depende de la habilidad de los productores de balancear el pastoreo y la producción de semillas durante la primavera. El potencial de resiembra de una pastura

de raigrás está definido por el tamaño del banco de semillas logrado en la anterior estación de crecimiento, la persistencia de dicho banco durante el verano y el reclutamiento y sobrevivencia de plántulas a inicios de la estación de crecimiento siguiente. Estos autores concluyen que cultivares de ciclo temprano tendrían mayores posibilidades de éxito al lograr un mayor banco de semillas inicial. Sin embargo, también encontraron que mayores producciones de semilla se asocian a mayores volúmenes de rastrojo remanente y esto incide en la temperatura y humedad superficial del suelo durante el verano, con posibles efectos en la persistencia del banco de semillas y la sobrevivencia de las plántulas.

En un trabajo reciente, usuarios de esta práctica resaltan la importancia de mantener volúmenes importantes de rastrojo para favorecer la reimplantación del raigrás (Peirano, 2024), aunque su efecto en el banco de semillas y la sobrevivencia de plántulas aún no han sido cuantificados. En este sentido, se plantea como objetivo general de este trabajo evaluar el efecto de diferentes volúmenes de rastrojo en la reimplantación del raigrás.

Los objetivos específicos son:

- Determinar el efecto del volumen de rastrojo en el porcentaje de logro.
- Generar indicadores para predecir el resultado de la resiembra en base a la cantidad de semillas y el volumen de rastrojo generados a fines de primavera.
- Identificar la covariación entre condiciones resultantes (temperatura, humedad y radiación) en la persistencia de semillas y la sobrevivencia de plántulas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RAIGRAS ANUAL

2.1.1 Origen y generalidades

Raigrás anual ha sido descrito en 1778 por Lamarck, y es una gramínea nativa de ambientes mediterráneos de Europa y África, la cual se comenzó a cultivar en Lombardía (Italia, s. XIII–XIV). Se encuentra en toda Europa, norte de África y Asia (Aramendía, 2005). Al ser una especie alógama, mayoritariamente autoincompatible, que se reproduce mayoritariamente mediante polinización cruzada, fácilmente se cruza produciendo híbridos fértiles que le proporciona gran variabilidad y adaptación a diferentes ambientes y en parte esto explica su consistente naturalización (Gigón et al., 2017; Rossi et al., 2019).

Se trata de una gramínea anual invernal que produce gran volumen de forraje, con muy buen rebrote, gran adaptación al pastoreo y a los excesos de humedad; además, tiene una alta capacidad de resiembra (Carámbula, 2002). Esta especie se encuentra comúnmente en los campos uruguayos (Milot et al., 1987) y en los países vecinos, puesto que se ha naturalizado a partir de escapes de pasturas donde fueron y son cultivadas, resultando en una especie subespontánea (Gigón et al., 2017). En Uruguay se comienza a cultivar como tal a fines de la década de 1940, cuando el Instituto Fitotécnico y Semillero Nacional La Estanzuela obtiene el primer cultivar conocido como “Estanzuela 284”, aunque su importancia como forrajera ya era reconocida (Henry, 1952).

Según su comportamiento fenológico, los raigrases pueden clasificarse en dos subespecies:

i) Raigrás tipo *Westerwoldicum* (*Lolium multiflorum* ssp. *multiflorum*) es una subespecie estrictamente anual por lo que florece y produce semillas en el año de siembra. Al no poseer requerimientos de frío sus macollos entran en estado reproductivo en la primavera independientemente de la época de siembra y mueren en el verano (Ayala et al., 2010; Humphreys et al., 2010). Estos raigrases son los más sembrados en Sudamérica (Argentina, Chile, Uruguay y partes de Brasil), Sudeste de Norteamérica, Sudáfrica, Nueva Zelanda, sur de Australia, sudeste de Asia (Japón, China e India) y en Europa en la zona Mediterránea y central. En estos lugares se cultiva durante el otoño e invierno (Humphreys et al., 2010). Algunos ejemplos de cultivares dentro de este grupo son Estanzuela 284 e INIA Cetus (Ayala et al., 2010)

ii) Raigrás tipo italiano (*L. multiflorum* ssp. *italicum*) es una subespecie bienal de raigrás que generalmente desarrolla muy pocos macollos reproductivos en el año de siembra manteniéndose más hojoso durante toda la estación de crecimiento y siendo utilizado en pasturas de 1 o 2 años (Humphreys et al., 2010). Presentan requerimientos de vernalización y días largos para generar tallos reproductivos, por lo que en condiciones donde sus macollos no cubren los requerimientos de frío permanecen en estado vegetativo, pudiendo sobrevivir el verano si las condiciones del ambiente estival en cuanto a humedad y temperatura lo permiten (Ayala et al., 2010; Humphreys et al., 2010). Algunos ejemplos de cultivares dentro de este grupo son INIA Titán e INIA Escorpio.

Los cultivares de raigrás se dividen en dos grandes grupos según su ploidía (número de juegos completos de cromosomas): diploides ($2x=28$) y tetraploides ($4x=28$). Los raigrases en la naturaleza son originalmente diploides y a través del mejoramiento genético se obtuvieron de forma artificial las variedades tetraploides a través de la duplicación cromosómica (Piñeiro Andión et al., 2001), mediante el tratamiento con sustancias químicas como la colchicina, que interfiere en la formación del huso acromático permitiendo obtener gametos no reducidos (Umbriago, 2021). Los diploides se caracterizan por producir un mayor número de macollos con hojas más finas y tienen mayor rusticidad en cuanto a manejo y ambiente. Los tetraploides, en cambio, presentan hojas más anchas y un menor número de macollos por planta pero de mayor tamaño (Amigone & Tomaso, 2006). También en relación a los tetraploides producen semillas de mayor tamaño lo que le proporciona un mayor vigor inicial al momento de la implantación (Carámbula, 2003). El peso de mil semillas oscila entre 2 y 3 gramos para las variedades diploides, y entre 3 y 4 gramos para las variedades tetraploides (Amigone & Tomaso, 2006; Rodríguez Ocampo, 2022; Rossi, 2017). Trabajos comparativos encuentran igual o mayor productividad en los cultivares tetraploides respecto a los diploides (Aiolfi et al., 2021; Krolow et al., 2011). Según Amigone y Tomaso (2006), los tetraploides tienen un potencial productivo mayor en condiciones favorables del ambiente (humedad, nivel de nitrógeno, etc.) en comparación a los diploides, con una mayor digestibilidad de ese forraje por una mejor relación hoja/tallo, generando mayor apetecibilidad por el ganado por tener mayor cantidad de hidratos de carbono solubles en su tejido (Carámbula, 2003).

2.1.2. Usos del raigrás

El raigrás anual es una de las principales especies forrajeras utilizadas en el país, donde cumple diferentes funciones según el objetivo de cada sistema de producción (Rossi, 2017).

En los sistemas de agricultura de secano, dominados por cultivos de verano, el raigrás se ha introducido como una opción importante en la rotación, cumpliendo la función de cultivo de cobertura invernal. En este sentido, los cultivos de cobertura (CC) son una herramienta agronómica que cumple el rol de aportar carbono, crear cobertura vegetal e incrementar el potencial de rendimiento de los cultivos de renta de verano. El objetivo es llegar con la máxima cobertura y generación de biomasa antes de la siembra del cultivo renta para generar mayor entrada de carbono y proteger el recurso suelo de la erosión (Siri-Prieto & Ernst, 2011).

El raigrás se ha incorporado en los Sistemas Integrados de Cultivo-Ganadería (SIGC), donde utilizan la diversificación productiva como estrategia para mejorar la productividad ganadera y agrícola con el objetivo de aumentar la eficiencia del uso de la tierra de forma sustentable a largo plazo (Pereyra-Goday et al., 2022; Rovira et al., 2020). Según datos de DIEA (2018, como se cita en Rovira et al., 2020), los sistemas mixtos de cultivo-ganadería en Uruguay incluyen 4905 establecimientos correspondientes a 2.519.000 ha aproximadamente, esto representa el 10% del total de productores ganaderos en Uruguay (excluyendo la lechería) y el 17% de la superficie total utilizada por la ganadería. Las principales razones para incluir pasturas en los sistemas de cultivos son la baja productividad de los pastizales naturales, mejora de las condiciones del suelo y el aumento del rendimiento de los cultivos luego de una fase de pastura (Pereyra-Goday et al., 2022; Rovira et al., 2020). Estos autores mencionan que estos sistemas implican una rotación con pasturas perennes o anuales que se incluyen en la secuencia de cultivos de invierno y verano, donde el raigrás se utiliza como componente gramínea en la fase de pastura de las rotaciones cortas, momento donde comienza la producción intensiva de carne, principalmente las fases de recría e invernada.

Una realidad de la incorporación del raigrás en este contexto son los sistemas mixtos de arroz – ganadería que se desarrolló como una opción de intensificación del cultivo y la producción ganadera. El raigrás se siembra sobre el rastrojo de arroz o sobre laboreos de verano entre dos cultivos de arroz consecutivos. La finalización del período de utilización de la pastura en la fase ganadera está determinada por la necesidad de entregar las chacras para la siguiente siembra del cultivo de arroz entre agosto y setiembre. Por ende son pasturas de corta duración donde se insertan esquemas intensivos de producción de carne, como la recría bovina, o el engorde de corderos y vacas (Cuadro et al., 2014; Simeone et al., 2008).

El raigrás también ha tenido una participación en el sector lechero, que es dependiente de una intensa agricultura forrajera. Este rubro a lo largo de las décadas ha pasado por un proceso de cambios tecnológicos hacia una producción más intensiva, eficiente y planificada. Entre los principales cambios están la adopción de la siembra directa y el concepto de rotación forrajera, donde se buscó acortar el tiempo de barbecho total, y aumentar la producción total y de reservas forrajeras en forma planificada y estable. En las distintas secuencias y rotaciones preponderantes, el raigrás es una de las especies utilizadas como verdeos, y por sus características es ideal para ser usado como cabeza de rotación (Díaz-Rossello & Durán, 2011; Lazbal, 2004).

En los sistemas ganaderos, el raigrás como verdeo invernal, es una tecnología tradicionalmente utilizada, ya sea para cubrir las carencias de pasto en el invierno, característico de nuestro campo natural, como también para complementar los aportes forrajeros de praderas recién instalada comúnmente utilizada en sistemas más intensivos (Zanoniani et al., 2003). Produce gran volumen de forraje en un período corto de tiempo, permitiendo cubrir las deficiencias normalmente producidas durante su estación de crecimiento (Zanoniani & Noëll, s.f.). En relación a los rendimientos anuales de forraje Pedrozo Altesor et al. (2018) lograron valores de 6,9 t/ha de materia seca en raigrases diploides, mientras que Gutiérrez y Calistro (2013) reportan producciones de hasta 11,6 t/ha de materia seca dependiendo del cultivar. En vacunos pastoreando raigrás, se han reportado datos de ganancias de peso mayores a 1 kg por animal y por día (Berrutti Zorrilla de San Martín et al., 2018; Gorelik Zonis & Ré, 2021; Rovira et al., 2014) y producciones de carne entre 440 y 830 kg/ha (Gorelik Zonis & Ré, 2021; Maschio Molinari et al., 2020).

2.2. Promociones de raigrás

2.2.1 Diferentes sistemas de resiembra.

La resiembra como forma de regenerar anualmente el raigrás se ha adoptado en distintos sistemas productivos tanto en la región como fuera de ella.

Uno de estos casos es la siembra de raigrás en cobertura sobre gramíneas estivales, permitiendo su semillazón y la reimplantación es promovida a través de cortes mecánicos y pastoreos. Esta es una práctica común en las grandes planicies del sur de EEUU donde la producción de forraje está compuesta principalmente por especies estivales ya que las especies perennes invernales presentan baja persistencia debido al estrés hídrico y térmico al que están expuestos en verano. Esta opción viable y de

bajo costo se asemeja más a un mejoramiento de campo donde se pretende la convivencia del raigrás con el tapiz natural (Bartholomew & Williams, 2009).

