



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Efecto de diferentes métodos de siembra en la implantación, producción y sobrevivencia estival de pasturas sembradas

María Elena MAILHOS ALGORTA

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Animales

Agosto 2022

**Efecto de diferentes métodos de siembra
en la implantación, producción y
sobrevivencia estival de pasturas
sembradas**

María Elena MAILHOS ALGORTA

Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Animales

Agosto 2022

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (PhD.) Walter Ayala, Ing. Agr. (PhD.) Javier García Favre, e Ing. Agr. (Dr.) Rodrigo Zarza, el 23 de agosto de 2022. Autor/a: Ing. Agr. María Elena Mailhos. Director Ing. Agr. (MSc.) Ramiro Zanoniani, codirector Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a los directores Ing. Agr. (MSc.) Ramiro Zanoniani e Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano, quienes promovieron esta tesis.

A los estudiantes de grado, por su colaboración práctica en la realización de esta.

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), por el apoyo económico brindado para la realización del posgrado.

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3. HIPÓTESIS	5
1.4. MODELO CONCEPTUAL	5
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	10
2.1. SITIO EXPERIMENTAL Y PERÍODO DE EVALUACIÓN	10
2.2. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	10
2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL, VARIABLES MEDIDAS Y DETERMINADAS	13
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
3. <u>RESULTADOS</u>	17
3.1. EVOLUCIÓN DEL % IMPLANTACIÓN	17
3.2. NÚMERO DE PLANTAS	18
3.3. NÚMERO DE MACOLLOS Y TALLOS	19
3.4. NÚMERO DE HOJAS VIVAS	22
3.5. ALTURA DE PLANTAS	22
3.6. PESO DE MACOLLOS Y TALLOS	23
3.7. BIOMASA (kgMS/ha)	23
3.8. RELACIÓN PARTE AÉREA:RAÍZ	24

3.9. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, COMPOSICIÓN BOTÁNICA, SOBREVIVENCIA ESTIVAL	28
4. <u>DISCUSIÓN</u>	33
4.1. IMPLANTACIÓN Y NÚMERO DE PLANTAS	33
4.2. NÚMERO DE MACOLLOS Y TALLOS	36
4.3. NÚMERO DE HOJAS VIVAS	39
4.4. ALTURA DE PLANTAS	40
4.5. PESO DE MACOLLOS Y TALLOS	41
4.6. BIOMASA (kgMS/ha)	41
4.7. RELACIÓN PARTE AÉREA:RAÍZ	43
4.8. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, COMPOSICIÓN BOTÁNICA, SOBREVIVENCIA ESTIVAL	45
5. <u>CONCLUSIONES</u>	51
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	52
7. <u>ANEXOS</u>	66

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la distribución espacial determinada por el método de siembra en combinación con el tipo de mezcla para mejorar el bajo establecimiento de las pasturas sembradas en Uruguay. El período experimental fue abril 2019-mayo 2020. Se evaluaron seis tratamientos según el arreglo factorial de dos mezclas forrajeras de diferente vigor inicial y longevidad (corto plazo: *Lolium multiflorum* y *Trifolium pratense*; largo plazo: *Festuca arundinacea* y *Lotus corniculatus*), y tres métodos de siembra (líneas cruzadas; gramínea en la línea y leguminosa al voleo; misma línea). Se estudió la dinámica de implantación de cada especie contando el número de plantas que se encontraban dentro de los cuadros fijados, el número de tallos de cada planta contada, el número de hojas/tallo y la altura de la pastura. Se determinó el número de plantas/m² y el número de tallos/m². En la última fecha del período de establecimiento, se midió la relación parte aérea:raíz de los componentes de las mezclas. Se realizaron 5 pastoreos donde se midió la producción de materia seca, el forraje disponible, el remanente, la tasa de crecimiento y la composición botánica de las pasturas. En la última fecha se cuantificó la sobrevivencia estival. Ningún tratamiento logró superar los datos nacionales relacionados con el porcentaje de implantación, alcanzando $37 \pm 1,4$ % a los 99 DDS. Los métodos de siembra no difirieron en la producción de biomasa de las mezclas forrajeras ni en la sobrevivencia estival, estando la producción de forraje relacionada con la mezcla corta (mayor vigor inicial) y la sobrevivencia estival con la mezcla larga (mayor persistencia), indicando diferentes estrategias de utilización del ambiente a largo plazo.

Palabras clave: mezclas forrajeras, métodos de siembra, vigor inicial, sobrevivencia estival, persistencia

EFFECT OF DIFFERENT SOWING METHODS ON THE ESTABLISHMENT, PRODUCTION AND SUMMER SURVIVAL OF SOWN PASTURES

SUMMARY

The effect of the spatial distribution determined by the planting method in combination with the type of mixture was evaluated to improve the low establishment of sown pastures in Uruguay. The experimental period was April 2019-May 2020. Six treatments were evaluated according to the factorial arrangement of two forage mixtures of different initial vigor and longevity (short term: *Lolium multiflorum* and *Trifolium pratense*; long term: *Festuca arundinacea* and *Lotus corniculatus*), and three sowing methods (cross rows; grass in the line and broadcasted legume; same row). The implantation dynamics of each species was studied counting the number of plants that were within the fixed squares, the number of stems of each counted plant, the number of leaves/stem and the height of the pasture. The number of plants/m² and the number of stems/m² were determined. On the last date of the establishment period, the shoot:root ratio of the components of the mixtures was measured. Five grazing cycles were carried out where the production of dry matter, the available forage, the remnant, the growth rate and the botanical composition of the pastures were measured. On the last date, summer survival was quantified. No treatment managed to exceed the national data related to the percentage of implantation, reaching 37 ± 1.4 % at 99 DAS. The sowing methods did not differ in the biomass production of the forage mixtures, nor in the summer survival, being the forage production related to the short mixture (greater initial vigor), and the summer survival with the long mixture (greater persistence), indicating different strategies for using the environment in the long term.

Keywords: forage mixture, sowing methods, initial vigor, summer survival, persistence.

1. INTRODUCCIÓN

Los pastizales son uno de los ecosistemas más grandes del mundo (40 % de la superficie terrestre). Se definen como suelos predominantemente cubiertos por gramíneas, con pocos o casi ningún árbol (Suttie et al., 2005). Estos ecosistemas sirven como un importante reservorio mundial de biodiversidad y brindan servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos, el suministro y la regulación del agua, el almacenamiento de carbono y la mitigación climática, la polinización y una variedad de servicios culturales (Bardgett et al., 2021).

La producción agropecuaria juega un papel protagónico en el tema de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido al área que ocupa a nivel mundial. Hay acciones que se pueden tomar para contribuir con esta causa dentro del área hasta el punto de absorber más gases que los emitidos por la tierra cultivada, y así absorber CO₂ emitido por los combustibles fósiles y restaurar la calidad del aire (Hutchinson et al., 2007, Solomon et al., 2007, Johnson et al., 2007). Mejorar la calidad del suelo es una estrategia para mitigar las emisiones de GEI. Por tanto, se debe perseguir el mantenimiento del suelo con cobertura vegetal verde el mayor tiempo posible, así como seleccionar especies que aporten biomasa radicular con el objetivo de explorar los estratos inferiores y contribuir a mejorar la calidad del suelo (Smith et al., 2008, Caviglia et al., 2016).

A su vez, se debería lograr captar la mayor cantidad posible de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y ser eficiente en su uso, ya que de la energía solar que llega a la Tierra, parte es reflejada nuevamente a la atmósfera, por lo tanto, no es capturada por las plantas y no se transforma en biomasa. Esto puede deberse a que la superficie de captación (área foliar) es limitada o a que otras determinantes del medio limitan el proceso de fotosíntesis, como pueden ser el agua, la temperatura o la disponibilidad de nutrientes (Nabinger, 1998). Además, solamente el 45 % de la radiación

incidente se encuentra en el rango de ondas que las plantas tienen capacidad de absorber para realizar fotosíntesis (radiación fotosintéticamente activa). Se estima que hasta el 3 % de la energía solar incidente es transformada en energía química por parte de la vegetación (Monteith, 1977, Nabinger, 1998, Sinclair y Muchow, 1999).

Las variables morfogenéticas condicionan las habilidades de competencia entre especies coexistentes (Tallowin et al., 1995). Esas variables son la tasa de aparición foliar (TAF), la tasa de elongación de la hoja (TEF) y la vida media foliar (VMF) (Lemaire y Chapman, 1996), sumadas a la tasa de aparición de macollos (TAM) (Hirata y Pakiding, 2002). Por lo tanto, entender cuáles de las variables morfogenéticas y cómo afectan el desarrollo del área foliar es importante ya que es esta área foliar quien captará la radiación y la transformará en biomasa verde. Además, la producción de biomasa es importante para la eficiencia en el uso de la radiación y la emisión de GEI, lo que la hace aún más importante.

Es necesario durante la etapa inicial de las plantas brindarles las condiciones óptimas en términos de temperatura, agua y disponibilidad de nutrientes, utilizando distintos nichos ecológicos que faciliten la instalación de esas nuevas plántulas (Marone, 1988) con un desarrollo rápido y vigoroso (Connor et al., 2011). Estos espacios tienen la capacidad de promover condiciones adecuadas para su buena germinación y desarrollo.

Desde etapas tempranas de crecimiento las especies presentan competencia por luz, agua y nutrientes y se acentúa cuando los requerimientos son los mismos o comparten nichos ecológicos, y la capacidad de suministro inmediata del factor por parte del ambiente en el que conviven es inferior a la demanda de los organismos pertenecientes a él (Baruch y Fisher, 1988, Marone, 1988). Durante esta etapa los niveles de interacción son mínimos, pero, a medida que se desarrollan, comienza a superponerse más su demanda por factores de crecimiento. La respuesta de

cada individuo a la competencia puede ser cuantitativa, en la medida en que la planta se establezca pero se evidencie disminución de la eficiencia de algún proceso vital, o cualitativa cuando la planta pierda biomasa o muera. Si bien es normal que exista competencia, esta puede minimizarse si se logra disminuir la cantidad de especies no deseadas (malezas). Para ello es necesario generar la máxima cobertura del suelo con especies sembradas, apuntando, además, producir una mayor cantidad y calidad de forraje. Así es que para promover el crecimiento de las especies deseadas y, por lo tanto, reducir el desarrollo y competencia de las malezas es necesario lograr una adecuada densidad y tamaño individual de plantas y hacer un uso eficiente de los factores del ambiente, acortando el período de baja cobertura del suelo (período de emergencia, Connor et al., 2011).

El modo de siembra en los sistemas agropecuarios en Sudamérica generalmente hacen uso de sembradoras dedicadas a la producción de cereales y oleaginosas presentando una distancia entre hileras no menor a 17,5 cm (Ferrari, 2014). Esto podría maximizar la competencia, ya que queda el entresurco sin sembrar, colaborando al desarrollo de malezas en las entrelíneas si se tiene en cuenta el tamaño y densidad de semillas de las especies forrajeras, así como su comportamiento inicial. Investigaciones a nivel nacional revelan que los niveles de implantación de especies destinadas al forraje son bajos (33 % de plantas establecidas/semillas viables sembradas) (García Favre et al., 2017), lo que condiciona que su persistencia sea baja. Esto, además, repercute en lo anteriormente mencionado, ya que bajos porcentajes de implantación pueden significar bajo *stand* de plantas sembradas, lo que genera menor cobertura del suelo por parte de esas especies y deja suelo descubierto, que como ya se mencionó es una situación no deseada. La mayoría de los trabajos realizados en Uruguay sobre implantación de pasturas abarcan aspectos como la fecha de siembra (Carámbula, 2002, Zanoniani et al., 2003, Formoso, 2006, Pérez et al., 2010,

Zanoniani, 2010) el cultivo antecesor (Borges, 2001, Ernst y Siri-Prieto, 2008), la calidad de semilla (Formoso, 2007), la densidad de siembra (García et al., 1981, Moliterno et al., 2001, Zarza et al., 2018), el método de siembra (García et al., 1981, Langer, 1981, Rebuffo, 2000, Carámbula, 2002) y las mezclas forrajeras de distinta composición (Zanoniani et al., 2017). Sin embargo, son pocos los realizados acerca de la distribución de semilla en combinación con pasturas de diferentes características, ya sea en duración como en composición (García Favre et al., 2017). Por lo tanto, el estudio de diferentes métodos de siembra (con diferentes arreglos espaciales de las especies) permitiría explorar una nueva alternativa de manejo para el crecimiento, la sustentabilidad y la exploración del ambiente por parte de las especies forrajeras. También es importante evaluar si existe un método que brinde mejores condiciones que otro, reflejado en un mayor porcentaje de implantación, desarrollo y capacidad competitiva de la población de especies en evaluación.

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es estudiar si existen diferencias en la implantación de las especies que componen dos mezclas de distinto vigor inicial en interacción con distintos métodos de siembra a nivel de morfogénesis de las plantas y variables de las pasturas. Se evalúa, también, el efecto de esos factores a nivel de producción de materia seca y sobrevivencia estival.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos son la evaluación del método de siembra y tipo de mezcla sobre las variables estructurales de las especies componentes de las mezclas forrajeras y la implantación durante ese período. Asimismo,

determinar si el método de siembra y tipo de mezcla condicionan la producción de las pasturas, así como la sobrevivencia estival.

1.3. HIPÓTESIS

Las hipótesis que se plantearon son: a) la variable tipo de mezcla es determinante en la implantación, producción de biomasa y sobrevivencia estival de las especies sembradas, b) la variable método de siembra es determinante en la implantación, producción de biomasa y sobrevivencia estival de las mezclas y c) la interacción de las variables anteriormente mencionadas tiene sobre la implantación, producción de biomasa y sobrevivencia estival de las especies sembradas.

1.4. MODELO CONCEPTUAL

La producción animal bajo pasturas se basa en tres procesos en relación con la transformación de energía solar a kg de carne: el crecimiento, resultado de la transformación de energía a biomasa, la utilización por parte de los animales y la posterior conversión de kg de forraje a kg de carne (Hodgson, 1990). La biomasa vegetal depende de la radiación solar que llega a la Tierra, de la cual solamente el 45 % es RFA (Cooper y Tainton, 1968). A su vez, de ese porcentaje de RFA, la cantidad absorbida dependerá de la superficie de captación determinada por el área foliar, la cual es modificada por la cantidad de agua del suelo, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes (Briske y Heitschmidt, 1991, Nabinger, 1998). El índice de área foliar (IAF) o biomasa es resultado de variables estructurales de la pastura: densidad de macollos, número de hojas vivas por macollo y tamaño de hojas. Estas son definidas por variables morfogenéticas: tasa de aparición de hojas (TAF), tasa de elongación foliar (TEF), vida media foliar (VMF) (Lemaire y Chapman, 1996). Por lo tanto, para captar la mayor RFA posible y lograr una alta eficiencia en su uso es necesario considerar cómo las

variables morfogénicas y estructurales inciden en el desarrollo del área foliar como aparato fotosintético y cómo pueden ser modificadas por variables de manejo, por ejemplo la fecha de siembra, cultivo antecesor, método y densidad de siembra, elección de especies a sembrar.

Como fue mencionado anteriormente acerca de las relaciones entre la morfogénesis de las plantas y la estructura de la pastura, la combinación del tamaño de hojas, la densidad de macollos y las hojas por tallo (características estructurales de la pastura) determina el IAF de esta, el cual es el principal factor que influye en la interceptación de la luz y, por lo tanto, en la dinámica del rebrote (Chapman y Lemaire, 1993). Con base en lo anterior es que se plantea el modelo de la investigación, en el que el número de tallos y su peso son los que determinan la producción de biomasa (Matthew et al., 1996, 2013). Por un lado, el número de tallos por superficie es consecuencia del número de plantas logradas por superficie y del número de tallos por planta. Por otra parte, el tamaño o peso de los tallos resulta de la combinación del número de hojas vivas por tallo y del tamaño o la altura de las hojas.

Las variables anteriormente mencionadas pueden ser modificadas por cambios en el ambiente. Los factores que generan esos cambios pueden ser climáticos (temperatura y humedad), de suelo (físico, químico, biológico) o factores de manejo. En cuanto al último, existen varios estudios que cuantifican su incidencia.

Uno de los factores de manejo es la fecha de siembra: trabajos realizados por Pérez et al. (2010) indican que en el país el otoño es la mejor época, ya que la fecha de implantación tiene impacto sobre la incidencia de enfermedades vinculadas al período de establecimiento, y que con temperaturas mayores a 12 °C, y logrando escapar de los excesos hídricos, se evita su aparición. Tales condiciones se dan, mayormente, en los meses de marzo-abril. Carámbula (2002) coincide con lo expresado anteriormente

dado que las siembras tempranas provocan mayor precocidad debido a que promueven una población elevada de plantas y con mayor vigor. Además, Muslera y Ratera (1984) mencionan que se logra adelantar la utilización de la pastura, lo que trae aparejado el aumento en el período de su aprovechamiento total dadas las condiciones favorables durante el proceso de implantación, así como también durante las siguientes etapas de desarrollo. Estas podrán ser utilizadas a fin de otoño o invierno, momento en el que ocurre el máximo déficit de forraje (Zanoniani et al., 2003, Zanoniani, 2010). Sin embargo, no se recomienda que se hagan muy tempranas, ya que son momentos donde puede haber temperatura elevada (Formoso, 2006) y las plántulas pueden ser sometidas a sequía o golpes de sol. Asimismo, siembras realizadas en otoño presentan menor incidencia de malezas y plagas que las siembras de primavera, lo que hace disminuir el uso de herbicidas e insecticidas redundando en menores costos (Becker, s.f.). Esto demuestra ventajas frente a siembras tardías, determinando mayor sustentabilidad ambiental por menor uso de biocidas. Carámbula (2002) plantea que las condiciones de siembra consideradas ideales se encuentran acotadas a cortos períodos como consecuencia de que la interacción entre la humedad y la temperatura las condicionan. Por todo lo mencionado se podría concluir que la fecha más propicia para sembrar de manera de obtener una exitosa implantación es entre mediados de marzo y mediados de abril, cuando para las leguminosas se da un rápido desarrollo de plántulas, promocionando una buena nodulación y permitiendo la acumulación de reservas radicales (Rebuffo, 2000, Romero, 2009).

Por otro lado, el cultivo antecesor determina o condiciona en gran medida la calidad del rastrojo presente en el suelo, lo que conlleva una mayor o menor inmovilización de nutrientes dependiendo de su relación de C/N (carbono/nitrógeno) (Loydi et al., 2013). Según Borges Pérez (2001), la velocidad y el tipo de descomposición están afectados por la calidad del

rastrajo, por las bacterias u hongos encargados de descomponer compuestos más fáciles o de degradación más difícil como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa. Para lograr un suelo con las condiciones aptas para una implantación exitosa, el tiempo de barbecho juega un rol fundamental. Este actúa descomponiendo las raíces, lo que favorece la formación de los macroporos, que disminuyen la fijación del nitrógeno disponible por parte de los microorganismos. Grahan (2007) sugiere que el período de barbecho limpio supere los 40 días. Ernst y Siri-Prieto (2008) plantean que la implantación podría fallar si el tiempo de barbecho no se respeta debidamente, lo que conllevaría un menor crecimiento inicial y falta de nitrógeno. También es el tiempo de barbecho el determinante en la humedad y cantidad de nitrógeno a la siembra. Relacionado con el barbecho y el cultivo antecesor, los niveles de humedad y temperatura del suelo se ven afectados por la presencia de restos vegetales en la superficie, lo que afecta la cantidad y calidad de luz que le llega a las semillas y plántulas. La intercepción de luz que ejercen los restos vegetales reduce la cantidad de luz que llega al suelo, modificando la relación rojo/rojo lejano que regula el proceso de germinación, pudiendo ser inhibida para las semillas sembradas (Deregibus et al., 1994).

En cuanto a la calidad de semilla, si bien el peso de mil semillas depende en mayor medida de cada cultivar, la disponibilidad de nutrientes y humedad necesaria durante el desarrollo de esa semilla, así como el grado de madurez en el momento de la cosecha, afectan de manera significativa su tamaño. Este último se relaciona directamente con el peso, donde a mayor peso, mayor velocidad de germinación y vigor de plántulas, generando altos porcentajes de implantación y producción de raíces y menor tiempo para iniciar crecimiento de tallos, haciendo que se logre incrementar sobrevivencia bajo ambientes estresantes. Formoso (2007) expresa que son esas características las que conllevan en la práctica menores riesgos de perder las

pasturas, aumentando la tasa de crecimiento inicial y mejorando la precocidad en la entrega de rendimientos de materia seca superiores. A su vez, el autor destaca la interacción entre la profundidad de siembra y la calidad de las semillas, indicando que si aumenta el tamaño de las semillas, aumenta el vigor y disminuyen las muertes de plantas frente a mayores profundidades de siembra. Esto se explica por el mayor contenido de reservas que le permiten salir a la superficie.

El método de siembra, así como la densidad, son unos de los factores controlables, de gran importancia, que afectan directamente el costo de la pastura (Díaz y Moor, 1980). Sin embargo, son de los que menos información existe en el país. En ese sentido es que se plantea estudiar el efecto que distintos métodos de siembra y su interacción con el tipo de mezcla en referencia a la precocidad y largo de vida de las especies que las constituyen pueden tener en la estructura de la pastura, a través de cambios estructurales en las plantas. Con esto se quiere decir que se pretende evaluar si la distribución espacial de las semillas, mediante el método de siembra, influye sobre el número plantas, tallos y hojas vivas por tallo y tamaño de estas de tal manera que impacte sobre las variables estructurales de la pastura (número de tallos por superficie y tamaño de tallos) o simplemente permita compensar para que no repercuta en la producción de materia seca (MS) final (figura 1).

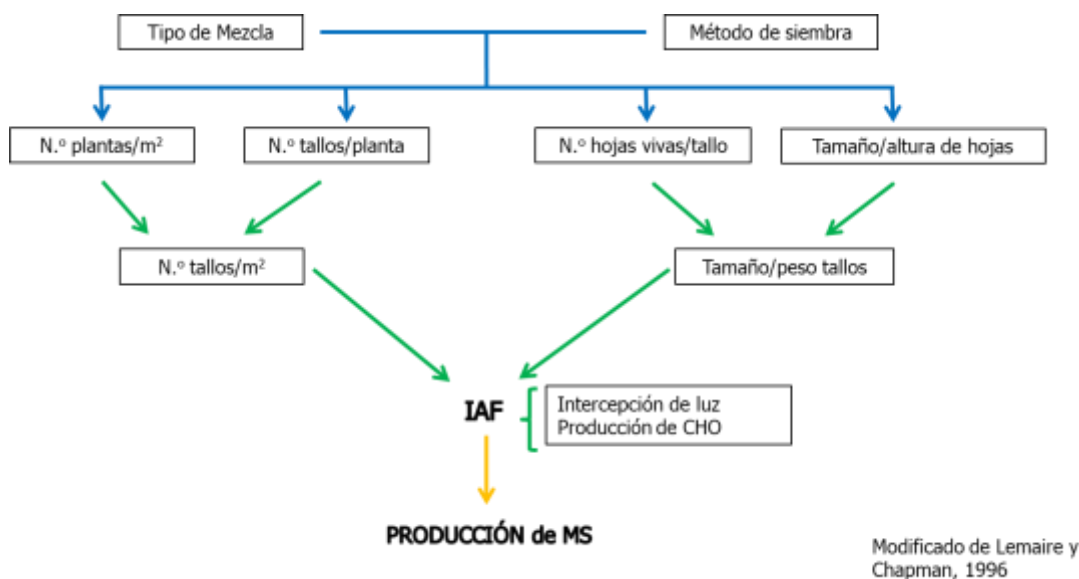


Figura 1: modelo conceptual de las relaciones entre los factores evaluados, características de las especies, variables estructurales de la pastura y producción de materia seca.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SITIO EXPERIMENTAL Y PERÍODO DE EVALUACIÓN

El estudio fue llevado a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República. El período de evaluación fue desde abril de 2019 a mayo de 2020. La temperatura histórica media anual es de 19,8 °C para la zona noroeste del país y las precipitaciones medias acumuladas anuales varían entre 1200 y 1600 mm (Castaño et al., 2011). Los suelos, según la clasificación de suelos del *Soils Taxonomy*, son Argiudoles típicos, con Natrudoles como suelos asociados (Altamirano et al., 1976).

2.2. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y un arreglo factorial de 2 x 3. Los bloques están dispuestos según la zona topográfica y los factores consisten en dos mezclas forrajeras

de distinto vigor inicial y longevidad y tres métodos de siembra. Los tratamientos son:

- 1 - MC*+ líneas cruzadas;
- 2 - MC+ gramínea en línea y leguminosa al voleo;
- 3 - MC+ misma línea.
- 4 - ML**+ líneas cruzadas;
- 5 - ML+ gramínea en línea y leguminosa al voleo;
- 6 - ML+ misma línea.

*MC: mezcla corta (*Lolium multiflorum* + *Trifolium pratense*). **ML: mezcla larga (*Festuca arundinacea* + *Lotus corniculatus*).

La fecha de siembra fue el 24 de abril de 2019. Las especies, cultivares y densidades de siembra utilizadas para la mezcla de corta duración fueron *Lolium multiflorum* (raigrás) cv. Montoro (20 kg/ha) y *Trifolium pratense* (trébol rojo) cv. E116 (7 kg/ha); para la mezcla de larga duración, *Festuca arundinacea* (festuca) cv. Aurora (15 kg/ha) y *Lotus corniculatus* (lotus) cv. INIA Rigel (8 kg/ha). La siembra se realizó con una sembradora Semeato, con distancia entre hileras de 0,19 m. La profundidad de siembra para las que fueron en línea fue de 1 cm, mientras que las que fueron al voleo quedaron depositadas sobre la tierra. El método de siembra en líneas cruzadas fue sembrado con dos pasadas de la sembradora, manteniendo un ángulo de 90° (figura 2).

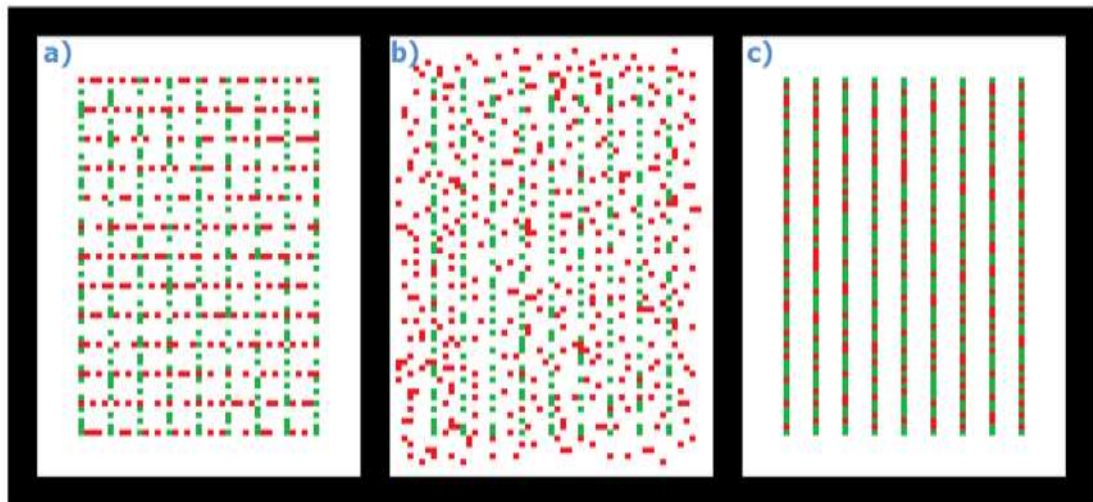


Figura 2: distribución de semillas según el método de siembra; a) líneas cruzadas, b) gramínea en línea y leguminosa al voleo, c) gramínea y leguminosa en la misma línea. Puntos verdes: gramíneas; puntos rojos: leguminosas.

Se realizó una prueba para determinar el porcentaje de germinación en la que se prepararon tres germinadores para cada especie. En cada placa de Petri se colocaron 100 semillas sobre papel absorbente y se humedeció el recipiente, que fue conservado por nueve días a una temperatura de 24 °C. El conteo se realizó a los seis y nueve días de colocadas las placas en la estufa de germinación para determinar el porcentaje de germinación de cada lote. Esta última se realizó con el fin determinar la existencia de semillas duras y se utilizaron los resultados para los cálculos.

Una vez obtenido el porcentaje de germinación, y con el peso de mil semillas y la densidad de siembra, se calcularon las semillas viables sembradas de cada especie:

$$\text{Semilla Viable/m}^2 = \frac{\text{densidad siembra } \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2}\right) * 1000}{\text{peso mil semillas (g)}} * \text{germinación (\%)}$$

Se sembraron 524, 350, 635, 487 semillas viables/m² para raigrás, trébol rojo, festuca y lotus, respectivamente, lo que resulta en 874 semillas viables/m² para la mezcla de corta duración y 1122 semillas viables/m² para la mezcla de larga duración.