En el otro extremo, están los sistemas integrados agrícola-pecuarios con laboreo cero, comunes en el sur de Brasil, donde rotan un cultivo de soja en el verano y raigrás anual en el invierno, con instalación del raigrás anualmente mediante resiembra natural (Costa, 2005). Un manejo típico consiste en el pastoreo del raigrás hasta octubre y, luego de retirados los animales, se aplica urea para mejorar la semillazón. A inicios de diciembre se aplica glifosato y se siembra la soja. La soja es cosechada a fines de abril, momento en que el raigrás se está reinstalando (Costa, 2005). De esta forma, el raigrás actúa como un cultivo de servicios de bajo costo que a su vez es aprovechado para la producción pecuaria maximizando racionalmente el uso de la tierra y diversificando la producción (Assmann et al., 2004; Carvalho et al., s.f.; Coelho Filho & Quadros, 1995; De Moura Zanine et al., 2006).

En Argentina en cambio, se difundió en la década de los 90 la “promoción del campo natural” o la “promoción de otoño”, que consistía en controlar la competencia de las especies estivales hacia fines de verano para permitir la germinación y establecimiento de plantas de raigrás anual desde el banco de semillas. De esta forma se buscaba mejorar el balance de la oferta de forraje a lo largo del año en pasturas naturales marcadamente primavera-estivales (Bailleres, 2016; De la Vega, s.f.; Scheneiter, 2014).

En Uruguay, la regeneración anual de verdeos de raigrás mediante el fomento de la resiembra natural es una forma de manejo habitual del verdeo que implica tanto la semillazón intencional como el control químico de la competencia (Peirano, 2024; Peirano et al., 2024). Según estos autores, en estos casos y por distintos motivos, el raigrás se maneja en ausencia de rotaciones agrícolas o forrajeras, y la práctica surge de manera espontánea entre productores a través de su observación y experimentación, logrando obtener una pastura renovada a bajo costo y con facilidades logísticas.

2.2.2. Fases de una promoción y su manejo

Durante la fase de utilización de la pastura no hay diferencias en los criterios del pastoreo y fertilización para la producción de materia seca en comparación a un verdeo convencional. Fuera esto se detectan tres etapas claves de manejo: i) la semillazón, ii) el barbecho estival, y iii) la reimplantación (Peirano et al., 2024).

i) Según Peirano (2024), esta etapa comienza una vez iniciada la fase reproductiva del raigrás. Es clave para el éxito de la promoción el manejo del pastoreo a partir de este momento, principalmente determinar el momento del último pastoreo ya que impacta

directamente en la producción final de semilla. En relación a lo último, este autor encuentra que no hay un consenso claro entre los productores del momento preciso a realizarlo, sino que cada productor/técnico realiza la práctica en base a su experiencia personal. Comenta que, en términos generales, se busca hacer un cierre para permitir la semillazón desde principios de octubre a mediados de noviembre. En cambio, algunos productores optan por un pastoreo continuo a cargas bajas, permitiendo mayor selección de hojas y mayor rechazo de espigas. La carga es disminuida hasta el punto donde “la tasa de crecimiento supere la tasa de consumo”, esto sería aproximadamente un vacuno adulto cada dos hectáreas. De esta forma se logra un mayor aprovechamiento del pastoreo (Peirano et al., 2024).

El rendimiento potencial de semillas de raigrás según Rossi (2017) está determinado por los componentes de rendimiento, como son el número de espigas/m², el número de espiguillas por espiga, el número de semillas/espiguilla y el peso de mil semillas. Este autor determina que el componente crítico para obtener una adecuada producción de semilla es el número de espigas/m². Una vez logrado eso, los componentes principales para la concreción del potencial son el número de semillas por espiguilla y su peso. También comenta que el número de espigas se favorece con un manejo del nitrógeno que promueva el macollaje y un cierre del pastoreo que no afecte los tallos reproductivos. La obtención de semillas con un apropiado peso se obtiene con la fertilización al momento del cierre. Por otro lado, Rodríguez Ocampo (2022) determinó que la diferencia en producción de semillas entre distintos cultivares está dada por el componente de número de semillas/espiga.

Do Canto (2019) simulando manejos de resiembra evaluó el efecto de distintos momentos de cierre en la producción de semillas y sus componentes de rendimiento sobre dos variedades diploides de ciclo contrastante (floración temprana vs. tardía). Encontró que la producción total de semillas resultante descendió de 2175 kg/ha con un cierre temprano (30% de macollos reproductivos), a 679 kg/ha con un cierre tardío (90% de macollos reproductivos). Estos valores fueron explicados principalmente por una disminución en el peso de mil semillas y en el número total de semillas. Otro trabajo realizado por Da Cunha (2012) evaluó el efecto del número de cortes en la producción de forraje y semillas, y concluyó que el tercer corte de forraje de raigrás, realizado el 21 de octubre disminuyó significativamente la producción de semilla (234 kg/ha) en comparación a cero cortes, un corte realizado el 8 de agosto, y dos cortes realizados el 8 de agosto y 23 de setiembre. Estos últimos no tuvieron diferencias en producción de semillas promediando 713 kg/ha. Esto fue explicado por una disminución del número de macollos fértiles en relación al número total de macollos por planta.

Según Barbosa et al. (2008), el método de pastoreo no afecta la producción final de semillas pero sí lo hace la intensidad de pastoreo, teniendo la resiembra natural una correlación positiva con la altura final del pasto al año anterior (aquella pastura cuya altura al final del ciclo estuvo por encima de 12 cm pudo asegurar su resiembra). Esto lo explica con que la pastura manejada con menor intensidad de cosecha, disminuye la posibilidad de decapitación y muerte de macollos, aumentando la probabilidad de que completen su ciclo y semillen. A su vez, Bruera y Fernández (2018) realizaron un experimento sobre promociones de raigrás bajo pastoreo continuo, pastoreo rotativo y sin pastoreo, arrojando producciones de semilla de 390 kg/ha y 460 kg/ha, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos, aunque encontraron diferencias en algunos componentes de rendimiento como el número de espigas/m². En la misma línea de trabajo, Tarnonsky (2018) realizó el estudio durante dos años pero sobre pastoreo continuo con diferentes cargas y no encontró un efecto de la intensidad del pastoreo en la producción de semilla, pero sí un efecto importante del año obteniendo 612,2 kg/ha $\pm$ 61,0 kg/ha el primer año mientras que para el segundo fue de 330,7 kg/ha $\pm$ 61,1 kg/ha, arrojando en promedio una producción de 472 kg/ha.

ii) Sobre el manejo del barbecho estival, técnicos y productores entrevistados por Peirano (2024) consideran fundamental terminar la primavera con un buen remanente de raigrás y llegar a febrero con el suelo completamente cubierto de rastrojo para mitigar las altas temperaturas del suelo, conservar mayor humedad y así disminuir la mortandad de plantas en la fase reimplantación. Esta cobertura en el suelo reduce la dependencia de condiciones climáticas para una correcta reimplantación, específicamente humedad y temperatura. A pesar de esto el autor menciona que es común que se hagan pastoreos durante el verano para aprovechar el crecimiento de gramíneas estivales, pero esto hace disminuir la cobertura, y la reimplantación resulta más dependiente de las condiciones del año. El autor también afirma que no existe información experimental que sugiera cuál es el manejo adecuado en esta fase y se debe generar información sobre qué nivel de cobertura de rastrojo es adecuada. Como se verá en la sección 2.4, los principales efectos del rastrojo son sobre la temperatura y humedad del suelo, y la cantidad y calidad de luz que llega a la superficie del suelo. Estos factores a su vez afectan la evolución del banco de semillas del suelo (Sección 2.3).

iii) La etapa de reimplantación al finalizar el verano comprende pautas de manejo relacionadas a la eliminación de la competencia de otras especies haciendo un control del tapiz (Bailleres, 2016; Scheneiter, 2014). De esta forma se mejora la calidad de la luz posibilitando una correcta germinación de las nuevas plantas y favoreciendo la disponibilidad de nutrientes solubles.

Comúnmente se utilizan tres métodos para este fin: el pastoreo intenso, el corte mecánico y el uso de herbicidas, siendo común el uso de glifosato puro o en mezcla como ventaja para el control de especies de hoja ancha. Este último método de control es el más utilizado en Uruguay, donde se realiza la aplicación de herbicidas después de las primeras lluvias a principios de febrero. A pesar de esto, Peirano (2024) encuentra una amplia variación entre productores en el momento de realizar el control del tapiz, desde inicios de febrero a marzo, mientras algunos también hacen una aplicación previa en diciembre. A su vez, en menor medida algunos productores evitan el uso de químicos y optan por realizar pastoreos intensos o control mecánico para disminuir el tapiz. Estos dos últimos métodos se han asociado a menores productividades del raigrás y más tardías (Peirano, 2024). Resultados de experimentos en Argentina de control del tapiz con glifosato o pastoreo, fueron a favor del herbicida para promocionar el raigrás anualmente, demostrando ventajas en los dos primeros pastoreos y generando mayor producción de biomasa en ambos cortes (Bailleres, 2016). Este autor afirma que este control debe hacerse incluso si ya hay camadas de raigrás nacidas. En algunos casos, productores siembran al voleo semilla de raigrás a baja densidad para complementar la semillazón (Peirano, 2024).

Como menciona Peirano (2024), uno de los principales problemas en esta fase son los frecuentes déficits hídricos que generan mortandad de plántulas y fallas en la implantación. Carámbula (2003) también afirma que la temperatura inadecuada asociada a falta de humedad y falta de cobertura, son de los principales problemas de la implantación de estas pasturas. Formoso (2010) demostró que ocurre alta mortandad de plantas en siembras de enero y febrero, asociadas a altas temperaturas, mientras que aun en las siembras tempranas de marzo en siembra directa hubo marchitamiento de plantas. Esto afirma la importancia de un correcto manejo de la cobertura vegetal durante el verano y el momento adecuado de control de malezas.

2.3 Persistencia de las semillas y dormición

Comprender cómo funcionan los bancos de semillas en el suelo es clave para entender la viabilidad y la persistencia del raigrás en el sistema. Para que las semillas germinen se tienen que dar un conjunto de condiciones del ambiente como temperatura, humedad, luz, entre otras. Asimismo, aunque se den estas condiciones, las semillas de muchas especies no germinan y esto está dado por una condición fisiológica llamada dormición. La dormición es un mecanismo natural adaptativo que controla la germinación, permitiendo la supervivencia de las semillas y que la germinación ocurra

en condiciones más favorables para el crecimiento de las plántulas (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Pérez García & Pita Villamil, 1999). La dormición fisiológica es causada por mecanismos que imposibilitan el crecimiento del embrión, donde actúa un conjunto de componentes genéticos, ambientales y hormonales (Baskin & Baskin, 1998; Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Los mecanismos involucrados en la dormición del raigrás podrían estar relacionados tanto a la restricción impuesta por las cubiertas al intercambio gaseoso como a la presencia de inhibidores químicos de la germinación. Esto se ha visto en el trabajo realizado por Supiciche et al. (2015), donde concluyeron que no se trata de un impedimento físico de las cubiertas al crecimiento del embrión, si no a un control hormonal y de intercambio gaseoso. Observaron que el tratamiento con semillas sin cubiertas registró un porcentaje final de germinación significativamente mayor al testigo (semillas enteras). También demuestra que la dormición no está dada por una restricción de la entrada de agua al embrión, ya que la imbibición se produjo de manera similar tanto en semillas dormidas como no dormidas. La dormición fisiológica como la que presentan muchas especies, incluidos los *Lolium* sp., está controlada por un balance hormonal entre el ácido abscísico (ABA) que actúa como inhibidora de la germinación y las giberelinas (GA) que la promueve. Los factores ambientales, como la temperatura, afectan el balance ABA:GA y la sensibilidad a estas hormonas. La síntesis y señalización de ABA sumado a un metabolismo catabólico de la GA dominan el estado latente, mientras que la síntesis y señalización de GA sumado a un metabolismo catabólico del ABA dominan la transición hacia la germinación (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Por otra parte, Steadman et al. (2003), trabajando con *Lolium rigidum*, demuestran que la liberación de dormición en semillas de raigrás durante el almacenamiento en seco depende de la temperatura y el contenido de humedad de las semillas. A temperaturas de 5 °C (por debajo de la temperatura base de 6,9 °C) no se acumula tiempo térmico, por lo que la dormición no se rompe. A temperaturas intermedias (10–15 °C), la liberación es parcial y lenta, con un máximo de 50% de germinación tras 40 días. En cambio, a temperaturas cálidas (20–30 °C), la dormición se libera rápidamente, superando el 80% de germinación tras 30 días. Según los autores, el régimen más efectivo para romper la dormición fue 30 °C en oscuridad durante 4 semanas, mientras que el régimen que más la mantuvo fue a 5 °C donde no hubo germinación. Los datos sugieren que temperaturas bajas e hidratación prolongada pueden incluso inducir dormición secundaria, un mecanismo de supervivencia en semillas de especies anuales de invierno.