Se realizó análisis de suelo presiembra de los primeros 20 cm de profundidad para determinar el contenido de nitratos mediante el método Kjeldahl (Kjeldahl, 1965) y fósforo mediante Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945) para ajustar los niveles de fertilización, eliminando el posible efecto de fertilidad de suelo sobre los tratamientos. El resultado fue 9 ppm de N-NO₃ y 10 ppm de P-P₂O₅. A la siembra se fertilizó con 100 kg/ha de 7-40 (7% Nitrógeno (100% amoniacal); 40% Fósforo (40% asimilable)), además de realizar una aplicación de 3 lt/ha de glifosato (Anexo 1).

2.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL, VARIABLES MEDIDAS Y DETERMINADAS

Las mediciones se realizaron a los 28 (259 °día), 47 (624 °día), 72 (880 °día) y 99 (1206 °día) días desde la siembra (DDS), en cuadros de 0,2*0,5 m colocados en las parcelas al comienzo del trabajo experimental. Su posición se marcó con estacas fijas, totalizando 6 estacas por parcela, para identificar las plantas medidas y evaluar su desarrollo. De esa manera se determinó la dinámica de implantación de cada especie componente de las mezclas contabilizando el número de plantas que se encontraban dentro de los cuadros fijos para determinar el número de plantas/m² y el número de tallos de cada planta contabilizada. Con esos datos se determinó el número de tallos por m². También se registró el número de hojas por tallo. La altura de pastura se midió según el método de Barthram (1986), tomando 3 registros por cuadro. Además, en la última fecha se midieron el peso de tallos, la biomasa aérea y la relación parte aérea:raíz de los componentes gramínea, leguminosa y malezas. Para esto se tomaron 6 muestras por parcela (cada

una representativa de los sitios fijos de medición), de 0,20*0,20*0,20 m, con objetivo era extraer también las raíces presentes en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. Esas muestras se llevaron al laboratorio, se lavaron, separaron gramíneas, leguminosas y malezas y además se separaron las fracciones parte aérea y raíz de cada componente. Se cuantificó el peso fresco, luego las muestras fueron llevadas al horno por 48 hs a 60°C y finalmente se midió el peso seco.

También se determinó el porcentaje de implantación (PI), explicado por el número de plantas que logran sobrevivir a los 99 DDS en relación con las semillas viables sembradas (Carámbula, 2002). Para el cálculo del porcentaje de implantación se utilizó la siguiente ecuación:

$$PI (\%) = \frac{\text{número de plantas/m}^2}{\text{semillas viables sembradas/m}^2} * 100$$

A lo largo de la investigación se realizaron 5 pastoreos con 31 novillos Holstein de 120 kgPV al inicio del período de pastoreo, el cual comenzó el 26 de agosto de 2019 y finalizó el 18 de mayo de 2020. Los ciclos fueron 4 durante el primer año y uno en el segundo año de vida de las pasturas. Se pastoreó de forma rotativa, por bloque, y no se analizaron variables relacionadas al animal, utilizándose los animales como acondicionadores de la pastura. Se tomó la altura promedio de las parcelas, siendo 15-20 cm el criterio para la entrada y 5-7 cm para la salida (Zanoniani, 2010). El período de ocupación de los pastoreos fue de 5 días promedio y las fechas fueron 26/08, 9/10, 18/11, 17/01 y 6/05. Los primeros 3 corresponden a primavera (el primero es forraje acumulado desde siembra a fin de invierno, el segundo y tercero es el forraje acumulado de primavera), el cuarto, a verano y el quinto, a otoño del segundo año.

En este período, para calcular la producción de materia seca se utilizó el disponible, el remanente y la tasa de crecimiento de los ciclos de pastoreo de cada parcela (Campbell, 1966). La materia seca disponible y remanente se obtuvieron mediante el método de doble muestreo planteado por Haydock y

Shaw (1975) con rectángulos de 0,2*0,5 m. Una vez representada la escala, se procedió a recorrer la parcela dando el punto de escala correspondiente a lo determinado con anterioridad. Se realizaron 20 repeticiones por parcela. En simultáneo se midió altura por el método de Barthram (1986). Con los datos generados se realizaron dos regresiones, una para la escala y otra para altura, sustituyendo en la ecuación el b (pendiente) con el valor promedio de la escala o altura de cada parcela y con eso se obtuvo el estado general de la pastura.

Para el cálculo del forraje disponible durante los pastoreos se lo ajustó teniendo en cuenta los días de ocupación de los bloques y la tasa de crecimiento de las mezclas durante esos días (Campbell, 1966).

A su vez, se estimó visualmente la fracción de cada componente de la pastura, gramínea sembrada, leguminosa sembrada, otras especies que fueron consideradas como malezas (incluidas especies espontáneas) y restos secos (Brown, 1954), y se realizaron 20 repeticiones dentro de cada parcela.

Por último, previo a la entrada del último ciclo de pastoreo, se contabilizó la cantidad de tallos verdes presentes en los sitios fijos utilizados en la etapa de implantación, determinando la supervivencia estival (SE):

$$SE(\%) = (M2/M1) * 100$$

donde M2 es el número de tallos /m² medido en el otoño del segundo año y M1 es el número de tallos medido a los 99 desde la siembra. Con esto se buscó establecer el número de macollos y tallos que habían sobrevivido al período estival.

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza, comparando las medias de los tratamientos por diferencia mínima significativa (DMS) con 5 % de probabilidad, con el objetivo de determinar diferencias tanto entre mezclas forrajeras como entre métodos de siembra y

su interacción. Las variables analizadas fueron de implantación, número de plantas y grado de desarrollo para cada fecha de medición y relación parte aérea:raíz para la última fecha de medición del período de implantación. También se utilizó el modelo para el análisis por estación y anual de la producción de materia seca, el forraje disponible, la tasa de crecimiento, el forraje desaparecido, la composición botánica y la sobrevivencia estival. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + (\tau \cdot \alpha)_{ij} + \beta_k + \epsilon_{ijk}$$

donde Y: variable de interés, μ : media poblacional, τ : mezcla, α : método de siembra, $T \cdot \alpha$: interacción de mezcla*método de siembra, β : bloque, ϵ : error experimental. Los datos presentados van acompañados del error estándar (EE) calculado como:

$$EE = (CME/n)^{0,5}$$

donde CME es el cuadrado medio del error y n, el número de muestras.

Para estudiar y poder predecir mediante ecuaciones el comportamiento del número de plantas y tallos por m², número de tallos por planta y número de hojas por tallo, se ajustaron regresiones teniendo en cuenta la acumulación térmica, considerando modelos lineales y cuadráticos que se presentan a continuación:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$$

donde Y: valor de la variable por la i-ésima observación, X: valor de la variable explicativa para la i-ésima observación. Como el mejor ajuste se obtuvo con regresiones lineales, son estas las que se van a presentar.

Para las variables relacionadas a la sobrevivencia estival se realizó un análisis multivariado de componentes principales para estudiar el grado de asociación de estas. Se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

3. RESULTADOS

En la figura se presenta el comportamiento de las principales variables climáticas durante el período experimental (figura 3).

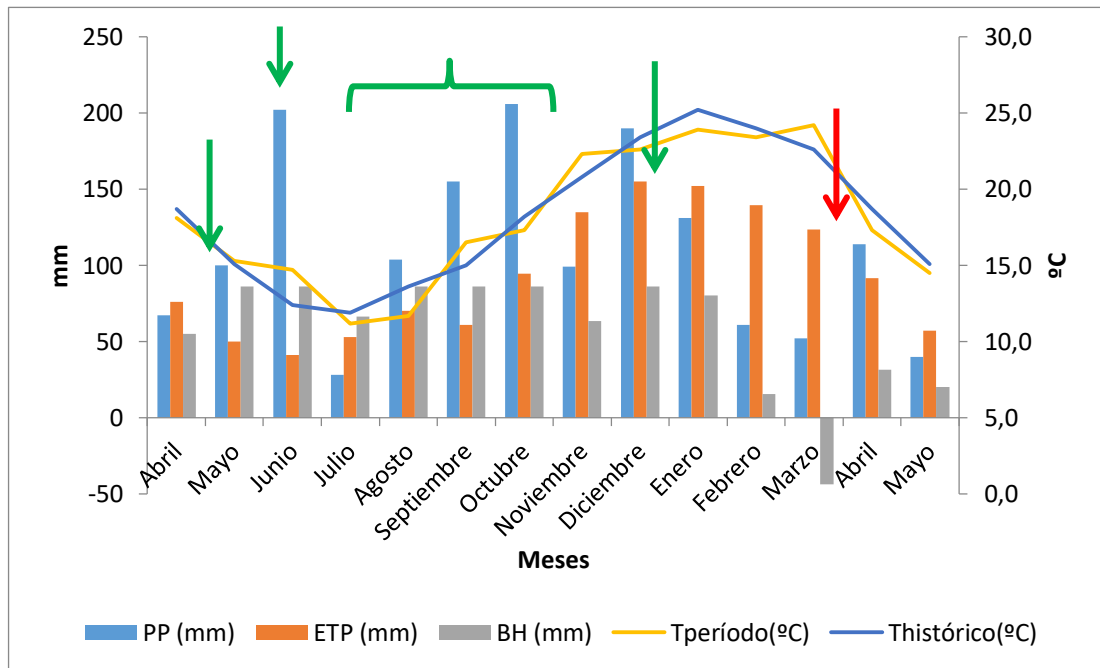


Figura 3: las barras indican precipitaciones acumuladas mensuales (PP), evapotranspiración potencial (ETP) y balance Hídrico (BH) en mm. Temp 19 (°C) indica la temperatura promedio mensual durante el período de estudio (UdelaR. FA. EEMAC, 2020). Temp Prom (°C) es el promedio de temperatura durante el período 1960-1990 (INUMET, 2020). Las flechas y llave de color verde indican exceso hídrico; la flecha roja, déficit hídrico.

Se observa que, para los meses de mayo, junio agosto, setiembre, octubre y diciembre hubo exceso hídrico. En marzo el balance hídrico es negativo.

3.1. EVOLUCIÓN DEL % IMPLANTACIÓN

Con respecto a la evolución del porcentaje de implantación (PI), ninguna de las cuatro especies evaluadas superó el 50 % a lo largo de las distintas fechas de medición, independientemente del tratamiento. Si bien el

porcentaje general de implantación del experimento fue de $37 \pm 1,42$ %, cuando se estudia el PI según las mezclas a los 99 DDS independientemente del método de siembra, la mezcla compuesta por raigrás y trébol rojo obtuvo un $42 \pm 1,26$ %, siendo significativamente diferente a la mezcla de festuca y lotus que presentó el $33 \pm 1,23$ %. En cuanto a las gramíneas, el raigrás logró un PI estadísticamente más alto que la festuca; mientras que las leguminosas no presentaron diferencias estadísticas entre ellas (tabla 1).

Por otro lado, a los 99 DDS el método de siembra en la misma línea fue estadísticamente mayor que el realizado en líneas cruzadas; mientras que el método donde la gramínea fue sembrada en línea y la leguminosa, al voleo, no presentó diferencias con ninguno de los métodos mencionados. Además, no se obtuvieron diferencias para la interacción de los factores.

Tabla 1. Resultados, error estándar (EE) y significancia (P-valor) de PI según la especie de gramínea (GRAM): raigrás (MC), festuca (ML); las especies de leguminosas (LEG): trébol rojo (MC), lotus (ML); la mezcla (MIX): mezcla corta (MC), mezcla larga (ML); método de siembra (M.S.): misma línea (ML), gramínea en línea y leguminosa al voleo (L+V), líneas cruzadas (LC).

	MEZCLA				M.S.				
	MC	ML	EE	P-valor	ML	L+V	LC	EE	P-valor
PI (GRAM)	47,7 a*	35,0 b	1,14	<0,0001	44,6 a	40,5 ab	39,1 b	1,40	0,0457
PI (LEG)	33,4	29,5	1,55	0,11	32,3 ab	35,9 a	26,3 b	1,90	0,0158
PI (MIX)	42,0 a	32,6 b	1,02	0,0001	39,5 a	38,7 ab	33,8 b	1,25	0,019

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.2. NÚMERO DE PLANTAS

El análisis según método de siembra para la última fecha de evaluación (1206 °día) de las especies gramíneas muestra que para ambas especies el método en misma línea presentó diferencias estadísticas en comparación con el método en líneas cruzadas, sin diferenciarse con ninguno de los anteriores el método donde la gramínea fue sembrada en línea y la leguminosa al voleo

(tabla 2). Para el caso de las leguminosas, el método de siembra en el cual la leguminosa fue sembrada al voleo fue el que mejor se comportó, siendo el método cruzado el de peor desempeño; por su parte, el método de siembra en la misma línea no se diferenció de los otros métodos (tabla 3). Estudiando las mezclas se observa que estas no presentaron diferencias estadísticas y que el método en líneas cruzadas fue significativamente inferior al de misma línea, explicado por el comportamiento de la gramínea (tabla 4).

La variable número de plantas/m² para la especie festuca no se ajustó en función de la acumulación térmica para ninguno de los métodos de siembra (tabla 5). La tendencia fue a que no varíe el número de plantas por metro cuadrado a lo largo de los días. Eso podría significar que la compensación y muerte de plántulas ocurrió antes de la primera medición, antes de los 33 DDS. Por otra parte, raigrás tampoco presentó diferencias significativas en función de la acumulación térmica para ningún método de siembra, pero en este caso la tendencia fue un comportamiento lineal y positivo.

Para el caso de las leguminosas, tampoco se encontró ajuste de la variable en función de la acumulación térmica (tabla 5). Sin embargo, para lotus, la tendencia fue que se mantenga el número de plantas por superficie, mientras que para trébol rojo la tendencia fue a bajar el número de plantas a medida que aumentó la acumulación térmica. Para ninguna de las especies y, por lo tanto, las mezclas, fue un buen predictor de la variable número de plantas/m² la acumulación térmica.

3.3. NÚMERO DE MACOLLOS Y TALLOS

La variable número de tallos/planta no presentó diferencias estadísticas ni entre métodos de siembra ni entre especies gramíneas a los 1206 °día (tabla 2). Al momento de analizar la densidad de tallos por m² tampoco se

observan diferencias estadísticas entre las especies, ni entre métodos de siembra.

Dentro de las leguminosas, la especie lotus fue la que generó mayor número de tallos por planta y por superficie en comparación a trébol rojo (tabla 3). En el estudio del comportamiento de las mezclas, no existieron diferencias significativas ni para las mezclas ni para los métodos o su interacción (tabla 4).

Para el caso de las variables número de macollos/planta y número de macollos/m², se encontraron relaciones entre cada una de ellas y la acumulación térmica cuando se estudió la evolución. Ambas especies aumentan el número de macollos acorde aumenta la acumulación térmica, siendo la relación lineal y positiva (tabla 5). Para todo el período, la festuca mostró un aumento promedio de 1,77 macollos/m² por cada unidad de acumulación térmica, mientras que raigrás presentó un promedio de 2 macollos/m² por cada grado acumulado (figura 4).

Al igual que lo que sucedió con las gramíneas, existió respuesta positiva y lineal para todos los tratamientos por parte de las leguminosas a la acumulación térmica (tabla 5). Por su parte, trébol rojo y lotus presentaron un aumento promedio de 0,17 y 0,55 tallos/m², respectivamente.

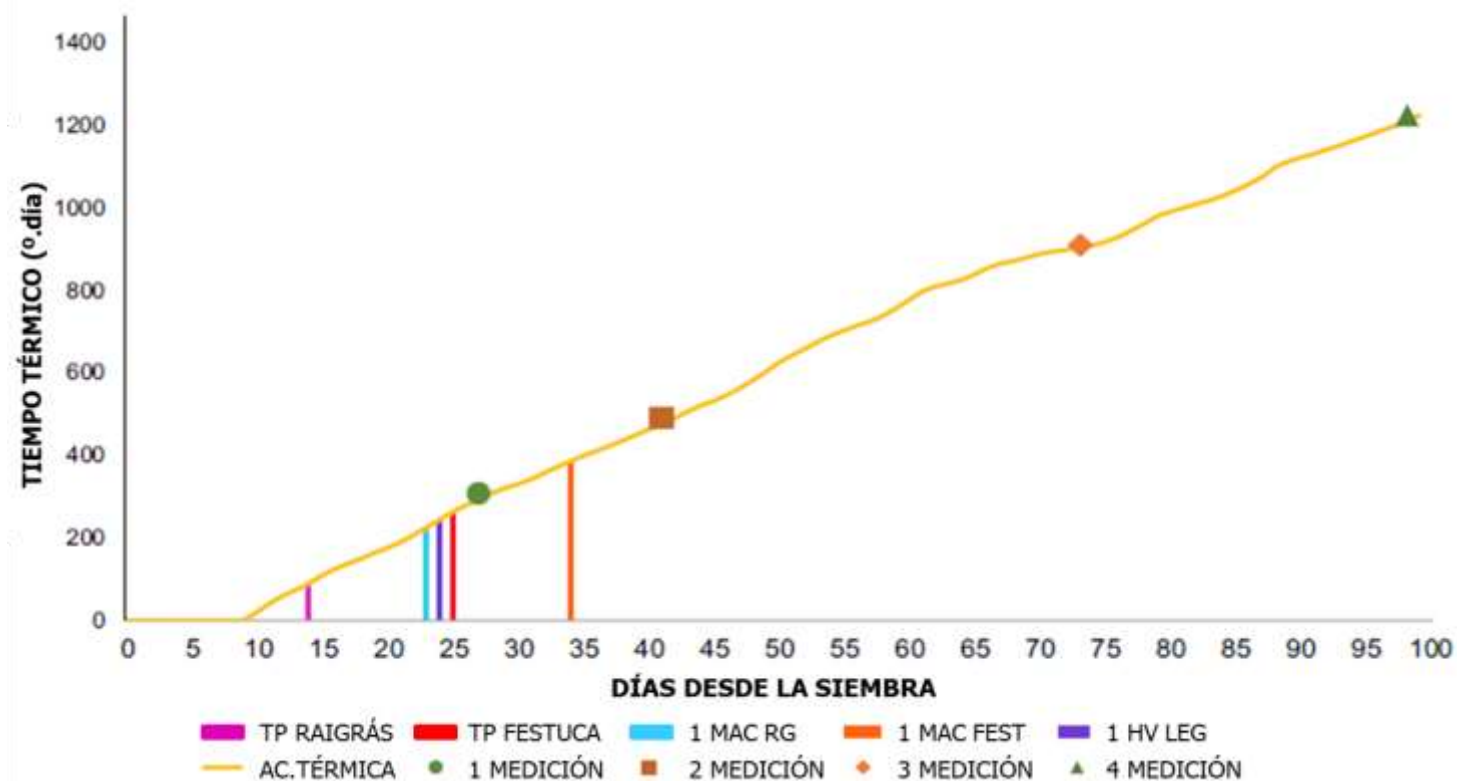


Figura 4: efecto de la temperatura durante la implantación en la determinación de variables morfogénicas para las especies sembradas. Fechas de medición (1, 2, 3, 4 MEDICIÓN), aparición del tallo principal de las gramíneas (TP RAIGRÁS; TP FESTUCA), aparición del primer macollo de las gramíneas (1 MAC RG; 1 MAC FEST) aparición de la primera hoja verdadera de las leguminosas (1 HV LEG). Acumulación térmica a lo largo del período de implantación.

3.4. NÚMERO DE HOJAS VIVAS

La variable número de hojas vivas por tallo no presentó diferencias significativas cuando se analizaron las especies gramíneas en la última fecha de medición (tabla 2). No así el método de siembra, que fue diferente estadísticamente en el estudio de ambas especies, siendo el comportamiento del método de líneas cruzadas inferior al de misma línea.

Para el caso de las especies leguminosas existieron diferencias estadísticas en la interacción de factores, siendo lotus en sus tres métodos de siembra superior y diferente que trébol rojo y, a su vez, siendo el método cruzado superior y diferente al método de misma línea para la especie lotus (tabla 3). Es destacable que para esta variable el comportamiento de las especies fue contrastante, ya que en el caso de las gramíneas el método de siembra en líneas cruzadas fue el que se comportó peor, ocurriendo lo contrario para las especies leguminosas.

El análisis de las mezclas da como resultado que existen diferencias significativas a nivel de tipo de mezcla, presentando mayor número de hojas por metro cuadrado la mezcla larga, sin presentar diferencias entre métodos ni interacción (tabla 4).

Analizando cada especie, la respuesta de las regresiones fueron significativas, lineal y positivas entre hojas vivas/tallo y acumulación térmica para cada método de siembra (tabla 5).

3.5. ALTURA DE PLANTAS

Se realizó el análisis de la altura de las plantas en el que raigrás presentó mayor altura que festuca (tabla 2) y trébol rojo fue más alto que lotus (tabla 3), independientemente del método de siembra. A nivel de mezclas, la mezcla corta fue estadísticamente superior en altura que la mezcla larga, sin diferencias entre métodos de siembra, ni cuando se analizó la interacción de factores (tabla 4). Cuando se estudió el comportamiento de

la altura en función de la acumulación térmica, se encontró que fue lineal y positivo para todas las combinaciones factoriales (tabla 5).

3.6. PESO DE MACOLLOS Y TALLOS

Por otro lado, se evaluó el peso de los tallos a los 99 DDS y se observó que el raigrás obtuvo mayor peso de macollos que festuca, independientemente del método de siembra (tabla 2). A su vez, el trébol rojo presentó mayor peso de tallo en comparación con la leguminosa de la mezcla larga (tabla 3). Para ningún caso presentaron diferencias significativas el método de siembra ni la interacción.

3.7. BIOMASA (kgMS/ha)

Dentro de las especies gramíneas en la última fecha de medición, raigrás en comparación con festuca logró más cantidad de plantas por metro cuadrado e igual número de tallos por planta, dando como resultado que la primera obtuviera mayor cantidad de tallos por metro cuadrado. A su vez, no se diferenciaron en el número de hojas por tallo, mas sí lo hicieron en altura, siendo la especie anual más alta que la especie perenne, resultando en tallos más pesados por parte de la especie de la mezcla corta. Lo anterior determinó que raigrás haya logrado más cantidad de biomasa en comparación con festuca, sin presentar diferencias estadísticas ni el método de siembra ni la interacción (tabla 2).

Por otro lado, también a los 99 DDS, la especie leguminosa lotus fue la que obtuvo mayor cantidad de plantas establecidas por metro cuadrado, así como la que logró emitir más número de tallos por planta, resultando en una mayor densidad de tallos en comparación con trébol rojo. Al mismo tiempo, lotus fue la especie que emitió más hojas por tallo, pero no logró superar en altura a trébol rojo, que, además, presentó tallos más pesados. Si bien lotus se estableció con mayor densidad de tallos por metro cuadrado y hojas por

tallos, no logró compensar la diferencia en el peso de cada tallo a favor de trébol rojo, resultando en mayor cantidad de biomasa generada por parte del último. No se encontraron diferencias ni entre métodos ni en la interacción (tabla 3).

Finalmente, cuando se analizó la producción de biomasa para la última fecha de medición de la etapa de implantación, se observó que existen diferencias según la mezcla utilizada, logrando mayor cantidad de biomasa la mezcla corta, mientras que ni el método ni la interacción fueron significativas en el estudio de esta variable (tabla 4; figura 5).

3.8. RELACIÓN PARTE AÉREA:RAÍZ

En cuanto a la parte aérea, como se vio anteriormente, las especies de la mezcla corta lograron producir mayor cantidad de biomasa al fin del período de establecimiento; mientras que en la parte radicular, ni entre las gramíneas ni entre las leguminosas se encontraron diferencias estadísticas (tabla 2; tabla 3).

Esto determinó que la relación parte aérea:raíz de la mezcla corta fuera superior a la de la mezcla larga, lo que significa que ambas especies de la mezcla desarrollaron mayor cantidad de biomasa aérea en detrimento de la radicular (tabla 4). Además, en el caso particular de las leguminosas, el método de siembra en línea presentó mayor relación parte aérea:raíz que el método en líneas cruzadas.

Tabla 2: resultados, error estándar (EE) y significancia (P-valor) de las variables medidas según especie gramínea: raigrás (Rg), festuca (Fest); método de siembra: misma línea (ML), gramínea en línea y leguminosa al voleo (L + V), líneas cruzadas (CRUZ).

		ESPECIE				MÉTODO SIEMBRA				
		Rg	Fest	EE	P-valor	ML	L + V	CRUZ	EE	P-valor
N.º Pl.m ⁻²		250	222	-	-	255 a*	230 ab	223 b	8	0,04
N.º macollos.pl ⁻¹		8,78	8,89	0,29	0,79	8,5	9,17	8,83	0,36	0,45
N.º macollos.m ⁻²		2222	1982	82	0,07	2174	2112	2020	101	0,6
N.º hojas.macollos ⁻¹		2,58	2,48	0,03	0,05	2,6 a	2,56 ab	2,42 b	0,04	0,02
Altura	cm	15,4 a	11,2 b	0,54	0,0003	12,93	13,47	13,45	0,66	0,81
Peso macollos	gr	0,14 a	0,09 b	0,01	0,002	0,1	0,11	0,13	0,01	0,09
Biomasa	kgMS.ha ⁻¹	1584 a	796 b	46	< 0,0001	1243	1220	1106	57	0,24
Relación A:R**		2,93 a	1,73 b	0,18	0,0009	2,07	2,5	2,43	0,22	0,37

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). **relación parte aérea:raíz

Tabla 3: resultados, error estándar (EE) y significancia (P-valor) de las variables medidas según especie leguminosa: trébol rojo (Tr), lotus (Lc); método de siembra: misma línea (ML), gramínea en línea y leguminosa al voleo (L + V), líneas cruzadas (CRUZ).

		ESPECIE				MÉTODO SIEMBRA				
		TR	LC	EE	P-valor	ML	L + V	CRUZ	EE	P-valor
N.º Pl.m ⁻²		117	144	-	-	134 ab*	149 a	109 b	8	0,01
N.º tallos.pl ⁻¹		2,67 b	5,22 a	0,26	< 0,0001	3,67	3,67	4,5	0,31	0,14
N.º tallos.m ⁻²		294 b	741 a	31	< 0,0001	496	572	484	38	0,25
N.º hojas.tallo ⁻¹		8,9 b	26,9 a	0,75	< 0,0001	15,52 b	18,3 ab	19,82 a	0,92	0,02
Altura	cm	8,6 a	6,6 b	0,42	0,006	7,7	8,13	6,97	0,52	0,32
Peso tallos	gr	0,11 a	0,03 b	0,01	0,0003	0,07	0,07	0,07	0,01	0,87
Biomasa	kgMS.ha ⁻¹	147 a	91 b	13	0,02	141	128	90	16	0,13
Relación A:R**		2,67 a	2,24 b	0,1	0,02	2,77 a	2,33 ab	2,27 b	0,13	0,04

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). **relación parte aérea:raíz

Tabla 4: resultados, error estándar (EE) y significancia (P-valor) de las variables medidas según tipo de mezcla: mezcla corta (MC), mezcla larga (ML); método de siembra: misma línea (ML), gramínea en línea y leguminosa al voleo (L + V), líneas cruzadas (CRUZ).

		MEZCLA				MÉTODO SIEMBRA				
		MC	ML	EE	P-valor	ML	L + V	CRUZ	EE	P-valor
N.º Pl.m⁻²		367	366	-	-	389 a*	380 ab	332 b	12	0,02
N.º tallos.m⁻²		2516	2723	92,07	0,14	2671	2683	2504	112	0,48
N.º hojas.m⁻²		28745 b	79878 a	3626	< 0,0001	49437	57321	56176	4441	0,43
Altura	cm	13,3 a	9,4 b	0,36	< 0,0001	11,17	11,52	11,34	0,44	0,85
Biomasa	kgMS.ha ⁻¹	1748 a	903 b	47,69	< 0,0001	1404	1367	1205	58,41	0,08
Relación A:R**		2,8 a	2,01 b	0,11	0,0004	2,42	2,42	2,38	0,13	0,98

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). **relación parte aérea:raíz

Tabla 5: ecuaciones de regresión lineal por especie, entre variables medidas en función de la acumulación térmica, con su respectivo R².