El nivel de dormición se relaciona con el rango térmico en el que puede germinar la semilla, determinado por la temperatura mínima (T_{min}) y máxima (T_{max}) de germinación. Cambios estacionales en la temperatura del suelo modifican T_{max} de las semillas. Durante el verano, las altas temperaturas favorecen el proceso de postmaduración, incrementando la T_{max} y por ende ampliando el rango térmico en el que puede ocurrir la germinación. Cuando el suelo entra dentro de este rango (mayor a la T_{min} y menor a la nueva T_{max}), y hay disponibilidad de agua, se inicia la germinación (Benech-Arnold et al., 2000; Supiciche et al., 2018).

Steadman et al. (2003) también reportan que la temperatura afecta la viabilidad de las semillas. Esta se mantuvo alta cuando las semillas se pusieron a germinar entre 10 y 30 °C, pero cayó drásticamente cuando se las puso a 37 °C. Durante 6, 11, 16 y 22 días de tratamiento, se observó un claro envejecimiento, donde murieron el 3%, 7%, 23% y 61% de las semillas, respectivamente. Este régimen se identificó como el que acelera más el envejecimiento.

A pesar de esto, el raigrás no forma bancos de semillas persistentes y su resiembra natural es vulnerable y está condicionada a la producción de semillas del año previo (Neto et al., 2014). Esto se debe a que el período de dormancia de la especie no es muy prolongado, lo que hace que muy pocas semillas sobrevivan en el suelo durante varios años (Costa, 2005). En su investigación con semillas enterradas a 5 cm de profundidad observó que a los 732 días había menos de 10% de semillas viables. Por lo tanto, se puede afirmar que las semillas de raigrás no perduran más de 2 años en el suelo.

En cambio, Costa (2005) también demuestra que hacia el mes de abril ya ocurrieron la mayoría de las germinaciones del banco de semillas del suelo, alcanzando valores mayores al 90% de germinación, y en el mes de mayo la presencia de semilla en el suelo es insignificante. En la misma línea, Rodríguez Ocampo (2022) muestra que la dormición cae rápidamente luego de la semillazón y se dan germinaciones importantes en enero y febrero. En su trabajo encuentra que el porcentaje de semillas viables remanentes en el suelo a fines de marzo osciló entre cero y 5%, sugiriendo que esta especie no forma un banco de semillas persistente y el éxito del restablecimiento de la pastura va a depender más de la sobrevivencia y prosperidad de las tandas de germinación que ocurran en ese lapso de tiempo.

2.4 Efectos del rastrojo en el ambiente del suelo

La presencia de cobertura en superficie afecta los niveles de humedad y temperatura del suelo, y determinan la calidad y cantidad de luz que llega a las semillas y plántulas. En efecto, como se observa en el trabajo de Deregibus et al. (1994), la intercepción por el canopeo reduce la cantidad de luz que llega al suelo, y modifican la relación rojo/rojo lejano (R/RL), que regula el proceso de germinación, pudiendo inhibir este proceso en las semillas. Los autores pudieron comprobar que el pastoreo intenso puede promover la germinación de semillas de raigrás, ya que al disminuir la cobertura vegetal en superficie aumenta la relación R/RL que es percibido por los fitocromos presentes en la semilla promoviendo la germinación. Y reflexionan concluyendo que un breve pastoreo intenso es suficiente para que casi toda la población de semillas germine en la estación fresca del otoño.

Según Acevedo Hinojosa y Silva Candia (2003) el proceso de evaporación de agua depende de la energía de radiación solar. Estos autores afirman que al no incidir la radiación sobre el suelo sino que sobre el rastrojo, baja la evaporación directa de agua desde el suelo, disminuyendo la pérdida de agua y mejorando el balance hídrico del suelo permitiendo una mayor disponibilidad de agua. A su vez, la energía de las gotas de lluvia al chocar con el rastrojo es disipada por lo que el agua de lluvia no rompe la estructura del suelo y se infiltra lentamente sin producir sellamiento superficial ni erosión hídrica. Siri-Prieto y Ernst (2011) analizaron el efecto en el suelo del cultivo de raigrás como antecesor al cultivo de soja y afirman que el rastrojo aumenta la disponibilidad de agua dependiendo de las precipitaciones, ya que permite que se acumule mayor cantidad de agua en el perfil al evitar la evaporación de agua desde el suelo. Cuanto mayor fue el tiempo de barbecho, mayor fue la acumulación de agua, esto se debió a que no hubo pérdidas de agua por consumo de la cobertura, permitiendo la recarga de agua por las precipitaciones ocurridas. En otro trabajo realizado por Ernst y Siri Prieto (1995) presentaron datos de investigación de la EEMAC, donde midieron el efecto de la humedad del suelo en condiciones de siembra directa con 8000 kg/ha rastrojo en superficie en comparación a un sistema de laboreo. Pudieron observar que el valor medio de humedad (volumétrica) fue mayor en el sistema de siembra directa, presentando a 9 cm de profundidad 21,2% de humedad y a 15 cm 36,5%, en comparación al sistema de laboreo, donde los valores de humedad fueron de 13,2% y 29,1%, respectivamente.

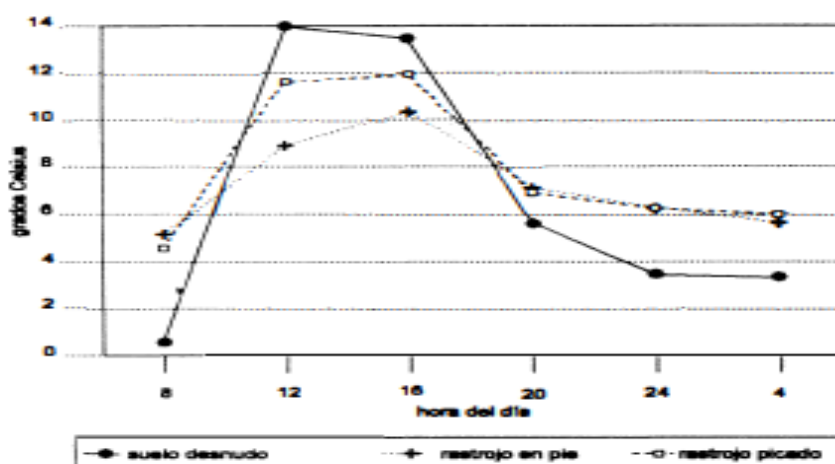
En relación a la temperatura, Aston y Fischer (1986) demostraron que un mayor volumen de rastrojo en la superficie hace que el suelo absorba menor energía, determinando menores temperaturas diarias del suelo en siembra directa. También demostraron que a mayor profundidad las temperaturas son menores y las diferencias entre tratamientos

tienden a igualarse. Por otra parte las pérdidas de energía durante la noche cuando la temperatura del aire es inferior a la de la superficie del suelo, estas pérdidas son menores en siembra directa lo cual están protegidas por el rastrojo. También Gauer et al. (1982) observaron que las temperaturas máximas en el suelo fueron menores cuando el rastrojo fue dejado en superficie comparado con la situación en que éste fue incorporado. A diferencia de las máximas temperaturas, las mínimas no se redujeron en función del sistema de siembra empleado, siendo que en la etapa más fría del día las temperaturas bajo laboreo cero fueron iguales a las de laboreo convencional.

En una publicación realizada por Ernst y Siri Prieto (1995) se presentó la evolución de la temperatura a 2 cm de profundidad en tres condiciones de suelo: suelo desnudo, rastrojo en pie y rastrojo picado. Los resultados se muestran a continuación en la Figura 1.

Figura 1

Evolución de la temperatura (°C) del suelo a 2 cm de profundidad a lo largo del día



Nota. Tomado de Ernst y Siri Prieto (1995).

Se puede observar el claro efecto del rastrojo sobre la temperatura del suelo, donde la presencia del mismo reduce la temperatura máxima, disminuyendo así la temperatura media del suelo. El suelo desnudo fue el tratamiento que presentó mayor temperatura máxima, el de rastrojo en pie la que obtuvo menor temperatura en comparación con el de rastrojo picado. Explicado por la menor radiación que llega a la superficie del suelo que hace que esa energía se disipe, ya que el rastrojo en superficie absorbe la radiación calórica disminuyendo las temperaturas y determinando que las fluctuaciones térmicas sean menores (Ríos, 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y periodo experimental

El experimento fue realizado sobre suelos pertenecientes al grupo CONEAT 12.22 en la Unidad Experimental INIA Glencoe, ubicada en el departamento de Paysandú (Latitud 32,02°S; Longitud 57,16°O). El procesamiento de muestras se realizó en el laboratorio de Pasturas en la sede de INIA Tacuarembó (ruta 5, km 386). El mismo se desarrolló entre el 5 de diciembre de 2022 al 3 de abril del 2023.

3.2 Material y diseño experimental

El experimento fue instalado sobre un área de raigrás cv. Estanzuela 284 sembrado en línea en mayo de 2022. El diseño experimental fue de bloques completos al azar (DBCA) compuesto por cuatro bloques y cuatro tratamientos, totalizando 16 unidades experimentales (parcelas rectangulares de 2 x 5,5 metros). Los tratamientos fueron determinados por la distinta cantidad de rastrojo de raigrás remanente al final de su ciclo, los que fueron generados manejando distintas fechas para el último corte del forraje.

Los tratamientos fueron:

- 1) volumen de rastrojo alto (último corte 15/9/22 con remanente de 5 cm);
- 2) volumen de rastrojo medio alto (último corte 7/10/22 con remanente de 15 cm);
- 3) volumen de rastrojo medio bajo (último corte 15/10/22 con remanente de 5 cm);
- 4) volumen de rastrojo bajo (último corte 30/11/22 con remanente de 1 cm).

La determinación de la cantidad de rastrojo se realizó al momento de instalar el ensayo (09/12/22), donde se cortaron con tijera a ras de suelo 2 submuestras de 0,1 m² (cuadros de 0,2 m x 0,5 m) por parcela. El peso seco del rastrojo se obtuvo luego de secar las muestras en estufa a 60 °C por 72 horas.

3.3 Manejo experimental y variables medidas

El 5 de diciembre de 2022, simulando una semillazón, se esparcieron semillas de raigrás cv. E284 en el centro de cada parcela en un área de 1 m². El objetivo fue lograr una densidad de 75 mil semillas/m². Se utilizó semilla cosechada en noviembre de 2022 y provista por la Unidad de Semillas de INIA La Estanzuela. El peso de mil semillas (PMS) del lote, determinado en cuatro muestras de 500 semillas, fue de 2,23 gramos. La pureza física se determinó en una muestra de 10 gramos donde se apartaron las semillas de otras impurezas, resultando en 97%. A partir del PMS y la pureza física se determinó que la cantidad a esparcir por parcela, equivalente a las 75.000 semillas objetivo, fuese de 172,42 gramos.

Al inicio del experimento se determinaron los porcentajes de germinación, dormición y viabilidad de las semillas sembradas. Para esto, se pusieron a germinar tres muestras de 100 semillas cada una a temperatura constante de 25 °C por 14 días (temperatura por encima del óptimo para la especie). Las germinadas en estas condiciones se consideraron sin dormición. Las no germinadas se pusieron a germinar a temperatura alterna diaria de 16 horas a 15° C en oscuridad y 8 horas a 25° C con luz por otros 14 días (régimen óptimo para la especie). Las no germinadas a alta temperatura, pero germinadas a temperatura óptima, se consideraron en dormición. Se consideró germinadas a las semillas que presentaban desarrollo inicial de la radícula. Las no germinadas luego del período con temperatura óptima se consideraron no viables.

Del mismo modo, buscando medir la evolución del banco de semillas a lo largo del periodo experimental, al inicio del experimento, se agregó a cada parcela dentro de una rejilla de plástico, tres muestras de 100 semillas cada una colocadas contra el suelo por debajo del rastrojo. Cada 30 días, se retiraba una de esas muestras de 100 semillas de cada parcela para determinar en el laboratorio, el porcentaje de semillas germinadas a campo (presentaban radícula), germinables sin dormición (germinadas a temperatura constante de 25 °C por 14 días), semillas dormidas (no germinadas a temperatura constante pero si a temperatura alterna de 16 horas a 15 °C en oscuridad y 8 horas a 25° C con luz por otros 14 días) y semillas no viables (no germinadas a temperatura constante y tampoco alterna).