	RAIGRÁS	R²	FESTUCA	R²	LOTUS	R²	TRÉBOL ROJO	R²
N.o Pl.m⁻²	y = 0,0494x + 176,19	0,167	y = 0,0029x + 223,87	4E-04	y = -0,0106x + 152,09	0,015	y = -0,011x + 124,95	0,020
N.o tallos.pl⁻¹	y = 0,0077x + 0,281	0,848	y = 0,008x - 1,1337	0,887	y = 0,004x + 0,0641	0,895	y = 0,0016x + 0,4523	0,636
N.o tallos.m⁻²	y = 2,0051x - 171,31	0,869	y = 1,7748x - 248,34	0,866	y = 0,5472x + 29,401	0,778	y = 0,1737x + 62,29	0,452
N.o hojas.tallo⁻¹	y = 0,0018x + 0,7832	0,875	y = 0,0019x + 0,5598	0,859	y = 0,0245x - 4,6727	0,848	y = 0,008x - 0,9605	0,877
Altura (cm)	y = 0,0047x + 6,4847	0,500	y = 0,0071x + 7,9383	0,622	y = 0,0042x + 1,6616	0,712	y = 0,0061x + 1,1916	0,790

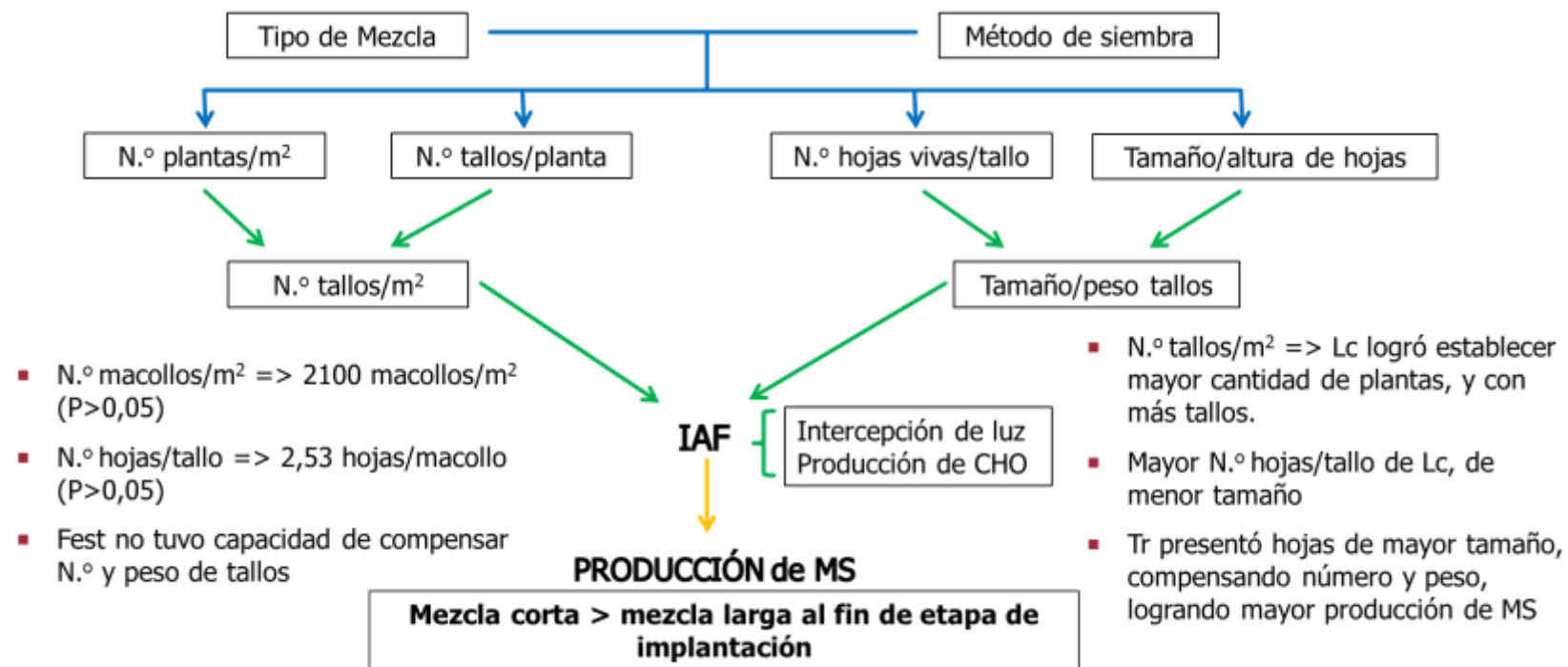


Figura 5: resumen de los resultados de la etapa de implantación de las mezclas.

3.9. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, COMPOSICIÓN BOTÁNICA, SOBREVIVENCIA ESTIVAL

Como fue antes mencionado, la producción de materia seca durante el invierno del primer año presentó diferencias significativas para el factor mezcla, siendo la mezcla corta la de mejor desempeño. La producción de primavera fue significativamente superior para la mezcla corta, mientras que en verano del primer año las mezclas no se diferenciaron. En otoño del segundo año las diferencias entre mezclas fueron a favor de la mezcla larga (tabla 6). Esto da como resultado que la producción del primer año fuera estadísticamente superior para la mezcla corta, mientras que en el segundo año la mezcla larga fue la de mayor producción. A su vez, analizando la producción total, se encontraron diferencias para las mezclas a favor de la mezcla corta (tabla 6). Por último, el comportamiento del forraje disponible y la tasa de crecimiento estacional es igual al de producción de biomasa (tabla 7). Los métodos de siembra no se diferenciaron ni tampoco la interacción de factores.

En relación al forraje desaparecido durante la primavera, la mezcla corta se diferenció estadísticamente de la mezcla larga, sin importar el método de siembra. En el verano no se encontraron diferencias para ningún factor, mientras que en otoño del segundo año el forraje desaparecido fue mayor para la mezcla corta diferenciándose estadísticamente (tabla 7).

En el estudio de la composición botánica, del disponible para la estación de primavera el raigrás fue estadísticamente superior en términos de kgMS/ha que la festuca, así como el trébol rojo lo fue en comparación con el lotus. En el caso de las malezas, la mezcla larga fue la que alcanzó mayores niveles de este componente. No se encontraron diferencias en cuanto a los restos secos presentes. En verano la festuca aportó más kgMS/ha que el raigrás, no así el lotus, que aportó menor cantidad de biomasa a la mezcla que trébol rojo. En cuanto a las malezas, se encontró una mayor presencia

en la mezcla corta y no se diferenciaron los restos secos en esta estación. Por último, en otoño la gramínea con mayor aporte fue festuca y de las leguminosas lo fue trébol rojo. Se encontraron diferencias estadísticas para el componente malezas, en el cual se diferenció el método de siembra, siendo la siembra de gramínea en línea y leguminosa al voleo el que presentó mayor cantidad de malezas en comparación con los otros dos métodos (760 vs. 600 kgMS/ha), ni las mezclas ni la interacción de factores presentaron diferencias en esta estación. No se diferenciaron los restos secos (figura 6).

Se realizó un análisis de componentes principales (figura 7) donde se observa que la sobrevivencia estival de cada mezcla es caracterizada por distintas variables, el método de siembra no explica el resultado de la sobrevivencia estival de ninguna de ellas y el tipo de mezcla caracteriza a la mezcla larga. Como se puede apreciar también, son las variables relacionadas con la especie leguminosa y la materia seca de malezas las que caracterizan la sobrevivencia estival de la mezcla corta, mientras que las que se relacionan con las gramíneas, las que explican la SE de la mezcla larga. Sin embargo, la variable macollos/m² del primer año caracterizó a la SE de la mezcla corta y los tallos/m² del primer año a la SE de la mezcla larga.

Por último, al estudiar la sobrevivencia estival de las especies gramíneas se registró que fue significativa, siendo festuca la que presentó mayor porcentaje en comparación con la gramínea de la mezcla corta; no se encontraron diferencias entre métodos de siembra. Cuando se analizó la SE de las especies leguminosas las diferencias estadísticas fueron para el factor mezcla, donde el trébol rojo presentó mayor porcentaje comparado con el lotus. El peso de macollos medidos en el otoño del segundo año presentó diferencias solamente para el factor mezcla, explicado por la ausencia del raigrás en la mezcla corta. Los tallos de leguminosas no presentaron diferencias. En ningún caso la interacción entre factores fue significativa (tabla 8).

Tabla 6: producción estacional, anual y total de las mezclas en kgMS/ha. Significancia de las mezclas, métodos de siembra e interacción de los factores.

	MEZCLA				MÉTODO	MEZCLA*MÉTODO
	Corta	Larga	EE	P-valor	P-valor	P-valor
INVIERNO	2900 a*	1500 b	74	< 0,0001	0,10	0,35
PRIMAVERA	4300 a	1000 b	163	< 0,0001	0,76	0,72
VERANO	1500	1300	90	0,12	0,05	0,41
OTOÑO (AÑO 2)**	280 b	400 a	41	< 0,05	0,45	0,78
AÑO 1	8700 a	3700 b	249	< 0,001	0,44	0,57
TOTAL	9000 a	4100 b	249	< 0,001	0,34	0,62

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). **Corresponde a la producción total de MS del año 2

Tabla 7: forraje disponible (kgMS/ha), tasa de crecimiento (kgMS/ha/día), forraje desaparecido (kgMS/ha) por estación de las mezclas. Significancia de las mezclas, métodos de siembra e interacción de los factores.

		MEZCLA				MÉTODO	MEZCLA*MÉTODO
		Corta	Larga	EE	P-valor	P-valor	P-valor
FORRAJE DISPONIBLE	PRIMAVERA	2900 a*	1300 b	64	< 0,0001	0,76	0,75
	VERANO	1830	1770	85	0,64	0,07	0,39
	OTOÑO 2	850 b	1050 a	30	0,008	0,06	0,36
TASA DE CRECIMIENTO	PRIMAVERA	49 a	13 b	1,7	< 0,0001	0,96	0,79
	VERANO	28	24	1,7	0,10	0,05	0,34
	OTOÑO 2	3 b	4 a	0,4	0,04	0,53	0,80
FORRAJE DESAPARECIDO	PRIMAVERA	2300 a	640 b	69	< 0,0001	0,86	0,73
	VERANO	1270	1150	94	0,35	0,14	0,36
	OTOÑO 2	500 a	320 b	44	0,02	0,08	0,87

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

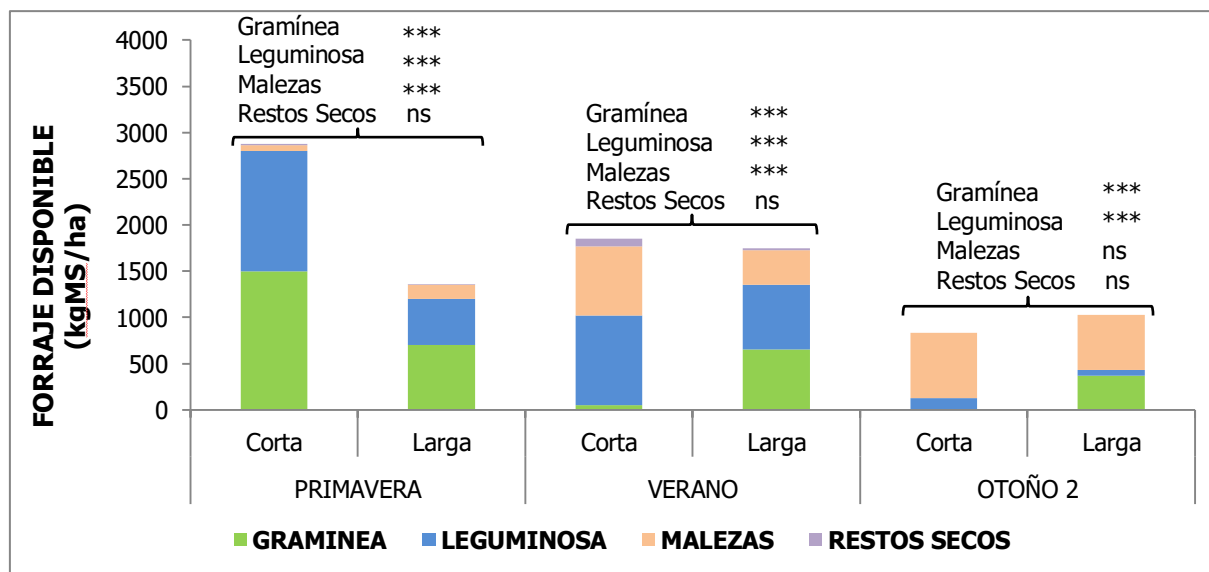


Figura 6: composición botánica de las mezclas para cada estación.

Tabla 8: sobrevivencia estival (SE) por especie, número de macollos por superficie y peso de los tallos medidos al segundo otoño.

	MEZCLA				MÉTODO	MEZCLA*MÉTODO
	Corta	Larga	EE	P-valor	P-valor	P-valor
SE GRAM (%)	1 b*	50 a	3	< 0,001	0,08	0,06
NºMAC/M²	30 b	970 a	64	< 0,0001	0,31	0,28
PESO MAC (g)	0 b	0,04 a	1,40E-03	< 0,0001	0,67	0,67
SE LEG (%)	177 a	47 b	23	0,0024	0,72	0,99
NºTALLOS/M²	480	360	69	0,23	0,21	0,51
PESO TALLOS (g)	0,03	0,02	2,30E-03	0,06	0,07	0,14

*números seguidos de letras diferentes en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

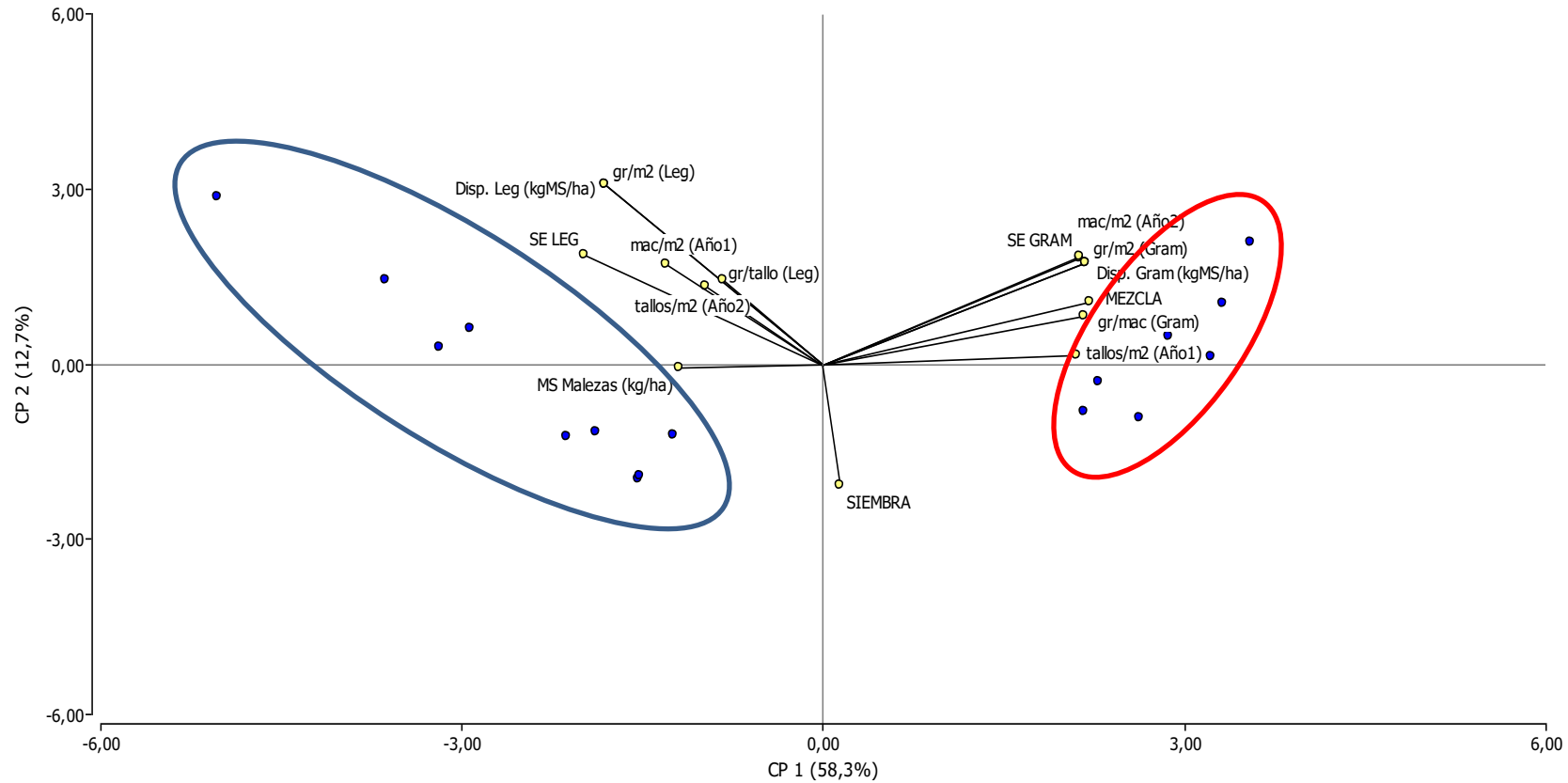


Figura 7: biplot del análisis de componentes principales de la SE de las mezclas, donde el elipse azul encierra a la mezcla corta y el elipse rojo, a la mezcla larga. Año1 hace referencia a la última medición del período de implantación, año2 refiere a otoño del 2.º año. Las variables que contienen la palabra *tallo* hacen referencia a las leguminosas, las que contienen *mac*, a las gramíneas.