Para medir el efecto del rastrojo sobre la temperatura y humedad del suelo, se hicieron mediciones semanales, utilizando el medidor TDR (Marca FieldScout, modelo TDR 300) para medir la humedad volumétrica a 3,5 y 20 cm de profundidad. Para la temperatura, se utilizó el TDR para mediciones a 3,5 cm de profundidad y para las mediciones a 1 cm se utilizó un termómetro digital (Marca WMeters, modelo TP101). Las mediciones de

temperatura se realizaban cercano a las 14:00 horas del día de forma de tener una aproximación a la temperatura máxima diaria. Estas mediciones se buscaban hacer al centro del surco, a un metro del borde angosto para que sean lo más representativas posible de la parcela.

Para las mediciones de índice de área foliar (IAF) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada se realizaron mediciones cada dos semanas. Las mediciones se realizaron mediante el uso de un Ceptómetro (Accupar LP80), donde se hicieron tres mediciones arriba del rastrojo para saber la radiación PAR incidente y cinco mediciones abajo para medir la radiación PAR no interceptada. Cada medición (arriba y abajo) se realizaba en ambas cabeceras de cada parcela.

Una vez obtenidas las medidas arriba descritas, el equipo estima los siguientes parámetros: PAR arriba del dosel, PAR abajo, y T (relación entre PAR transmitida e incidente). A partir del parámetro T se estimó el porcentaje de radiación interceptada (radiación interceptada = $(1-T) \times 100$).

El control químico de la vegetación se realizó el 7 de febrero de 2023. Se aplicó una mezcla de herbicidas (3 L de Glifosato y 0,8 L de Lexus Advanced) luego de las primeras precipitaciones significativas de febrero. Para evitar la interferencia de plagas en los resultados del experimento, se monitoreó permanentemente la presencia de plagas y se requirió 4 aplicaciones de Deltametrina (14/12/2022, 04/01/2023, 07/02/2023 y el 27/02/2023) a una dosis de 150 cc para el control de Tucuras (langosta) y 3 aplicaciones de Mercaptothion (cebos) para el control de grillos (13/02/2023, 17/02/2023 y el 27/02/2023).

El 3 de abril de 2023 se realizó el conteo de plantas instaladas al final del experimento usando un cuadro de 0,1 m² (0,1 x 1 m). Se realizaron dos conteos en el metro central (área sembrada) y dos en el área no sembrada en cada parcela. El conteo afuera del área sembrada se hizo como estimación de la población de raigrás espontáneo (no sembrado) proveniente del banco de semillas. La diferencia entre la densidad de plantas dentro y fuera del metro central se consideró como estimación del número de plantas provenientes de la semilla sembrada.

3.4. Análisis Estadístico.

Fueron testeadas las prerrogativas básicas del análisis de varianza, normalidad de los datos y homogeneidad de varianza, y fue asumida la aditividad del modelo y la independencia de los errores. Se realizó el análisis de varianza y comparación de

medias utilizando el software estadístico Infostat (Balzarini et al., 2011) y las diferencias fueron declaradas significativas cuando $P < 0,05$. La comparación de medias fue realizada a través del test de Fisher ($P < 0,05$). Las variables cantidad de rastrojo y número de plántulas emergidas se analizaron según el siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ij} = respuesta observada con el tratamiento i en el bloque j .

μ = media general.

T_i = es el efecto fijo del i -ésimo tratamiento i ; i = rastrojo, numero de plántulas emergidas.

β_j = es el efecto fijo del j -ésimo bloque j ; $j=1,2,3,4$.

ε_{ij} = es el error experimental asociado a la i -ésimo tratamiento, el j -ésimo bloque.

Las variables que tuvieron medidas repetidas en el tiempo como: temperatura, humedad, IAF y evolución del estado del estado de semilla se analizaron según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \gamma_k + T\beta_{ij} + T\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} es la observación en la i -ésimo tratamiento, en el j -ésimo bloque y en el k -ésimo momento de tiempo.

μ : es la media global.

T_i : es el efecto fijo del i -ésimo tratamiento.

β_j : es el efecto fijo del j -ésimo bloque.

γ_k : es el efecto fijo del k -ésimo momento de tiempo.

$T\beta_{ij}$: es la interacción entre el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo bloque (Error 1).

$T\gamma_{ik}$: es la interacción entre el i -ésimo tratamiento y el k -ésimo momento de tiempo.

$\beta\gamma_{jk}$: es la interacción entre el j -ésimo bloque y el k -ésimo momento de tiempo.

ϵ_{ij} es el error experimental asociado a la i -ésimo tratamiento, el j -ésimo bloque y el k -ésimo momento de tiempo.

Al analizar el efecto principal del experimento y ver que la interacción tratamiento por tiempo fue significativa, se analizaron los efectos del tratamiento dentro de cada fecha para observar el efecto de las demás variables.

4. RESULTADOS

4.1. Precipitación y temperatura del aire durante el periodo experimental.

Se presentan los datos de precipitación tomado de la estación meteorológica automática de Glencoe, y la temperatura del aire de la página GRAS-Variables Agroclimáticas de INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2024).

Figura 2

Precipitación mensual acumulada durante el período experimental en comparación con valores promedios históricos

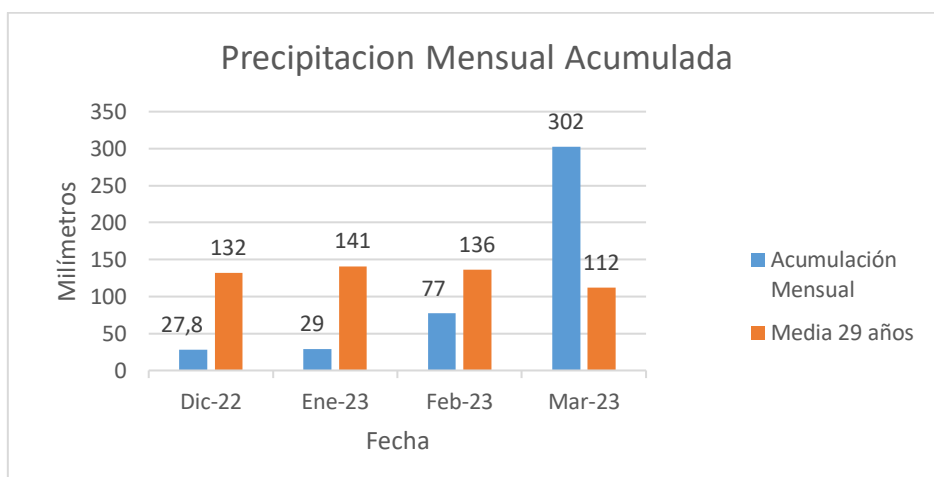
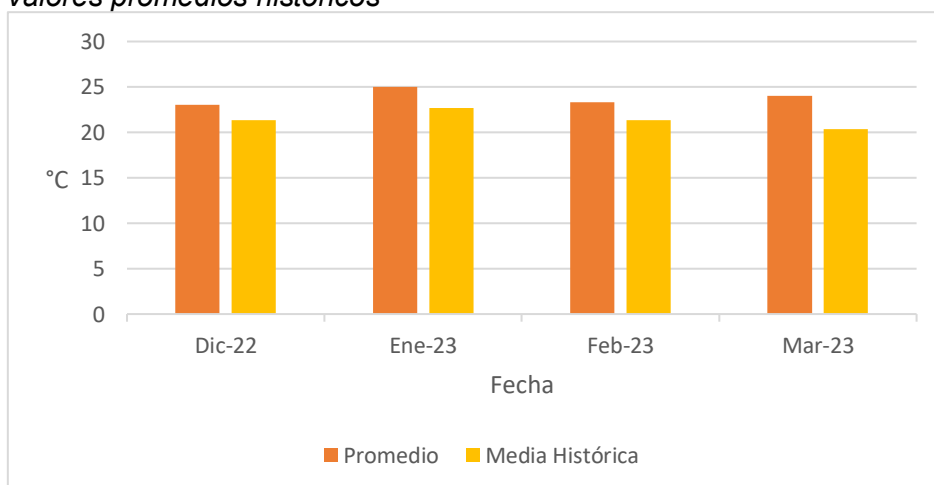


Figura 3

Temperatura media del aire durante el periodo experimental en comparación con valores promedios históricos



Nota. Adaptado de INIA (2024).

Como se puede ver en la Figura 2 el verano fue muy seco, donde se acumuló lluvias por debajo del promedio histórico mensual y recién a fines del verano las lluvias fueron significativas.

En diciembre se acumuló un total 27,8 mm con dos lluvias que ocurrieron el día 23 y 24. En enero llovió 14 milímetros distribuido en tres lluvias: 4 mm el 1 de enero, 9 mm el 21 de enero, y 1 mm el 26 de enero. En el mes de febrero se acumuló un total de 51 mm, también distribuidos en tres lluvias: 16 mm el 2 de febrero, 7 mm el 14 de febrero y 17 mm el 23 de febrero. Ya en el mes de marzo se acumuló un total de 173 mm en una secuencia de tres lluvias, la primera del 15 al 17 de marzo donde llovió 57 milímetros, del 21 al 25 de marzo donde llovió 98 milímetros y del 28 al 30 de marzo donde llovió 17 milímetros.

Con respecto a la temperatura se observa en la Figura 3 que la temperatura durante el verano y el inicio del otoño fue más alta que el promedio histórico, mostrando valores de 1,7°C, 2,3°C, 2°C y 3,7 °C más de temperatura en los respectivos meses.

4.2. Efecto del tratamiento en la cantidad de rastrojo

El volumen de rastrojo varió ($P < 0,0001$) con cada tratamiento siendo mayor la cantidad de rastrojo en el tratamiento Alto, seguido por el tratamiento Medio Alto, Medio Bajo y Bajo respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1

Rastrojo de raigrás resultante por tratamiento (kgMS/ha)

Tratamiento	(Kg MS de raigrás/ha)
Alto	5157 A
Medio Alto	3681 B
Medio Bajo	1707 C
Bajo	478 D

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

4.3. Efecto del rastrojo en la temperatura del suelo

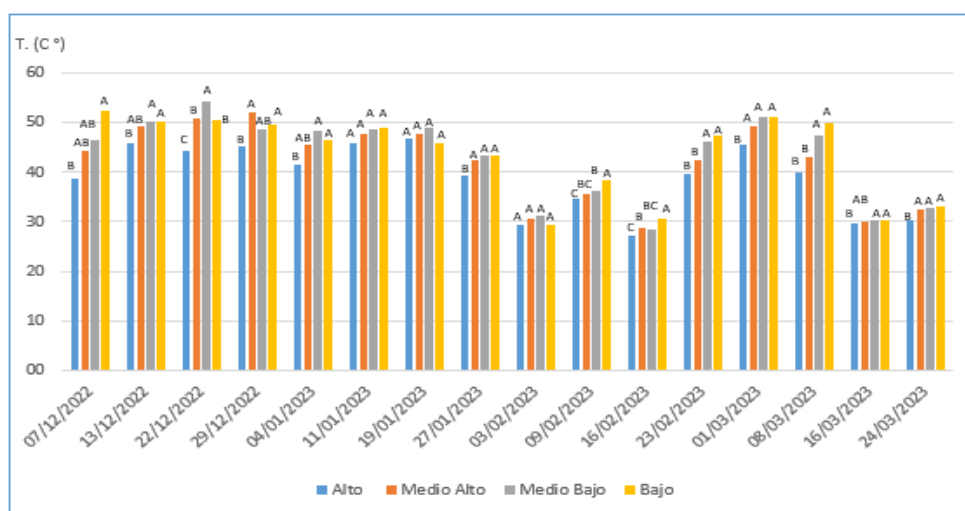
La temperatura del suelo medida a 1 cm varió con los tratamientos ($P < 0,0001$), con las fechas ($P < 0,0001$) y con la interacción entre tratamiento y fecha ($P < 0,0001$).

Las mayores temperaturas ocurrieron en los tratamientos Medio Bajo y Bajo (43,3 y 43,5 °C, respectivamente). El tratamiento Medio Alto tuvo menor temperatura que los anteriores (42,0 °C), y mayor que el Alto (39,0 °C). Entre fechas, la mayor temperatura media registrada fue 50 °C el 22/12/2022 y la más baja fue 28,8 °C el 16/02/2023.

Como se puede ver en la Figura 4 en 13 de las 16 fechas hubo diferencias significativas en la temperatura entre los tratamientos Alto y Bajo. En las fechas del 11/01, 19/01 y 03/02 no hubo diferencias entre tratamientos. Dentro de las fechas con diferencias significativas se observó que, aparte de haber diferencias entre Alto y Bajo, en las fechas (22 y 29/12, 27/01 y 24/03) hubo diferencias significativas entre Alto y Medio Alto. El 7/12 hubo diferencias significativas entre tratamientos Alto y Bajo. El 22/12, el tratamiento Alto presentó menor temperatura media, luego Bajo y Medio Alto no tuvieron diferencias significativas entre sí y, por último, el tratamiento Medio Bajo presentó mayor temperatura que el resto de los tratamientos. En la siguiente fecha (29/12), el tratamiento Alto fue igual estadísticamente a Medio Bajo, pero distinto a Medio Alto y Bajo que no presentaron diferencias de medias. El 16/02, el tratamiento Bajo presentó mayor temperatura que el resto de los tratamientos, que no presentaron diferencias entre ellos.

Figura 4

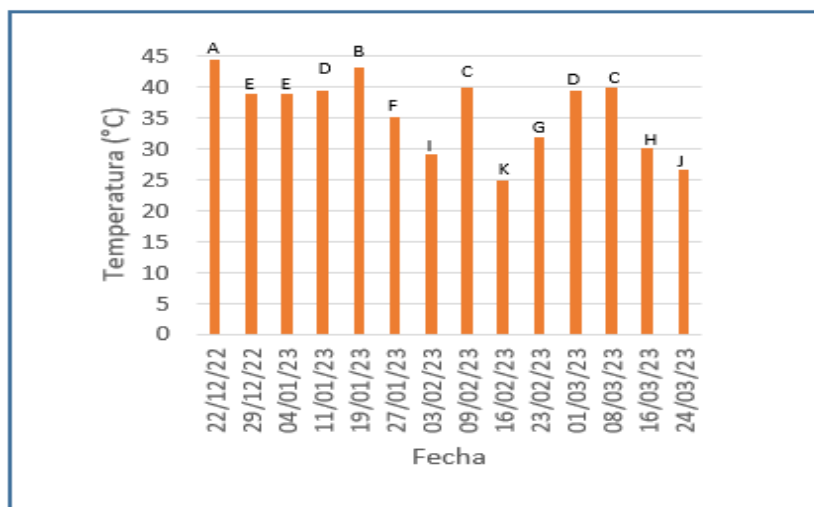
Temperatura del suelo a 1 cm de profundidad por tratamiento dentro de cada fecha



Nota. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente ($P > 0,05$) dentro de cada fecha.

Figura 5

Temperatura del suelo a 3,5 cm de profundidad durante el periodo



La temperatura de suelo medida a 3,5 cm de profundidad no varió con los tratamientos ($P > 0,05$). Sí hubo variación con las fechas ($P < 0,0001$) y no hubo interacción fecha $\times$ tratamiento ($P = 0,1070$). Como se observa en la Figura 5, la fecha que presentó la mayor temperatura máxima fue el 22/12/2022 con un valor medio de 44,4 °C y la menor temperatura el 16/02/2023 con un valor de 24,8 °C.

4.4. Efecto del rastrojo en la humedad del suelo

La humedad del suelo a 3,5 cm de profundidad varió con los tratamientos, con las fechas y en la interacción tratamiento por fecha (Figura 6).

Entre tratamientos, rastrojo Alto tuvo en promedio mayor porcentaje de humedad (19,01%) y el tratamiento de rastrojo Bajo tuvo el menor porcentaje (15,65%).

Analizando las fechas se pudo observar un valor mínimo de 4,95 % el 19/01/2023 y un máximo de 35,33% el 24/3/2023. A su vez se observó a lo largo de todo el experimento tres periodos en relación al porcentaje de humedad promedio registrado (Figura 6). En el mes de marzo se registró el mayor porcentaje de humedad, luego en febrero y por último en diciembre y enero (marzo: 25%, febrero: 22%, diciembre y enero: 10%). Al inicio de experimento (del 22/12/22 al 27/01/23) fue extremadamente seco donde se registró un valor máximo en ese periodo de 18% de humedad el 29/12. Luego en febrero alcanzó un máximo de 29% el 03/02/23 y en el mes de marzo recién a partir del 16/03/23 se alcanzó valores por encima del 30% de humedad llegando a un máximo de 35,8% el 24/03.

Analizando la interacción se puede observar que en líneas generales el tratamiento Alto se mantuvo por encima en porcentaje de humedad donde en ciertas fechas hubo diferencias significativas y en otras no.

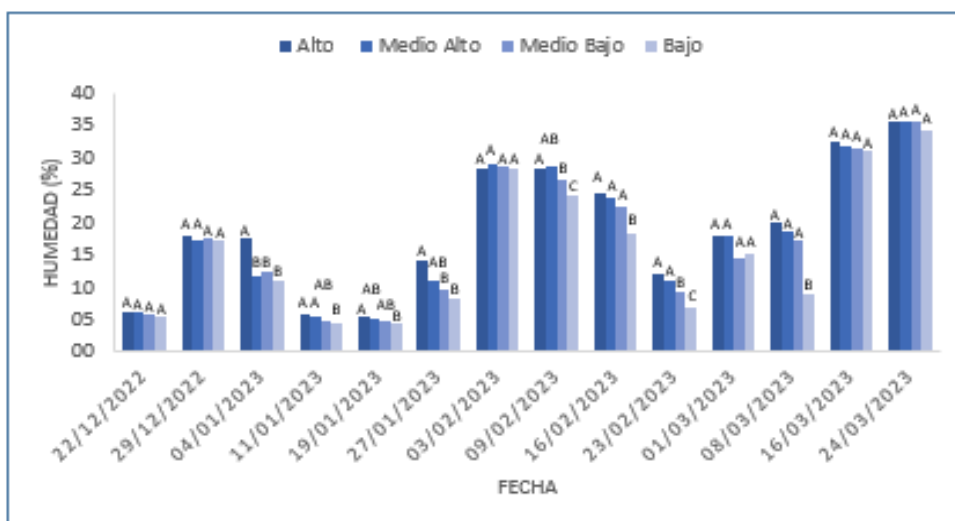
En la fecha del 5/1 el tratamiento Alto fue superior estadísticamente, y los otros tratamientos no tuvieron diferencias significativas. El 9/2 y el 16/2 el tratamiento Bajo fue inferior estadísticamente, los otros tratamientos no tuvieron diferencias significativas. El 23/2 los tratamientos Alto y Medio Alto fueron superiores estadísticamente a los tratamientos Medio Bajo y Bajo. El 9/3 el tratamiento Bajo fue significativamente inferior a los demás tratamientos. En las demás fechas, no hubo diferencias entre tratamientos.

Se observó un efecto mayor de las fechas en relación a los tratamientos y a la interacción, con una tendencia de aumento de humedad hacia fines del verano, dada las precipitaciones que ocurrieron.

En las mediciones de humedad a 20 cm de profundidad, como se puede ver en la Figura 7, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0,4133$), pero sí entre fechas ($P < 0,0001$) y no hubo interacción. La tendencia se mantuvo en una humedad estable a lo largo del verano en comparación a la humedad a 3,5 cm, y nunca descendió del 20% de humedad, manteniéndose entre 20 y 35% de humedad.

Figura 6

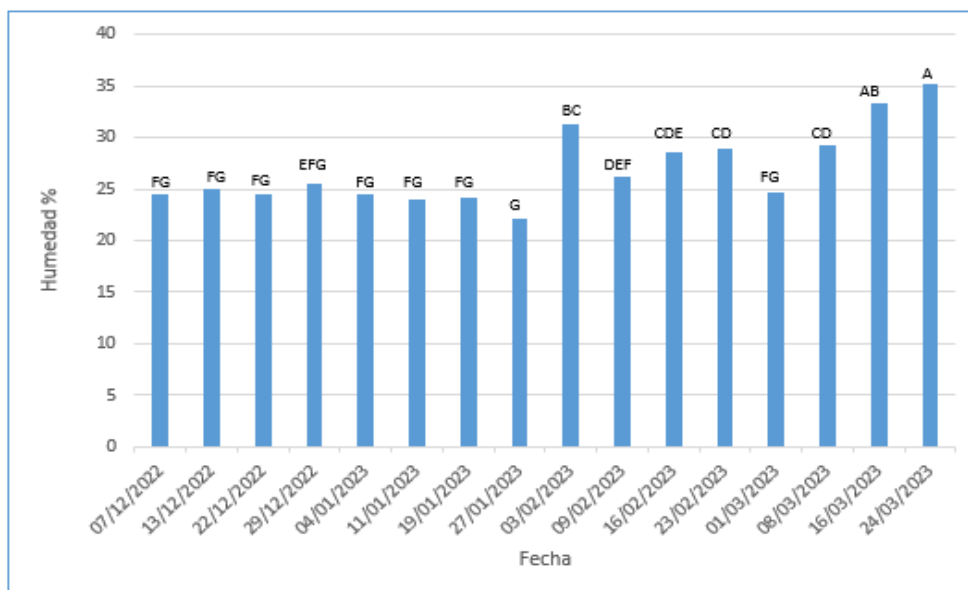
Porcentaje de humedad del suelo a 3,5 cm de profundidad por tratamiento en cada fecha



Nota. Barras con igual letra dentro de fechas no difieren significativamente entre sí ($P > 0,05$).

Figura 7

Porcentaje promedio de humedad del suelo a 20 cm de profundidad para cada fecha



Nota. Barras con igual letra no difieren significativamente entre sí ($P > 0,05$).

4.5 Efecto del tratamiento en el índice de área foliar

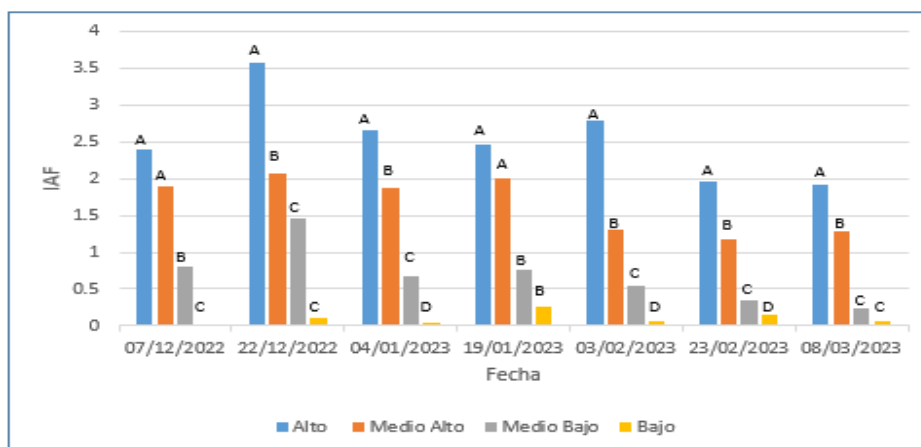
El índice de área foliar (IAF) varió ($P < 0,0001$) con los tratamientos de rastrojo, con la fecha de evaluación ($P < 0,0001$) y con la interacción ($P = 0,0004$). En este caso el efecto más grande fue el del tratamiento (mayor cuadrado medio) y los cuatro tratamientos difirieron entre sí, variando entre un IAF promedio de 2,54 en el tratamiento Alto y un IAF de 0,10 en el tratamiento Bajo.

Se puede ver en la Figura 8 que entre fechas hay una disminución del IAF con el transcurso del tiempo, producto de la degradación del rastrojo. La interacción, si bien es significativa, su peso es bajo y solo muestra algún cambio de magnitud, por lo que es poco relevante.

En la mayoría de las fechas todos los tratamientos de rastrojo tuvieron diferencias significativas entre sí, con valores más altos en los tratamientos de mayor rastrojo. En algunas fechas, como 7/12 y 19/01, no hubo diferencias entre los tratamientos Alto y Medio Alto pero estos fueron superiores a Medio Bajo y Bajo.

Figura 8

Índice de área foliar por tratamiento dentro de cada fecha



Nota. Barras con igual letra dentro de fechas no difieren entre sí ($P > 0,05$).