4. DISCUSIÓN

4.1. IMPLANTACIÓN Y NÚMERO DE PLANTAS

Los resultados presentados anteriormente, en los que el porcentaje de implantación no supera el 50 % en todo el período inicial, podrían explicarse porque no solamente el método de siembra y la composición de las mezclas influyen en el proceso de implantación, sino que existen factores ambientales, en los que el humano no puede interceder, que afectan y condicionan de manera más importante. Como mencionan Anslow y Green (1967), son la temperatura, así como la radiación, factores del ambiente que el hombre no puede controlar en situaciones de campo y que definen la base de las condiciones para el crecimiento de una pastura, y donde la temperatura es el factor preponderante en la determinación de la producción de la biomasa aérea.

Los datos obtenidos son similares a los publicados por distintos autores si se los compara en cada momento de medición, variando desde 50–58 %, según la mezcla a los 50 días, hasta 30-35 % a los 90-100 DDS. Boschi et al. (2016) plantea que no se alcanzaron porcentajes de establecimiento mayores a 59 % entre 20-50 días después de la siembra para condiciones experimentales haciendo referencia a varios autores. A su vez, García Favre et al. (2017) publicaron que a los 90 DDS el PI promedio alcanzado fue cercano a 30 %. Por lo tanto, solo con un cambio en el método de siembra no se pudo levantar la limitante del bajo PI. Moliterno (2000) también obtuvo porcentajes de establecimiento bajos a muy bajos de distintas mezclas forrajeras, alcanzando, en el mejor de los casos, 58 % de semillas establecidas de la mezcla raigrás, trébol blanco, trébol rojo y lotus en relación con semillas viables sembradas. En el caso de la mezcla de festuca, trébol blanco y lotus, el autor reporta porcentajes de establecimiento de 34 %, similares al del presente trabajo.

El mejor desempeño en cuanto al PI del raigrás está, en parte, explicado por el mayor vigor inicial que presenta esta especie en comparación con la festuca (Barnes, 2018). Ese mayor vigor inicial, tal como sugiere Brock et al. (1982), es reflejo de la mayor velocidad de desdoblamiento las reservas del endosperma por parte del raigrás. Esta característica es de vital importancia en la competencia de las plantas (McKell et al., 1969). Los factores que pueden ser de peso para la determinación del vigor inicial son la rapidez de germinación, la tasa de extensión tanto de la raíz como de los tallos y la eficiencia general de la conversión de las reservas del endosperma en longitud de plántula (Whalley et al., 1966). A su vez, la capacidad de las semillas de movilizar reservas de carbohidratos desde el endosperma a los puntos de crecimiento es una característica importante que diferencia a las especies (Askin, 1994). Para el caso de raigrás, que posee menor tamaño de semillas comparativamente con otras gramíneas, su mayor establecimiento frente a festuca pudo deberse a que presenta mayor tasa de crecimiento relativa, resultando en plantas con mayor desarrollo y mayor capacidad de competencia por recursos limitantes durante un período dado (Garnier, 1992).

En ese sentido, el menor establecimiento de festuca, cuando se compara con raigrás, es aparentemente debido al lento desarrollo de las plántulas y la consiguiente susceptibilidad a la competencia (Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996). Praat et al. (1996) recomiendan que las tasas de siembra no sean más altas que lo requerido para alcanzar 500 plantas por m², asumiendo eficiencia de siembra y alrededor de 80 % de emergencia de semillas viables. En este trabajo, si bien el número de semillas viables para las especies está apenas por encima de 500, el porcentaje de implantación fue considerablemente menor al 80 % de emergencia planteado por los autores.

El peor desempeño del método de siembra en líneas cruzadas en relación con el realizado con leguminosas en la misma línea puede deberse a que ocurre un alto grado de competencia intraespecífica en pasturas cultivadas (McKell et al., 1969); así es que en el método de siembra cruzada (donde las especies son sembradas por separado) se encuentran plantas de una misma especie compitiendo por los mismos recursos en la línea, mientras que cuando son sembradas ambas especies en la misma línea, si bien hay mayor densidad de plantas, al tener distintos requerimientos la competencia circundante podría ser menor.

Por otro lado, en el análisis de las especies de leguminosas, ninguna logró diferenciarse. Esto podría explicarse por el menor vigor de la festuca (Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996), que promovió mejores condiciones para el establecimiento del lotus, ya que ayuda a que la leguminosa no esté sujeta a la sombra, favoreciendo su crecimiento durante el periodo de establecimiento (Frame, 2019). En contraste, el trébol rojo pudo haber experimentado la competencia del raigrás, lo que condujo a un menor establecimiento de la especie, ya que la semilla de la gramínea es más grande, siendo más competitiva que la leguminosa en la mezcla (Kidson y Westoby, 2000) limitando el crecimiento de esta última.

Si bien la población de trébol rojo fue menor a la de lotus, Frame (2019) sugiere que una población de 200 plantas de trébol rojo por metro cuadrado al otoño del período de establecimiento es razonable si se tiene como objetivo un *stand* de plantas dominado por esta leguminosa, lo cual teniendo en cuenta la situación del presente experimento donde la leguminosa es parte de una mezcla en la que pretende ser balanceada y no dominada por la especie leguminosa, el comportamiento de esta está dentro de la recomendación.

El mejor comportamiento en relación al PI y número de plantas.m⁻² del método de siembra al voleo con respecto al método cruzado para las

especies leguminosas se explica porque el primero logra depositar la semilla en la superficie, que para semillas tan pequeñas como las utilizadas es lo recomendado debido a que tienen pocas reservas en la misma como para tolerar siembras más profundas que puedan generar el agotamiento de esas reservas y hacer que falle la germinación (Cooper, 1977, Langer, 1981, Frame, 2019).

Por último, si bien está demostrado que la temperatura incide de forma lineal en la germinación (Brar et al., 1991, Hill y Luck, 1991, Lonati et al., 2009) y que las especies utilizadas presentan temperaturas óptimas de germinación de entre 10 y 25 °C (Butler et al., 2014), en este estudio no se vio reflejado, producto de que existieron otros factores durante el proceso inicial que, sumados, tuvieron más impacto y deprimieron el efecto de la temperatura. En ese sentido, Awan (1995), investigando sobre leguminosas, resalta que para el período de establecimiento de las plántulas el contenido gravimétrico de agua del suelo, la temperatura del suelo, la temperatura mínima del aire y las corrientes de aire son factores más importantes que la temperatura máxima del aire, las precipitaciones, los grados día y el potencial de evapotranspiración. Teniendo en cuenta las condiciones ambientales en el presente trabajo, el exceso hídrico durante los primeros meses de establecimiento de las pasturas pudo haber sido más determinante que la acumulación térmica en cuanto a la emergencia de plántulas a lo largo del período y, por lo tanto, al número de plantas/m² al finalizar tal período.

4.2. NÚMERO DE MACOLLOS Y TALLOS

Los resultados obtenidos en relación con la variable número de macollos por planta no se condicen con los obtenidos por varios autores, incluyendo a Davies (1974), Chapman y Lemaire (1993), Colabelli et al. (1998) y Parsons y Chapman (2000), que indican un mayor número de macollos en raigrás que en festuca. Estos sugieren que debido a que por

cada hoja que aparece por macollo se genera una yema axilar capaz de producir otro macollo, las especies con mayor tasa de aparición foliar tienden a formar pasturas con más densidad de macollos. A su vez, Moliterno (2000) presenta datos en los que raigrás presentó mayor número de macollos por planta que festuca, con diferencias significativas.

El comportamiento diferente al de los autores citados podría deberse, en principio, a que el raigrás utilizado en este experimento es tetraploide (INASE, 2019), caracterizado por presentar un menor número de macollos por planta (Amigone y Tomaso, 2006). También, a la competencia entre plantas, que limitó el desarrollo de macollos. En ese sentido, y teniendo en cuenta las especies utilizadas en el presente estudio, era de esperar que raigrás presentara mayor número de macollos por planta que festuca.

Por otro lado, Bahmani et al. (2003), trabajando con raigrás perenne, encontraron que las plantas tratadas con N alcanzaron 34 % más macollos que las no tratadas. Mazzanti et al. (1994), trabajando con festuca, encontraron que la aplicación alta de N aumentó en un 22 % la densidad de macollos. Estos datos sugieren que el raigrás es más sensible al suministro de N, lo que podría haber sido un factor determinante en la menor producción de macollos por parte de esta especie. También, Skinner y Nelson (1994) sugieren que las plantas de hojas grandes, tallo erecto y alto TEF probablemente hayan recibido por parte de sus vecinos mayor cantidad de luz reflejada como rojo lejano y, a su vez, hayan autosombreado las bases de sus tallos, por lo que si bien mostraría un cierre más temprano del surco, la planta reaccionaría limitando la producción de futuros macollos.

En el estudio de las leguminosas el comportamiento fue el opuesto al de Moliterno (2000), quien publica que trébol rojo presentó mayor precocidad que lotus y mayor desarrollo medido en número de tallos por planta y peso de los tallos. En este caso, el número de tallos por planta fue notoriamente mayor para lotus. La diferencia entre ambos estudios podría

deberse al uso de diferentes cultivares de lotus; el cultivar utilizado en este estudio es más productivo que el utilizado por el autor (Ayala et al., 2010), lo que podría significar una mayor emisión de tallos del primero en relación al segundo cultivar.

Además, el crecimiento primario de lotus es a partir de la corona y es intolerante al sombreado por parte de otras plantas, particularmente durante el establecimiento. Por otro lado, trébol rojo desarrolla una corona formada por la acumulación de yemas generadas en la base de la planta. Esas yemas producen tallos verticales, pubescentes y huecos de 60-80 cm. A su vez, el sombreado de la gramínea acompañante genera que disminuya el número de tallos por planta (Frame, 2019). Estas características podrían explicar parte del comportamiento, ya que, como se mencionó anteriormente, el lotus no estuvo sujeto a competencia por las especies acompañantes, mientras que el trébol rojo sí; lo que da como resultado una emisión de tallo de trébol rojo más baja en comparación con el lotus.

En cuanto al número de macollos por superficie, Hendriks et al. (2016) señalan que la densidad de macollos de >2300 macollos/m² para gramíneas como festuca fue indicativa de una pastura productiva y persistente que comprende al menos un 70 % de las especies sembradas. En este caso, el número de macollos de festuca es 14 % menor, lo que alertaría sobre un posible menor potencial de producción, así como de persistencia de la especie. Al igual que en la variable anterior, no se encontraron diferencias entre los distintos métodos de siembra, discrepando con Scheneiter y Améndola (2012), los cuales expresaron que el arreglo de la siembra afectó la demografía de tallos de festuca al comienzo del experimento. De igual manera, para las leguminosas, lotus logró establecer mayor densidad de plántulas y con más tallos por planta, por lo que es esperable que esta presente mayor densidad de tallos por superficie.

Entre mezclas no se presentaron diferencias estadísticas para la variable densidad de tallos, debido a que el menor desempeño de la festuca se vio compensado por la mayor cantidad de tallos emitidos de lotus y viceversa para la mezcla corta, donde el raigrás compensó el peor desempeño del trébol rojo.

4.3. NÚMERO DE HOJAS VIVAS

El máximo de hojas vivas por macollo se determina genéticamente (Davies, 1988). Durante la estación de crecimiento, un macollo de raigrás perenne puede soportar tres hojas vivas y producir una nueva cada 7 - 10 días (Robson et al., 1988). Eso significaría que en 3 - 4 semanas el canopeo podría ser totalmente remplazado. Para el caso del raigrás, el filocrono es 11, con una temperatura base de 10 °C, y 23 para el caso de festuca (Colabelli et al., 1998). Esto concuerda con Silsbury (1970) y Peacock (1976), quienes establecen que la aparición de hojas sucesivas fue generalmente más largo para festuca que para raigrás. Hendriks et al. (2016) publicaron que festuca mantiene 4 hojas vivas/tallo.

Los resultados del número de hojas de las gramíneas podrían estar explicados por la existencia de una correlación negativa entre TEF y altura del pseudotallo, ya que la longitud del pseudotallo es la distancia que debe recorrer una hoja en elongación para emerger (Graminho et al., 2019). Teniendo en cuenta que la altura del raigrás fue mayor a la de festuca, el mayor recorrido de las hojas por el pseudotallo del raigrás generó menor emisión de hojas durante el mismo período de tiempo.

La respuesta obtenida por las gramíneas en relación al número de hojas emitidas, concuerda con lo publicado por algunos autores (Anslow, 1966, Lemaire y Chapman, 1996), de que cuando los individuos se encuentran en estado vegetativo, el filocrono es considerado constante si se expresa como tiempo térmico. Eso implicaría una respuesta lineal y positiva entre las hojas

que aparecen y los grados días que se acumulan, siendo el filocrono la inversa de la pendiente de dicha relación.

Al igual que Hill y Luck (1991), el lotus generó más hojas que trébol rojo cuando los evaluaron a distintos niveles de temperatura; por lo tanto, podría presumirse que el mejor desempeño de lotus frente al trébol rojo se debe a características morfológicas de la especie.