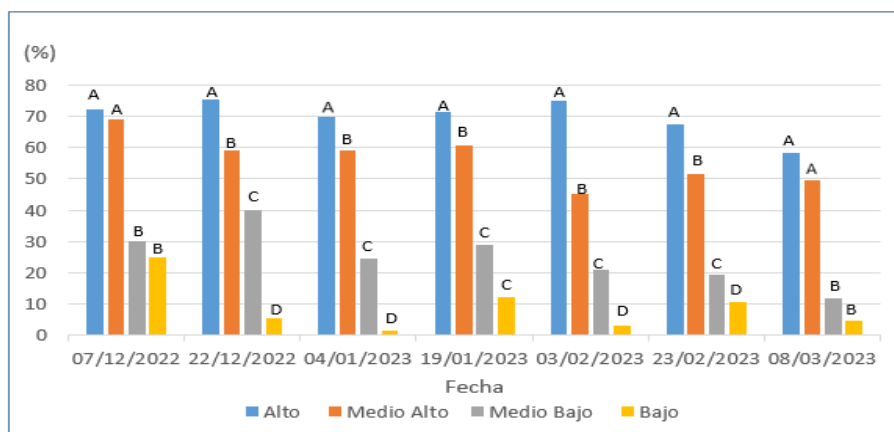
4.6 Porcentaje de radiación interceptada

El porcentaje de radiación interceptada presentó un efecto del tratamiento ($P < 0,0001$), de las fechas ($P < 0,0001$), pero no fue significativa la interacción ($P = 0,2973$).

Los tratamientos con mayor rastrojo interceptaron mayor radiación que los tratamientos inferiores producto de un mayor IAF (Figura 9). Al final del periodo tendieron a igualarse los porcentajes de radiación interceptada entre tratamiento Alto con Medio Alto y Bajo con Medio Bajo por consecuencia de la descomposición del rastrojo.

Figura 9

Porcentaje de radiación interceptada por tratamiento dentro de cada fecha



Nota. Barras con igual letra dentro de fechas no difieren entre sí ($P > 0,05$).

4.7 Evolución del estado de semillas

El análisis de la evolución del estado de semillas arrojó diferencias entre tratamientos a lo largo del periodo. Cuando se analizó el porcentaje de semillas dormidas, no dormidas (germinables) y no viables, se pudo observar que el tratamiento Alto tuvo un comportamiento similar al Medio Alto y lo mismo ocurrió entre Medio Bajo y Bajo (Figura 10).

El porcentaje de semillas dormidas no fue afectado por el tratamiento de rastrojo ($P = 0,4632$), pero sí por el período de permanencia en el campo ($P < 0,0001$) y no hubo interacción tratamiento por período. El nivel de dormición al inicio fue de 44% y a los 28 días cayó a 27%, luego a los 58 días descendió a 3% y a los 84 días a un 1%, sin presentar diferencias entre los dos últimos periodos.

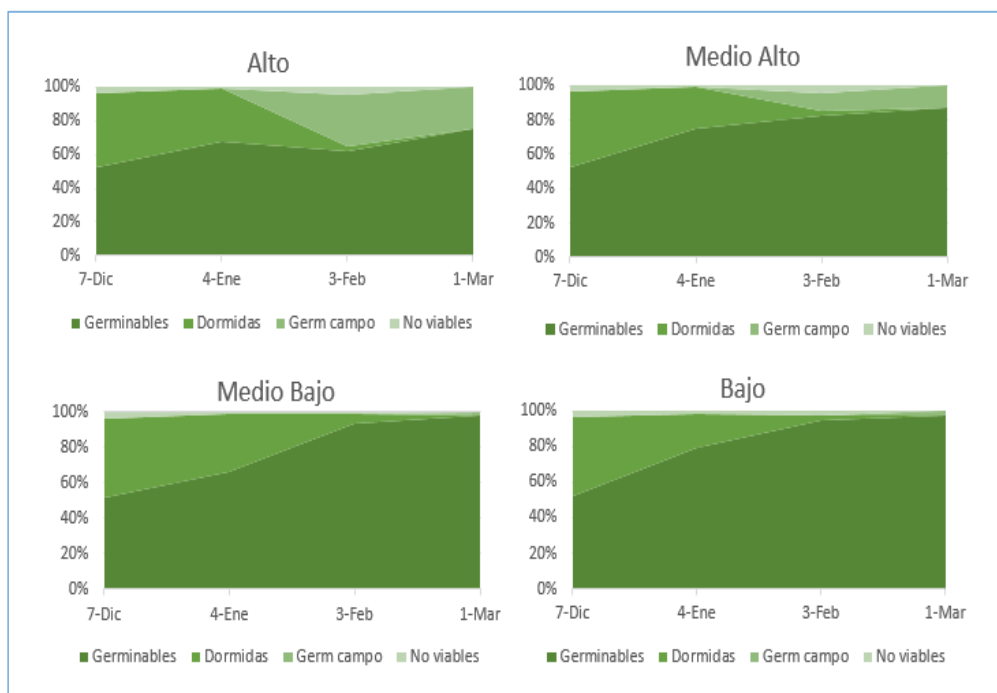
En el porcentaje de semillas germinables (no dormidas) se encontraron diferencias entre tratamientos ($P = 0,0017$) y también a lo largo del periodo ($P < 0,0001$), pero no hubo interacción. El tratamiento Alto presentó diferencias frente al resto de los tratamientos que a su vez no tuvieron diferencias entre sí. Se observó un aumento en el porcentaje de germinables desde el inicio hasta el día 58, luego se estabiliza. Esto se dio por una disminución gradual de la dormición más profunda.

Cuando se analizó el porcentaje de semillas germinadas a campo, se pudo observar que fue afectado por el tratamiento ($P < 0,0001$), también por el periodo de permanencia en el campo ($P < 0,0001$) y hubo una interacción significativa ($P = 0,0002$). Se observó un único flujo de germinación entre el día 28 y el 58 para el tratamiento Alto, presentando mayor germinación que el resto de los tratamientos a los 58 días. En cambio, en el tratamiento Medio Alto, la germinación a campo fue gradual entre el día 28 y 84. El tratamiento Bajo tuvo una pequeña germinación en la última fecha y el tratamiento Medio Bajo tendió a cero en todos los períodos.

Por último, no hubo efecto del tratamiento y tampoco del tiempo de exposición de las semillas en el porcentaje de semillas no viables.

Figura 10

Evolución del estado de las semillas según tratamientos de rastrojo remanente

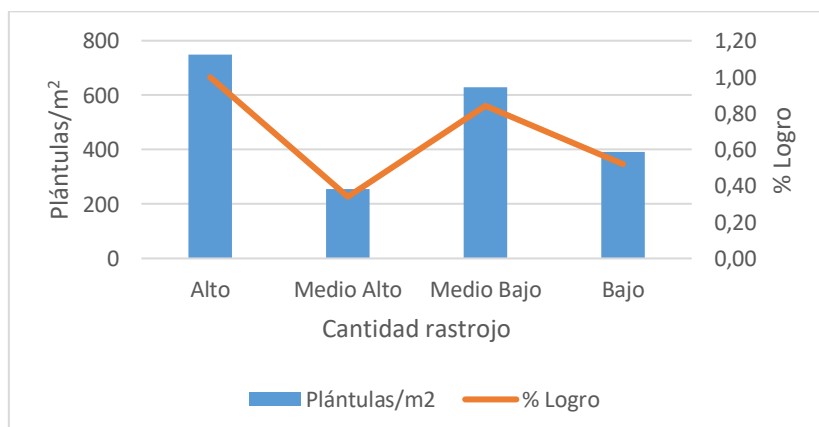


4.8 Logro de plantas, producción de forraje y cobertura del suelo

Las variables número de plantas logradas y porcentaje de logro no fueron afectadas por los tratamientos de rastrojo ($P = 0,2008$). Como se observa en la Figura 11, el número de plantas logradas osciló entre 255 y 749, con una media de 506 plantas/m². El porcentaje de logro varió entre 0,34% y 1%, con una media de 0,68%.

Figura 11

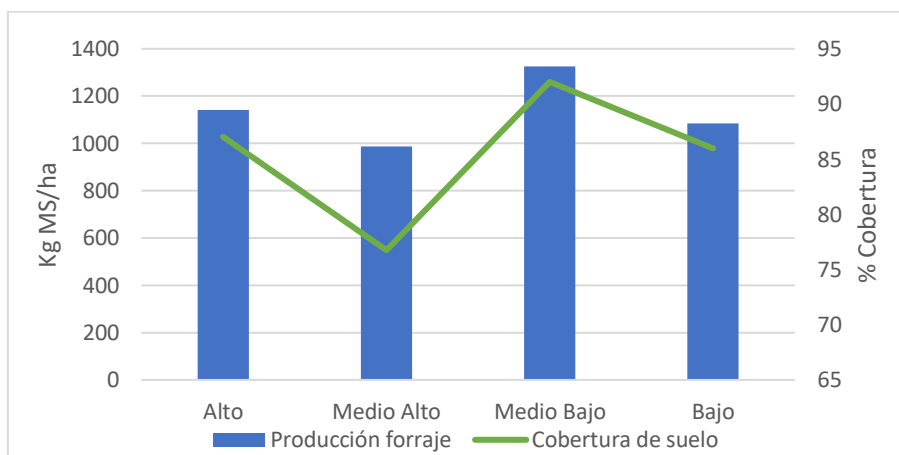
Número de plantas logradas en otoño y porcentaje de logro según tratamiento



Cuando se analizó el porcentaje de cobertura y la producción de biomasa (kg MS/ha) al primer corte (15/05/2023), se pudo constatar que tampoco hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P = 0,5435$ y $0,2707$, respectivamente). La producción de biomasa presentó un valor promedio de 1134 kg MS/ha y la media del porcentaje de cobertura fue 85%. (Figura 12).

Figura 12

Producción de forraje y porcentaje de cobertura según tratamiento al primer corte



5. DISCUSIÓN

Los objetivos de este trabajo se cumplieron con diferentes grados de avance. Los avances más sólidos fueron: la determinación del efecto del rastrojo en el porcentaje de logro y la identificación de la covariación entre las condiciones resultantes de temperatura, humedad y radiación en la persistencia de semillas y sobrevivencia de plántulas. El tercer objetivo, que fue generar indicadores para predecir el resultado de la resiembra en base a la cantidad de semillas y volumen de rastrojo generados a fines de primavera, obtuvo un menor avance debido a que no se registró una asociación entre las variables que permitiera predecir este resultado, ya que no hubo diferencias en el número de plantas logradas y en la producción inicial de la cobertura.

Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron que la cantidad de rastrojo afecta significativamente la temperatura y humedad en el suelo a nivel superficial (1 cm).

El efecto del rastrojo se mantuvo durante todo el periodo experimental, evidenciado por el IAF que tuvo un leve descenso hacia el final del período experimental. Esto concuerda con los resultados de Schnarr et al. (2022), quienes demostraron que la cobertura de rastrojo ejerce un efecto protector del suelo y disminuye progresivamente durante el verano, prolongando su influencia sobre las condiciones edáficas. También Varela et al. (2017) demostraron en sistemas de siembra directa que el raigrás presenta un patrón de descomposición lento, manteniendo biomasa residual significativa durante el periodo estival.

A su vez, se vio que el IAF tuvo una asociación positiva, con la radiación interceptada por el rastrojo, donde el tratamiento con mayor rastrojo interceptó mayor radiación que los tratamientos de menor rastrojo. Como resultado, una menor PAR atravesó la masa vegetal y llegó al suelo cuando hubo mucho rastrojo, y una mayor proporción de la PAR incidente llegó al suelo cuando hubo poco rastrojo. En promedio, el porcentaje de radiación interceptada en el tratamiento con mayor rastrojo fue cercano al 70%, mientras que en el de menos rastrojo fue menor al 10%. Otros autores determinaron que el canopeo presente en la superficie reduce la cantidad de luz que llega al suelo y también su calidad, reduciendo la relación R/RL, lo cual pudo afectar el proceso de germinación de las semillas (Deregibus et al., 1994).

Estas diferencias en la radiación interceptada tuvieron efectos en la temperatura del suelo. La mayor interceptación de los tratamientos con más rastrojo se asoció a menores temperaturas en la superficie del suelo (1 cm), con diferencias en promedio de 4,5 °C entre los tratamientos extremos, pero en ocasiones alcanzando diferencias mayores a

10 °C. Sin embargo, estas diferencias desaparecen a los pocos centímetros de profundidad (3,5 cm). Resultados similares fueron obtenidos por otros autores, donde la presencia de rastrojo en superficie disminuyó la temperatura máxima en comparación con el suelo desnudo, mientras que a mayor profundidad las temperaturas son menores y las diferencias entre tratamientos tienden a igualarse (Aston & Fischer, 1986; Ernst & Siri Prieto, 1995; Gauer et al., 1982).