En cuanto a los métodos de siembra, cabe destacar que donde la gramínea se comportó mejor (emitió mayor número de hojas), la leguminosa tuvo un peor desempeño y viceversa. Esto se explica por una posible compensación entre una especie y otra de las mezclas. En la mezcla una de las especies emitió más hojas que la otra, por lo tanto, la otra se vio suprimida por falta de luz, generando menor número de hojas.

4.4. ALTURA DE PLANTAS

La gramínea perteneciente a la mezcla corta logró mayor altura que la de la mezcla larga, lo que se explica por una mayor tasa de expansión foliar de la primera (Peacock, 1976).

Teniendo en cuenta que raigrás no estaba en fase de alargamiento de entrenudos durante el período de mediciones y que la altura es la de la hoja que toca más alto en la regla, la mayor altura podría explicarse por mayor largo de hojas, característica intrínseca de la propia especie, explicado, en parte, por su ploidía (Amigone y Tomaso, 2006) y, a su vez, por el largo del pseudotallo del raigrás. Como sugiere Santos et al. (2016), cuando el canopeo alcanza el 95 % de intercepción de luz, se genera competencia por este recurso dando como resultado un aumento en las tasas de senescencia y elongación del pseudotallo con un impacto negativo en producción neta de hojas. Sin embargo, Kemp et al. (2001) discrepan con lo anterior, afirmando que la festuca produce hojas más largas y gruesas con una menor tasa de elongación pero mayor vida media foliar que las de raigrás.

Por otro lado, dentro de las leguminosas, trébol rojo cuando es sometido al sombreado tiende a incrementar el largo de pecíolo (Frame, 2019), lo que genera que presente más altura que el lotus.

La relación entre altura y temperatura concuerdan con lo presentado por Peacock (1976), quien estudió el efecto de la temperatura en la tasa de expansión foliar dentro de las especies gramíneas y encontró que la relación es lineal.

4.5. PESO DE MACOLLOS Y TALLOS

Era esperable que festuca presente tallos más pesados que raigrás debido a la mayor capacidad macolladora de la última, que produce mayor cantidad de tallos pero de menor tamaño (Davies, 1974, Gastal y Lemaire, 2015, Matthew et al., 2013), explicado porque la tasa de elongación está positivamente correlacionada con la producción de forraje y el rendimiento por tallo, pero se correlaciona negativamente con los tallos por planta (Skinner y Nelson, 1994). El peso de los macollos de festuca se asemeja a los datos publicados por Duchini et al. (2018; 0,092 gMS).

En cuanto a las leguminosas, el mayor peso de tallos del trébol rojo se explica por su mejor tolerancia a bajas intensidades de luz que otras especies leguminosas y el crecimiento vigoroso cuando se siembra en mezcla con gramíneas no agresivas. A su vez, el sombreado genera un incremento en el área foliar y en el largo del pecíolo (Frame, 2019).

4.6. BIOMASA (kgMS/ha)

Como se mencionó, esta variable es producto del número de tallos/m² y del peso de los mismos (Lemaire y Champan, 1996). En este caso era esperable que la mezcla corta produjera mayor cantidad de biomasa que la mezcla larga a fin del período de establecimiento. Esto debido a que la gramínea de la primera mezcla es anual invernal y finaliza su ciclo de

crecimiento a fines de primavera, brindando toda su producción de materia seca durante este período (Langer, 1981, Carámbula, 2002). Por otra parte, festuca, al ser una especie perenne, durante los primeros estadios desarrolla parte aérea y radicular para poder sobrevivir al primer verano de vida y luego mantener la perennidad que la caracteriza. Si bien habrá algunos macollos que pasen a estado reproductivo durante el primer año, estos son pocos en relación con los que se mantienen en estado vegetativo con el objetivo de sobrevivir y perennizar. En cuanto a las leguminosas, debido al ciclo de crecimiento de ambas especies, también es de esperar que la presente en la mezcla corta sea la de mayor producción, ya que la medición se realizó durante otoño e invierno del primer año, que para el caso de lotus no solo se está implantando, sino que, además, no se encuentra en su estación de crecimiento (primavera-verano).

A su vez, en todos los casos, raigrás logró establecer mayor número de plantas, con igual cantidad de tallos por planta y hojas por tallo pero más pesados, lo que determina que sea la especie de la mezcla corta dentro de las gramíneas que presenta mayor cantidad de biomasa. Lemaire et al. (2000) publicaron que existe una relación muy estrecha entre rendimiento por planta y macollos por planta en plantas jóvenes y con mucho espacio, donde se podía expresar la capacidad máxima de macollaje. Sin embargo, a medida que la densidad de macollos aumenta y se acerca al equilibrio, el rendimiento por macollo se convierte en el factor más importante para determinar el rendimiento por planta. Lo anterior podría explicar parte del comportamiento de raigrás, ya que se podría pensar que el espacio para el desarrollo de las plantas no fue muy amplio, por lo que el número de tallos por planta no se diferenció de la otra gramínea, pero sí logró diferenciarse en el rendimiento por macollo, el cual se transformó en el factor más determinante del rendimiento por planta. Si bien la leguminosa acompañante en la mezcla corta logró establecer menor cantidad de plantas y menor

cantidad de tallos por planta y hojas por tallo que lotus, las hojas y los tallos fueron más pesados, logrando compensar el resto y terminando con mayor producción de biomasa.

Si bien con los métodos de siembra se modifica la distribución espacial de las plantas y, por lo tanto, podría pensarse que también la intercepción de radiación, y reflejarse en diferencias de producción de biomasa, esto no ocurrió. La falta de diferencia podría estar explicada por la densidad de siembra, que si bien fue la recomendada, podría ser excesiva, haciendo que las plantas no perciban la diferencia entre métodos de siembra y, por lo tanto, distribución espacial, y que solamente se diferencien las mezclas.

4.7. RELACIÓN PARTE AÉREA:RAÍZ

Los resultados obtenidos concuerdan con Taylor et al. (1971) y Hill et al. (1985), en cuyos estudios la especie de ciclo corto tuvo mayor relación parte aérea:raíz cuando se la comparó con la de ciclo largo. Esto es debido a que por tener distintos ciclos las especies presentan distintas estrategias en cuanto a la partición de asimilados donde las de ciclo corto mueven preferentemente el carbono a los meristemas intercalares para producir tejido fotosintético (Ryle, 1970). A su vez, tal como lo indica Garnier (1992), las plantas perennes asignan una mayor proporción de biomasa a las raíces que las plantas anuales para lograr mantenerse por más tiempo. Esto explica que no se hayan encontrado diferencias en los kgMS radicular, partiendo de la base que las especies de la mezcla larga presentaron menor cantidad de biomasa aérea, que sumado a la menor relación parte aérea:raíz, termina en igual kgMS radicular que las anuales.

El comportamiento de raigrás se asemeja a los datos presentados por Hansen y Svendsen (1986) en cuya investigación la relación parte aérea:raíz es 2,95. Al mismo tiempo, el comportamiento del lotus se asemeja al publicado por García et al. (2008), quienes estudiaron el comportamiento del

lotus bajo estrés hídrico (déficit y exceso de agua). El resultado a los 110 días para el tratamiento control fue de 2,1 para la relación parte aérea:raíz, logrando niveles de 3,8 cuando ocurren excesos hídricos y de 1,9 en situaciones de déficit. En cambio, festuca se comportó por debajo de los valores reportados por Belesky y Fedders (1995), quienes estudiaron el efecto de la acidez del suelo y de la presencia de endófitos en características de desarrollo y demográficas asociadas a la productividad y partición de recursos en festuca y obtuvieron valores promedios de relación tallo:raíz de 2,3. A su vez, trébol rojo obtuvo valores menores a los reportados por Evans (1973), quien estudió la relación tallos:raíz de esa especie evaluando el efecto del peso de semillas dentro de la especie y obtuvo valores máximos de 3,0 y mínimos de 2,9. Las diferencias entre los resultados de las dos últimas especies en relación a los de otros autores pueden deberse a que tanto la festuca como el trébol rojo fueron sometidos a la competencia de las especies acompañantes de cada mezcla, suprimiendo su crecimiento.

Los datos de este trabajo muestran que por más que la relación parte aérea:raíz haya sido mayor en las especies anuales, la biomasa de raíces no se diferenció según la especie, sea anual o perenne, al final del período de establecimiento. Estos datos podrían ser de utilidad a la hora de ejecutar prácticas agronómicas que ayuden a secuestrar el CO₂ atmosférico. De esta manera, ya que la presencia de raíces en el suelo aporta C y mejora la calidad de este, si bien dentro de los primeros estadios no se diferenciaron, elegir especies perennes podría ser la mejor alternativa, ya que proporcionarían biomasa radicular por más tiempo. Con eso se logra, además, reducir la mineralización de la materia orgánica del suelo, favoreciendo la acumulación de C en este (Sainju et al., 2017).

4.8. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, COMPOSICIÓN BOTÁNICA, SOBREVIVENCIA ESTIVAL

La superioridad de la mezcla corta respecto a la producción de materia seca total se explica por la gran diferencia presentada durante el primer año de producción y la mínima diferencia durante el segundo año. Lo anterior podría deberse a que las mezclas utilizadas presentan distinto largo de vida, que, como se mencionó anteriormente, en términos de estrategia de producción significa que las especies de la mezcla corta prioricen la producción de biomasa aérea (Ryle, 1970), concentrando toda su producción hasta fines de primavera, momento en que pasa al estado reproductivo y se produce una mayor acumulación de biomasa con mayor cantidad de carbohidratos estructurales y formación de semilla (Langer, 1981, Carámbula, 2002) como forma de perpetuar la especie. Además de la menor vida media foliar comparado con festuca, posibilitó una rápida recuperación pospastoreo, y el mayor aporte de primavera tardía de trébol rojo (Lemaire y Chapman, 1996, Colabelli et al., 1998). En el segundo año la producción de la mezcla corta está sostenida básicamente por lo que produzca la leguminosa bienal, ya que a partir del verano la producción del raigrás es despreciable. Por otra parte, las especies de la mezcla larga durante el primer año de vida trasloca mayor cantidad de fotoasimilados hacia las raíces como estrategia para sobrevivir al primer verano (Garnier, 1992), retomando su crecimiento cada año después de la floración a través de los macollos vegetativos, y no desde semilla, causa de la muerte de las plantas luego de cada proceso de floración (Langer, 1981, Albani y Coupland, 2010). A su vez, las especies utilizadas en la mezcla corta presentan mayor vigor inicial (Whalley et al., 1966, McKell et al., 1969, Brock et al., 1982, Askin, 1994, Barnes, 2018) y tasa de crecimiento (McKell et al., 1969, García Favre et al., 2017), que se traduce en una mayor acumulación de biomasa a fin de la etapa de establecimiento y posterior producción durante el primer año.

Los resultados obtenidos en la mezcla corta en este experimento distan favorablemente de los publicados por García Favre et al. (2021), que reportan producciones en primavera para una mezcla de raigrás anual con tréboles anuales de 2900 kgMS/ha para el tratamiento con 64 unidades de nitrógeno, explicadas por el déficit hídrico ocurrido durante la primavera. A su vez, son mayores a las producciones de invierno y primavera reportadas por García (1996) de una pradera de avena, raigrás y trébol rojo, pero el presente trabajo logra menores producciones para las estaciones de verano y otoño del segundo año.

Por otro lado, la producción estival de la mezcla larga se asemeja a la publicada por Zanoniani et al. (2018), producto de las condiciones climáticas adversas. A diferencia de estos autores, la producción otoñal del segundo año del presente trabajo no logró superar los 500 kgMS/ha, debido a que las condiciones climáticas desfavorables continuaron (figura 3). Sin embargo, son menores a las reportadas por García (1995), quien publica producciones del primer año de una pradera de festuca, trébol blanco y lotus de 6 toneladas de materia seca y una producción de otoño del segundo año de 2 toneladas de materia seca.

En cuanto a las gramíneas, estas no alcanzaron los valores de producción reportados por INIA-INASE (2020), estando un 60 % por debajo. A su vez, la producción de trébol rojo del primer año fue inferior a lo publicado por Rebuffo y García (1997) e INIA-INASE (2020). Respecto al lotus, el desempeño productivo fue inferior al reportado por INIA-INASE (2021), que datan producciones promedio en el primer año de 6300 kgMS/ha. Si bien la comparación es con datos de producción de especies sembradas puras, estas no logran alcanzar el 50 % de las producciones de materia seca publicadas por los autores mencionados.

En términos cuantitativos, durante la primavera, la producción es explicada por las gramíneas de las mezclas, producto de su mayor vigor

frente a las leguminosas (Kidson y Westoby, 2000). En verano, esta relación se invierte, siendo la especie leguminosa la de mayor aporte. En cuanto a estas, trébol rojo presenta mayor producción de materia seca que lotus durante el primer año (54 % mayor) producto de las mayores tasas máximas de crecimiento que lotus. A su vez, el estudio de la distribución estacional de estas especies muestra que trébol rojo presenta mayor porcentaje de producción para las estaciones de primavera y verano (Díaz Lago et al., 1996), datos que explican el aporte de ambas en este trabajo. La producción de otoño del segundo año es reflejo del tipo vegetativo de las especies, que se demuestra, en el caso de las gramíneas, a través de la ausencia del raigrás en la mezcla corta, producto de que es una especie anual (Albani y Coupland, 2010). Teniendo lo anterior en consideración, la producción de la mezcla corta en el segundo otoño es resultado del comportamiento del trébol rojo que si bien logró mayor sobrevivencia estival que el lotus, no alcanzó los niveles de producción de la mezcla larga.

En otoño del segundo año el método de siembra en el que la leguminosa fue sembrada al voleo fue el que alcanzó mayor grado de enmalezamiento. Esto podría explicarse por las condiciones climáticas ocurridas, ya que en situaciones de estrés las plantas estratégicamente destinan más fotoasimilados a las raíces que a la parte aérea (Kasperbauer, 1990). A su vez, si bien no existieron diferencias estadísticas, hay una diferencia numérica considerable en la que, por un lado, el número de tallos de leguminosa no compensa el número de macollos de las gramíneas para competir frente a las malezas en otoño del segundo año, y, por el otro, la mayor cantidad de tallos de leguminosas en el método de siembra al voleo tiene menor peso de tallos, que hace que no compense el uso del espacio, lo que genera que para este método de siembra las malezas se encuentren con mayor oportunidad de colonizar esos espacios (Altieri, 1988).