Las diferencias en temperatura y radiación también se reflejaron en los niveles de humedad del suelo. En promedio, el tratamiento con mayor volumen de rastrojo (Alto) presentó mayor porcentaje de humedad a 3,5 cm de profundidad (19,01 %), mientras que el tratamiento con menor cobertura (Bajo) tuvo los valores más bajos (15,65 %). Esta diferencia fue más notoria durante los meses de diciembre, enero y febrero, en los que se registraron precipitaciones por debajo de lo normal y temperaturas del aire superiores al promedio histórico. La mayor intercepción de radiación y las temperaturas más moderadas observadas en los tratamientos con más rastrojo favorecieron una menor evaporación desde la superficie del suelo, lo que se tradujo en una mayor conservación de la humedad. Esta relación ha sido descrita por Acevedo Hinojosa y Silva Candia (2003), quienes destacan que la cobertura vegetal reduce la evaporación directa del suelo al impedir que la radiación solar incida sobre la superficie, mejorando así el balance hídrico. En esa misma línea, Siri-Prieto y Ernst (2011) observaron que en barbechos con mayor cobertura de raigrás se acumula más agua en el perfil. Asimismo, Ernst y Siri Prieto (1995) reportaron mayores valores de humedad en siembra directa con 8000 kg/ha de rastrojo superficial, en comparación a sistemas con laboreo, con diferencias de hasta 8 puntos porcentuales en humedad volumétrica. Estos resultados respaldan la observación experimental de que la cobertura de rastrojo no solo actúa como aislante térmico, sino también como regulador hídrico en la capa superficial del suelo, lo que puede incidir directamente en la germinación y sobrevivencia de las plántulas durante el proceso de resiembra.

A pesar de que la cantidad de rastrojo generó diferencias significativas en la temperatura y humedad del suelo, no se observaron efectos del tratamiento sobre la evolución de la dormición de las semillas. Inicialmente, el nivel de dormición fue del 44% y descendió progresivamente a medida que avanzó el periodo experimental, alcanzando un 27% a los 28 días, 3% a los 58 días y 1% a los 84 días, siendo esta evolución similar en todos los tratamientos. Según Steadman et al. (2003), la liberación de dormición en *Lolium* spp. está fuertemente influenciada por el régimen térmico, siendo una función lineal positiva con la temperatura la cual se acelera con mayor contenido de humedad en la semilla. En cambio nosotros medimos solamente la temperatura máxima y quizás la

temperatura media diaria pudo haber sido similar entre tratamientos y eso puede explicar por qué la dormición fue similar entre tratamientos

En contraste, se observaron diferencias notorias entre tratamientos en la germinación a campo. A pesar de que alrededor del 50% de las semillas estaban en condiciones de germinar (no dormidas) al inicio del ensayo, no se registró germinación efectiva en ninguna de las parcelas entre los días 0 y 28. Esto puede explicarse por la baja disponibilidad hídrica durante ese período, cuando el contenido de humedad a 3,5 cm se mantuvo por debajo del 10 % en todos los tratamientos. Este valor probablemente no alcanzó el umbral óptimo de hidratación necesario para activar los procesos fisiológicos de germinación.

Entre los días 28 y 58 se produjo el mayor flujo de germinación, pero únicamente en el tratamiento con mayor cobertura de rastrojo (Alto). Esto coincide con el aumento de humedad registrado en ese tratamiento (por encima del 20% en varias fechas puntuales), lo que sugiere que en esta condición se alcanzó el umbral de hidratación requerido. En cambio, en los demás tratamientos, la humedad superficial fue insuficiente y no se evidenció germinación en ese mismo periodo.

Esta diferencia en germinación a campo tuvo un efecto directo sobre la evolución del porcentaje de semillas germinables remanentes. A medida que disminuyó la dormición en todos los tratamientos, aumentó el porcentaje de semillas con capacidad de germinar. No obstante, solo en el tratamiento Alto se dieron las condiciones ambientales para que esas semillas germinaran efectivamente, lo que redujo el tamaño del banco remanente. De este modo, a principios de marzo, el tratamiento Alto presentó un 60% de semillas aún germinables, mientras que en el tratamiento Bajo ese valor superó el 90%. En comparación, en el estudio realizado por Rodríguez Ocampo (2022) donde se analizaron las mismas variables, se observó que la dormición descendió marcadamente entre el día 0 y 31, pasando de 62,5% a 7,4% en promedio, luego descendió gradualmente hasta el día 97, alcanzando un valor de 0,35%. Las semillas germinables tuvieron un aumento entre los días 0 y 30, y luego descendieron. Por último, la germinación a campo fue aumentando con el transcurso del tiempo, siendo significativa entre los 30 y 97 días.

A pesar de las diferencias que hubo en la evolución del estado de las semillas, no se encontraron diferencias en el número de plantas logradas al final del experimento y tampoco en la producción final de biomasa. A diferencia del trabajo de Rodríguez Ocampo (2022), donde hacia fines de febrero quedaba entre el 5 y el 20% del banco de semillas, en este experimento hubo una mayor preservación del banco de semillas,

presumiblemente debido al bajo régimen de precipitaciones que provocó menores pérdidas por germinación.

La densidad estimada de semillas germinables a principios de marzo osciló entre 45000 y 67500 semillas/m² (60% y 90% de las 75000 semillas originales) en los tratamientos Alto y Bajo respectivamente, lo que representa entre 90 y 130 veces la cantidad necesaria para obtener un número objetivo de 500 plantas/m² (Evers & Nelson, 2000). Sin embargo, a principios de abril el número final de plantas logradas fue inferior a 800 plantas/m². Debido a que el seguimiento de la evolución del banco de semillas se planificó para un máximo de 3 meses, se desconoce el destino del resto de las semillas.

Existen al menos tres hipótesis plausibles para explicar este fenómeno. La primera es la posibilidad de una alta tasa de germinación seguida de una elevada mortandad de plántulas durante el mes de marzo. Esta hipótesis es coherente con lo observado por Formoso (2010), quien reportó que incluso bajo siembras tardías en marzo, las plántulas de raigrás pueden marchitarse si las condiciones de humedad no son sostenidas tras la germinación inicial. A pesar de que en marzo se acumularon más de 170 mm de precipitación, es posible que existieran fluctuaciones hídricas o temperaturas del suelo todavía elevadas que comprometieran la supervivencia de las plántulas recién emergidas, especialmente en los primeros estadios fenológicos donde son más vulnerables. La segunda hipótesis considera que la alta densidad de plántulas emergidas pudo inhibir la germinación del resto de las semillas. Esto ha sido documentado en estudios de dormición secundaria inducida, donde la competencia temprana por luz, agua o espacio genera señales inhibitorias que previenen la germinación de otras semillas del banco. Finch-Savage y Leubner-Metzger (2006) indican que una vez perdida la dormición primaria en respuesta a las condiciones ambientales predominantes, la dormición secundaria se puede inducir si las condiciones requeridas para terminar la dormición e inducir la germinación están ausentes (por ejemplo, luz y/o nitrato). A su vez, comentan que la dormición secundaria puede perderse y reintroducirse repetidamente a medida que cambian las estaciones hasta que las condiciones de germinación requeridas estén disponibles. Esta inhibición puede ser adaptativa, evitando que las semillas germinen en condiciones de competencia desfavorable. La tercera hipótesis es el envejecimiento o la descomposición acelerada del banco de semillas remanente, favorecida por el ambiente húmedo y cálido de marzo. Según Steadman et al. (2003), un contenido elevado de agua en el suelo acelera el envejecimiento fisiológico de las semillas. Además, estas condiciones pueden propiciar procesos de descomposición microbiana (Greenfield, 1999). Este fenómeno podría haber afectado particularmente a los tratamientos con mayor cobertura de rastrojo,

donde el microambiente es más estable pero también más propenso a la actividad fúngica o bacteriana. Adicionalmente, Supiciche et al. (2015) señalan que las cubiertas de las semillas pueden ser más susceptibles a la degradación bajo condiciones prolongadas de humedad, afectando la capacidad de germinación en etapas avanzadas del ciclo.

Estas hipótesis no son mutuamente excluyentes, y es posible que una combinación de germinación tardía seguida de mortandad de plántulas, inhibición por competencia y descomposición del banco de semillas haya contribuido a que, a pesar de la elevada disponibilidad inicial de semillas viables, el número final de plantas instaladas no haya superado las 800 plantas/m². Este resultado pone en evidencia que el volumen de rastrojo y el ambiente generado influyen en la dinámica del banco de semillas, pero que otros factores ecofisiológicos y biológicos asociados al momento y contexto de la emergencia también juegan un rol determinante en la instalación efectiva del cultivo.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo buscó comprender cómo el manejo del barbecho estival, particularmente el volumen de rastrojo remanente, afecta el ambiente del suelo y la dinámica de la resiembra natural de estos sistemas. La fase de barbecho estival es clave para asegurar la estabilidad del raigrás como recurso forrajero y entender sus efectos permite optimizar este recurso manteniendo su persistencia.

Los resultados demostraron que diferentes volúmenes de rastrojo tienen un efecto claro en la modificación del ambiente del suelo, influyendo en la temperatura superficial, la humedad y la radiación interceptada. Sin embargo, estos cambios no provocaron variaciones en la evolución de la dormición de las semillas, pero sí generaron diferencias en la germinación durante el verano, con mayor emergencia anticipada en los tratamientos con más cobertura.

A pesar de estas diferencias, se observó una alta preservación del banco de semillas hasta principios de marzo, atribuible a las escasas precipitaciones y condiciones que limitaron la germinación temprana. Finalmente, no se evidenció un efecto del volumen de rastrojo en la reimplantación medida como número final de plantas logradas, indicando que la cobertura estival, por sí sola, no garantiza una ventaja significativa en el establecimiento del raigrás bajo las condiciones evaluadas.

Por último, se debe seguir con la investigación, buscando realizarla en años contrastantes para entender con mayor robustez el comportamiento del banco de semillas y así poder predecir con mayor nivel de certeza el manejo y el éxito de esta práctica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Hinojosa, E., & Silva Candia, P. (2003). *Agronomía de la cero labranza*. Universidad de Chile.
- Aiolfi, R. B., Kagimura, L. T., Zatta, A. C., Schmitt, D., Soares, A. B., Severo, I. K., Schmalz, B. A. H., & De Lima, A. C. (2021). Dynamics of forage production in annual ryegrass cultivars. *Brazilian Journal of Development*, 7(9), 90303-90317.
- Amigone, M. A., & Tomaso, J. C. (2006). *Principales características de especies y cultivares de verdeos invernales*. INTA.
- Aramendía, L. A. I. (2005). El género *Lolium*: Claves dicotómicas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales*, 60, 143-155.
- Assmann, A. L., Pelissari, A., Moraes, A. D., Assmann, T. S., Oliveira, E. B. D., & Sandini, I. (2004). Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(1), 37-44.
- Aston, A. R., & Fischer, R. A. (1986). The effect of conventional cultivation, direct drilling and crop residues on soil temperatures during the early growth of wheat at Murrumbateman, New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*, 24(1), 49-60.
- Ayala, W., Bemhaja, M., Cotro, B., Do Canto, J., García, J., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, R., Rossi, C., & Silva, J. (2010). *Forrajeras: Catálogo de cultivares 2010*. INIA.
- Bailleres, M. (2016). *Promoción de otoño: Pautas para la producción de pasturas*. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/204-Promocion_de_otono.pdf
- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W., & Casanoves, F. (2011). *Estadística y biometría: Ilustraciones del uso de Infostat en problemas de agronomía*. Editorial Brujas.
- Barbosa, C. M. P., de Faccio Carvalho, P. C., Cauduro, G. F., Devincenzi, T., Nabinger, C., & Jacques, A. V. Á. (2008). Efeito de métodos e intensidades de pastejo sobre a ressemeadura natural de azevém anual. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 30(4), 387-393.
- Bartholomew, P. W., & Williams, R. D. (2009). Establishment of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) by self-seeding as affected by cutting date and degree of herbage removal in spring in pastures of the southern Great Plains of the United States. *Grass and Forage Science*, 64(2), 177-186.

- Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (1998). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press.
- Benech-Arnold, R. L., Sánchez, R. A., Forcella, F., Kruk, B. C., & Ghera, C. M. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67(2), 105-122.
- Berrutti Zorrilla de San Martín, F., Blengio Bocage, A., & Marques Berrutti, M. (2018). *Evaluación de la producción de verdeos puros y en mezcla con leguminosas con y sin agregado de nitrógeno* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Bruera, E. Á., & Fernández, J. M. (2018). *Caracterización de una promoción química de especies invernales bajo dos modalidades de pastoreo* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional de La Plata.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y Forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forrajes*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2003). ¿Qué tipo de raigrás debería utilizar? *Revista del Plan Agropecuario*, (105), 52-55.
https://planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R105/R105_52.pdf
- Carvalho, P. C. D. F., Moraes, A., Anghinoni, I., Aguinaga, A. A., Cassol, L. C., Flores, J. P., & Pelissari, A. (s.f.). *Integração lavoura-pecuária: Como aumentar a rentabilidade, otimizar o uso da terra e minimizar os riscos*. Biblioteca Virtual AGPTA. <https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/INTEGRACAO%20LAVOURA%20E%20PECUARIA%20COMO%20AUMENTAR%20A%20RENTABILIDADE%20OTIMIZAR%20O%20USO%20DA%20TERRA%20E%20MINIMIZAR%20OS%20RISCOS.pdf>
- Coelho Filho, R. C., & Quadros, F. L. F. D. (1995). Produção animal em misturas forrageiras de estação fria semeadas em uma pastagem natural. *Ciência Rural*, 25(2), 289-293.
- Costa, M. (2005). *Dinâmica do banco de sementes do solo em ecossistema campestre sob utilização agropecuária com soja e azevém anual* [Disertación doctoral]. Universidade Federal de Pelotas.
- Cuadro, R., Luzardo, S., Montossi, F., & Lavecchia, A. (2014). Alternativas de producción animal sobre raigrás sembrado en sistemas de rotación arroz—pasturas en el norte del país. En E. Berretta, F. Montossi & G. Brito (Eds.), *Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto* (pp. 55-67). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3922/1/ST-217p55-67.pdf>

- Da Cunha, R. P. (2012). *Manejo da desfolha na ecofisiologia da produção de forragem e sementes de azevém anual* [Tesis de maestría]. Universidade Federal de Pelotas.
- De la Vega, M. (s.f.). *Promoción de raigrás en la Cuenca del Salado*. INTA.
https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=1263
- De Moura Zanine, A., Mauro Santos, E., De Jesus Ferreira, D., & Pinto de Carvalho, G. G. (2006). Potencialidade da integração lavoura-pecuária: Relação planta-animal. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(1), 1-23.
- Deregibus, V., Casal, J., Jacobo, E., Gibson, D., Kauffman, M., & Rodríguez, A. (1994). Evidence that heavy grazing may promote the germination of *Lolium multiflorum* seeds via phytochrome-mediated perception of high red/far-red ratios. *Functional Ecology*, 8(4), 536-542.
- Díaz-Rossello, R., & Durán, H. (2011). Secuestro de carbono en suelos de sistemas agrícola-lecheros mixtos en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(2), 109-119.
- Do Canto, J. (2019). Programa de pasturas y forrajes: Capacidad de resiembra natural de dos cultivares de raigrás (*Lolium multiflorum* Lam) de ciclo contrastante. En F. L. F. de Quadros, G. V. Kozloski, V. C. P. Silveira, & C. Nabinger (Eds.), *XXV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical* (pp. 167-168). Grupo Campos.
- Do Canto, J., & Giorello, D. (2023). Annual ryegrass managed for reseeding purposes: relationship between heading date and seed production. En American Forage & Grassland Council (Eds.), *Proceedings of the XXV International Grassland Congress* (pp. 516-519). Curran.
- Ernst, O., & Siri Prieto, G. (1995). Rastrojo en superficie: Entre ventajas y problemas. *Cangüé*, 2(4), 15-19.
- Evers, G. W., & Nelson, L. R. (2000). Grazing termination date influence on annual ryegrass seed production and reseeding in the southeastern USA. *Crop Science*, 40(6), 1724-1728.
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523.
- Formoso, F. (2010). *Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales*. INIA.
- Gauer, E., Shaykewich, C. F., & Stobbe, E. H. (1982). Soil temperature and soil water under zero tillage in Manitoba. *Canadian Journal of Soil Science*, 62(2), 311-325.

- Gigón, R., Vigna, M., & Yannicari, M. (2017). *Manejo de malezas problemas: Raigrás (Lolium spp.): Bases para su manejo y control en sistemas de producción*. REM. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/74231/CONICET_Digital_Nro.70654280-6e98-4577-9024-ae9be859a785_A.pdf
- Gorelik Zonis, Y. G., & Ré, A. E. (2021). *Verdeos de invierno: Evaluación especies, cultivares y fertilización nitrogenada en vertisoles de Entre Ríos bajo pastoreo*. INTA.
- Greenfield, L. G. (1999). The microbial decomposition of seeds. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand*, 12, 47-51.
https://www.agronomysociety.org.nz/files/SP12_6_Seed_microbial_decomposition.pdf
- Gutiérrez, F., & Calistro, E. (2013). Nuevas opciones de verdeos de raigrás para las siembras de otoño. *Revista INIA*, (32), 28-30.
- Henry, T. (1952). El Lolium multiflorum "La Estanzuela 284". *Archivo Fitotécnico del Uruguay*, (5), 231-235.
- Humphreys, M., Feuerstein, U., Vandewalle, M., & Baert, J. (2010). Ryegrasses. En B. Boller, U. Posselt, & F. Veronesi (Eds.), *Ryegrasses: Fodder crops and amenity grasses* (pp. 211-260). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0760-8>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2024). *Variables agroclimáticas*. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Variables-clim%C3%A1ticas-INIA>
- Instituto Nacional de Semillas. (2025). *Declaración de movimientos de semilla*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjExMjVINmItOTIhOC00OWZhLWJmNzctMmRjMTc0NmZhNTc2IiwidCI6IjM1NWY2Yzg4LTQ1ODUtNDdjZC1hNTlmLTdhOGFiNzcyMTk1NCJ9&pageName=ReportSection>
- Krolow, H. R., Da Silva Fan, P. A., Da Cruz Paslauski, B. M., Welter, L. J., & Oelke, C. A. (2011). Avaliação do desenvolvimento vegetativo de genótipos de azevém diplóide e tetraplóide na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. *Revista Congrega URCAMP*, 18(9), 1982-2960.
https://www.researchgate.net/publication/344517156_AVALIACAO_DO_DESENVOLVIMENTO_VEGETATIVO_DE_GENOTIPOS_DE_AZEVEM_DIPLOIDE_E_TETRAPLOIDE_NA_FRONTIEIRA_OESTE_DO RIO GRANDE DO SUL
- Lazbal, E. (Ed.). (2004). *Siembra directa en lechería*. INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2786/1/18429160709110230.pdf>
- Maschio Molinari, F., Soria Pereira, S., & Stáble Montes De Oca, F. E. (2020). *Producción animal sobre una pastura de raigrás (Lolium multiflorum c. Bill max) pastoreada por novillos bajo diferentes ofertas de forraje* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Millot, J. C., Risso, D., & Methol, R. (Eds.). (1987). *Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay*. MGAP.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/amiento-de-pastnaturales-y-mejora-extensivos-en-areas-ganad-del-Urug-Millot-1987ainfo-incompleto.pdf>
- Neto, A. B., Savian, J. V., Tres Schons, R. M., Bonnet, O. J. F., Do Canto, M. W., de Moraes, A., Lemaire, G., & de Faccio Carvalho, P. C. (2014). Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. *European Journal of Agronomy*, 53, 78-83.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O_MGAP_Anuario_estad%C3%ADstico_%202022-DIGITAL.pdf
- Pedrozo Altesor, F., Radiccioni Bachino, J., & Sommer Giambruno, I. (2018). *Evaluación de distintas alternativas de verdeos de invierno* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Peirano, D. (2024). *Dinámica del cambio técnico: El caso de las promociones de raigrás en el Uruguay* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Peirano, D., Cazzuli, F., de Hegedus, P., Arbeletche, P., & Do Canto, J. (2024). Promociones de raigrás: El tabú de las forrajeras. *Revista INIA*, (78), 82-85.
<https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-11/Revista-INIA-78-Setiembre-2024.pdf>
- Pereyra-Goday, F., Rovira, P., Ayala, W., & Rivero, M. J. (2022). Management and productivity of key integrated crop–livestock systems in Uruguay: The Palo a Pique Long-Term Experiment's third phase. *Agronomy*, 12(12), Artículo e3023.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/12/12/3023>
- Pérez García, F., & Pita Villamil, J. M. (1999). *Dormición de semillas*. MAPA.
- Piñeiro Andión, J., Díaz Díaz, N., & Pérez Fernández, M. (2001). Raigrás italiano. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (828), 437-443.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2001_828_437_443.pdf
- Ríos, A. (2011). El riesgo de resistencia a glifosato en Uruguay. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de Divulgación: Aportes a la zafra de cultivos de invierno* (pp. 13-22).
- Rodríguez Ocampo, N. (2022). *Variabilidad inter poblacional en características asociadas a la capacidad de resiembra natural de raigrás: producción de semilla y dormancia* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Rossi, C. (2017). *Manual de producción de semilla de Raigrás anual*. INIA.
- Rossi, C., Garcia, M. A., Kaspary, T., & Marques, S. (2019). *Raigrás: Cultivo forrajero y maleza: Consideraciones para su manejo en la fase invernal de nuestros sistemas agrícolas y agrícolas-ganaderos*. INIA.
- Rovira, P., Ayala, W., Terra, J., García-Préchac, F., Harris, P., Lee, M. R., & Rivero, M. J. (2020). The 'Palo a Pique' long-term research platform: First 25 years of a crop–livestock experiment in Uruguay. *Agronomy*, 10(3), Artículo e441. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10030441>
- Rovira, P., Echeverría, J., & Soares de Lima, J. M. (2014). *Pastoreo de raigrás como cultivo de cobertura con corderos o terneros en sistemas ganadero-agrícolas*. En P. Rovira & J. M. Soares de Lima (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica: Estrategias de Intensificación Ganadera* (pp. 46-45). INIA.
- Scheneiter, J. O. (2014). *El raigrás anual en las regiones Pampeana y sur de la Mesopotamia*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/193-raigas_anual.pdf
- Schnarr, C., Schipanski, M., & Tatarko, J. (2022). Crop residue cover dynamics for wind erosion control in a dryland, no-till system. *Journal of Soil and Water Conservation*, 77(3), 221-236.
- Simeone, A., Andregnette, B., & Buffa, J. I. (2008). *Producción de carne eficiente en sistemas arroz-pasturas*. INIA.
- Siri-Prieto, G., & Ernst, O. (2011). Raigrás como cultivo de cobertura: Efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. *Cangüé*, (31), 18-27.
- Steadman, K. J., Crawford, A. D., & Gallagher, R. S. (2003). Dormancy release in *Lolium rigidum* seeds is a function of thermal after-ripening time and seed water content. *Functional Plant Biology*, 30(3), 345-352.
- Supiciche, M. L., Chantre, G. R., Sabbatini, M. R., & Castro, A. M. (2015). Rol de las cubiertas como posibles mecanismos de imposición de la dormición en semillas de *Lolium perenne* L. En Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas (Ed.), *XXII Congreso Latinoamericano de Malezas & I Congreso Argentino de Malezas* (pp. 185-187). https://www.asacim.org.ar/wp_content/uploads/2019/10/ActasArgentina2015.pdf
- Supiciche, M. L., Longás, M. D. L. M., Chantre Balacca, G. R., Sabbatini, M. R., & Castro, A. M. (2018). La dormición de semillas de raigrás y su asociación a la sensibilidad y resistencia a glifosato. *AgroUNS*, 15(29), 10-12.

- Tarnonsky, F. (2018). *Caracterización de la producción y calidad de semillas de una promoción de especies invernales bajo pastoreo continuo y en clausura* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de La Plata]. SEDICI.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68084>
- Umbriago, L. (2021). *Técnicas para la obtención y evaluación de tetraploides en Lolium perenne* [Trabajo final de grado]. Universidad Nacional del Sur.
- Varela, M. F., Barraco, M. R., Gili, A. A., Taboada, M. A., & Rubio, G. (2017). Biomass decomposition and phosphorus release from residues of cover crops under no-tillage. *Agronomy Journal*, 109(1), 317-326.
<https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0168>
- Zanoniani, R. A., Ducamp, F., & Bruni, M. A. (2003). *Utilización de verdeos de invierno en sistemas de producción animal*. Sitio Argentino de Producción Animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/66-verdeos.pdf
- Zanoniani, R. A., & Noëll, S. (s.f.). *Verdeos en invierno*. Plan Agropecuario.
<https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart2/Cart2.htm>