Si bien durante la etapa de establecimiento el método de siembra influyó en variables como número de planta por superficie y número de hojas por tallo, finalmente no incidió en la cantidad de materia seca producida hasta fines de ese período ni durante las etapas posteriores. Los datos obtenidos sugieren que para la producción de materia seca el método de siembra no influye, estando la eficiencia de utilización del ambiente más relacionada con la mezcla que con el método de siembra. Desde el punto de vista de los sistemas, la importancia de tener como opción las mezclas largas, de 3-4 años de duración, es que a nivel de rotación y área específica de pastoreo se logra ser más eficiente, debido a que se genera mayor cantidad de superficie en producción, a diferencia de usar mezclas cortas, donde el área improductiva termina siendo mayor por la necesidad de siembra y posterior etapa de implantación de estas, sobre todo en otoño e invierno, cuando la cantidad de forraje normalmente es baja (Formoso, 2005).

En relación con el forraje desaparecido, este fue similar o mayor en la mezcla corta que en la larga (69 % vs. 48 %, respectivamente), lo que podría relacionarse con el hábito de crecimiento erecto de las especies, explicando parte del mayor consumo de la mezcla corta por parte de los animales (Langer, 1981, Laca y Lemaire, 2000), así como la mayor presencia de trébol rojo (leguminosa) en la mezcla que lotus. A su vez, podría estar relacionado con la producción de materia seca de las mezclas anteriormente mencionada, explicada por la mayor cantidad de materia seca producida por parte de la mezcla corta que, a iguales remanentes, da como resultado un mayor porcentaje de desaparecido.

Tal como se fue demostrando con otras variables a lo largo de la investigación, el método de siembra tampoco caracterizó a la SE de las mezclas, significando que solamente con la variación en la distribución de las semillas no se logra un impacto detectable en la eficiencia del uso de los

recursos por parte de las plantas, en referencia a la búsqueda de distintos nichos ecológicos que promuevan la instalación de las plántulas (Marone, 1988, Connor et al., 2011). En cuanto a las mezclas, del análisis se puede extraer que la elección de las especies es importante, ya que para el caso de la mezcla corta, si bien el raigrás fue la especie que más aportó materia seca durante el primer año, no se debería descuidar la especie acompañante, ya que es esta la que producirá *a posteriori*. En ese sentido, elegir una especie como trébol rojo, que es bienal y con buen vigor inicial (Carleton y Cooper, 1972), parece una buena alternativa, ya que toleró la competencia del raigrás y logró producir durante el segundo año. Por otro lado, en la mezcla larga el crecimiento de ambas especies fue lento, producto del menor vigor inicial (Barnes, 2018, Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996), pero luego es la festuca el componente de la mezcla que más aporta a la mezcla. En otra línea, las malezas se promovieron en la mezcla corta, producto de la casi nula existencia del raigrás, que dejó el suelo descubierto, facilitando el crecimiento y desarrollo de aquellas (Altieri, 1988), las cuales ejercieron competencia al trébol rojo.

Por último, si bien la mezcla larga obtuvo mayor producción de forraje en el segundo año, no demostró una sobrevivencia estival acorde a su característica de perennidad comparada con la mezcla corta para el período evaluado. Herken et al. (2019) reportaron datos de 63 % de sobrevivencia estival para praderas de festuca cv. aurora puras. Por otro lado, en un estudio realizado en Nueva Zelanda en el que se evalúa el efecto de endófitos en festuca con interacción del agua, la sobrevivencia estival puede ser de 100 % si se riega o de 10 % si las condiciones sin agua sobrepasan los 35 días. A partir del día 28 sin agua, el porcentaje de macollos vivos pasa de 80 % a 10 % el día 35 (West et al., 2006). Además, Pecetti et al. (2007) estudiaron el efecto de endófitos en festuca en Italia midiendo la persistencia como porcentaje de macollos que sobrevivieron y encontraron que para fin

del segundo año la sobrevivencia fue de 90 %. Hendriks et al. (2016) reportan datos de 1722 macollos/m² al inicio del cuarto verano de una pastura de festuca pura, datos muy superiores a los obtenidos en este experimento si se tiene en cuenta que estos representan la sobrevivencia del primer verano de vida de la especie.

El comportamiento inferior a los reportados por otros autores puede deberse a las condiciones climáticas ocurridas durante el verano y principios de otoño, cuando el balance hídrico disminuyó hasta llegar a -44 mm en marzo, lo que pudo haber generado muerte de plantas. Por otro lado, tal como lo mencionan Duchini et al. (2018), la disminución de macollos durante el verano y el otoño no significaría la pérdida de la pastura, ya que podría ser parte de la estrategia de sobrevivencia en la que se reduce el macollaje a temperaturas altas (para especies C3) para luego aumentar el número cuando las temperaturas se presentan más bajas, en especial durante fotoperíodos más cortos. A su vez, estos autores publican que la recuperación de la densidad de macollos para festuca empieza en el otoño tardío. En esa línea, Zanoniani et al. (2018) presentan datos en el que las condiciones climáticas fueron similares a las del presente trabajo (incluso, no se realizó pastoreo en el primer verano a causa de condiciones climáticas adversas), pero en el que las mezclas pudieron recuperarse y mostrar compensaciones a largo plazo (4 años de evaluación). Con esos datos, se podría pensar que la SE al segundo otoño no es un buen indicador de persistencia de la pastura para el largo plazo.

5. CONCLUSIONES

Ningún tratamiento logró superar los datos nacionales relacionados con el porcentaje de implantación. Esto sugiere que para las condiciones del trabajo existen más factores de manejo, además del método de siembra, que influyen y condicionan esta variable.

Los datos presentados en este trabajo muestran que para el sistema de manejo y las mezclas forrajeras utilizadas el método de siembra, como factor de manejo para cambiar la distribución espacial de las plantas y así la intercepción de radiación por parte de estas, no tiene efecto en la producción de biomasa de las mezclas forrajeras ni en la sobrevivencia estival, estando la eficiencia de utilización del ambiente más relacionada con la mezcla que con el método de siembra. En ese sentido, no se manifestaron efectos compensatorios entre número y peso de plantas para los diferentes métodos de siembra ni existió ningún método de siembra que se haya destacado positiva o negativamente en estas variables.

Por último, se plantea la posibilidad de una nueva línea de investigación donde se ajusten distintas densidades de siembra, de manera de evaluar si con un menor número de semillas viables sembradas las producciones de materia seca se mantienen, lo que significaría una eficiencia en el uso de semillas. A su vez, se plantea la posibilidad de estudiar el efecto de sembrar las mezclas con sembradora convencional y sembradora de forrajeras.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Albani MC, Coupland G. 2010. Comparative analysis of flowering in annual and perennial plants. *Current topics in developmental biology*, 91, 323-348.
- Altamirano A, Da Silva H, Durán A, Echeverría A, Panario D, Puentes R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Clasificación de suelos. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- Altieri Miguel A. 1988. Ecological Approaches. Weed Management in Agroecosystems. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 1-6.
- Amigone MA, Tomaso JC. 2006. Principales características de especies y cultivares de verdeos invernales. Informe para Extensión, (103).
- Anslo RC, Green JO. 1967. The seasonal growth of pasture grasses. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 68: 22-109.
- _____. 1966. The rate of appearance of leaves on tillers of the Graminae. *Herbage Abstract* 36: 149-155.
- Askin D. 1994. Pasture Establishment. En: Langer, RHM. (Eds.), *Pastures their ecology and management*. University Press, Auckland, Oxford, pp. 132-156.
- Awan MUH. 1995. Environmental and plant factors causing low legume seedling establishment following oversowing into drought-prone hill swards: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ph. D.) in Plant Science at Massey University, New Zealand (Doctoral dissertation, Massey University).
- Bahmani I, Thom ER, Matthew C, Hooper RJ, Lemaire G. 2003. Tiller dynamics of perennial ryegrass cultivars derived from different New Zealand ecotypes: effects of cultivar, season, nitrogen fertiliser, and irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(8): 803-817.

- Bardgett RD, Bullock JM, Lavorel S, Manning P, Schaffner U, Ostle N, Chomel N, Durigan G, Fry EL, Johnson D, Lavallee JM, Le Provost G, Luo S, Png K, Sankaran M, Hou X, Zhou H, Ma L, Ren W, Li X, Ding Y, Li Y, Shi H. 2021. Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10): 720-735.
- Barnes RF. 2018. Importance and problems of tall fescue. En: *Biotechnology in tall fescue improvement*. CRC Press. pp. 1-12.
- Bartholomew PW, Williams RD. 2010. Effects of soil bulk density and strength on seedling growth of annual ryegrass and tall fescue in controlled environment. *Grass and Forage Science*, 65(3): 348-357.
- Barthram GT. 1986. Experimental techniques: the HFRO sward stick. En: Alcock MM. *The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984-85*. U.K, 29-30.
- Baruch Z, Fisher M. 1988. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de una pastura. En: *Establecimiento y renovación de pasturas. Memorias. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales*, Veracruz, México. pp. 425.
- Becker G. s.f. Alfalfa. ¿Sembrar a fin de verano o en primavera? (En línea). Bariloche, Argentina, INTA. s.p. Consultado ago. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/becker_-_alfalfa._siembra_en_otono_o_en_primavera.pdf
- Belesky DP, Fedders JM. 1995. Tall fescue development in response to *Acremonium coenophialum* and soil acidity. *Crop Science*, 35(2): 529-533.
- Borges Pérez, R.F. 2001. Descomposición de rastrojos de trigo, soja y maíz sobre suelo en secuencia de cultivos sembrados sin laboreo con y sin rotación de pasturas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 65 p.

- Boschi F, Latorre P, Saldanha S, Machado J, Bentancur O, Moure S. 2016. Importancia de las semillas duras en leguminosas forrajeras producidas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 20(2): 43-50.
- Brar GS, Gomez JF, McMichael BL, Matches AG, Taylor HM. 1991. Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature. *Agronomy journal*, 83(1): 173-175.
- Bray RH, Kurtz LT. 1945 Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Briske DD, Heitschmidt RK. 1991. An ecological perspective. En: Heitschmidt RK, Stuth JW. (Eds.). *Grazing management an ecological perspective*. Portland, OR, USA. Timber Press.
- Brock J, Anderson L, Lancashire L. 1982. Grasslands Roa' tall fescue: Seedling growth and establishment. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 3(10): 285-289.
- Brown D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berks (Bulletin Nº 42), 42-79.
- Butler TJ, Celen AE, Webb SL, Krstic D, Interrante SM. 2014. Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science*, 54(6): 2846-2853.
- Campbell A. 1966. Grazed pasture parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. *The Journal of Agricultural Science*, 67(2), 199-210.
- Carámbula M. 2002. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 2. 371 p.
- Carleton AE, Cooper CS. 1972. Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes 1. *Crop Science*, 12(2): 183-186.

- Castaño JP, Gimenez A, Ceroni M, Furest J, Aunchayna R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. INIA, Montevideo.
- Caviglia OP, Wingeyer, AB, Novelli LE. 2016. El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. Serie de Extensión INTA Paraná. 78: 27-32.
- Chapman DF, Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. En: Baker MJ. (Eds.). Grassland of our World. Wellington, SIR. 95-104.
- Colabelli M, Agnusdei M, Mazzanti A, Lavrebeux M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. INTA. Boletín Técnico n.º 148. 12 p.
- Connor D, Loomis R, Cassman, K. 2011. Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cooper CS. 1977. Growth of the legume seedling. Advances in Agronomy. 29: 119-139.
- _____ JP, Tainton NM. 1968. Light and temperature requirements for growth of tropical and temperate grasses. Herbage abstract 38. 167-176.
- Davies A. 1974. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. Journal of Agricultural Science 82: 165-172.
- _____. 1988. The regrowth of the grass sward. En: The Grass Crop: The Physiological Basis of Production. (Eds.). Jones MB, Lazenby A). Chapman and Hall, London. pp. 129-169.
- 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.

- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2018. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz J, Moor J. 1980. Estudios sobre métodos y densidades de siembra de pradera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 134 p.
- Díaz Lago JE, García JA, Rebuffo M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, INIA. 12 p. (Serie Técnica n.º 71)
- Duchini PG, Guzatti GC, Echeverría JR, Américo LF, Sbrissia AF. 2018. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. PLoS One, 13(11), e0207360.
- Ernst O, Siri-Prieto G. 2008. Sistemas de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay: resumen de resultados. Cangüé no. 30: 2-8.
- Evans PS. 1973. Effect of seed size and defoliation at three development stages on root and shoot growth of seedlings of some common pasture species. New Zealand journal of agricultural research, 16(3): 389-394.
- Faulkner JS, Johnston F, McAneney DP. 1982. Selection for seedling vigour in *Festuca arundinacea*. The Journal of Agricultural Science, 99(1): 173-184.
- Ferrari AMSH. 2014. Consideraciones a tener en cuenta en la sembradora para lograr una buena implantación de pasturas. En: Jornada Nacional de Forrajes Conservados. 5. Manfredi, Córdoba. 1-4.
- Formoso F. 2007. Conceptos sobre implantación de pasturas. En: Jornada Instalación y Manejo de Pasturas. Memorias. Montevideo, INIA. Actividades de Difusión n.º 483. 19-39.
- _____. 2006. Instalación y manejo de pasturas para el litoral oeste. En: Seminario de Actualización Técnica (1.º, 2006, La Estanzuela). Instalación de pasturas, conceptos claves. Montevideo, INIA. 1-11.

- _____. 2005. Eficiencia de la producción y utilización de forraje en otoño e invierno. En: Jornada Producción Animal Intensiva. INIA. Serie Actividades de Difusión n.º 406. 59-66.
- Frame J. 2019. Forage legumes for temperate grasslands. CRC Press. 301 p.
- García Favre J, Zanoniani RA, Lopez IF, Cadenazzi M, Sacido MB, Mailhos ME, Boggiano P. 2021. Ecosystem and productive benefits of the strategic inclusion of annual legumes into an annual ryegrass pasture in a no-tillage integrated crop-livestock system. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 47(3): 344-353.
- _____. 2019. Producción primaria y efectos residuales de raigrás anual mediante distintas intervenciones: agregado de N y/o incorporación de leguminosas anuales. Tesis Mg. C.A. Paysandú, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 74 p.
- _____, Zanoniani R, Cadenazzi M, Boggiano P. 2017. Incidencia de variables biológicas y edáficas en el establecimiento de mezclas forrajeras. *Agro Sur Journal*. 45(1): 3-10.
- García I, Mendoza R, Pomar MC. 2008. Deficit and excess of soil water impact on plant growth of *Lotus tenuis* by affecting nutrient uptake and arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*, 304(1): 117-131.
- García, JA. 1996. Producción de forraje de pasturas cultivadas en la región litoral sur. En: Producción y manejo de pasturas Seminario Técnico (Eds.: D.F. Risso; E.J. Berretta y A. Morón) INIA Tacuarembó Serie Técnica 80 pp. 163-168.
- _____, Formoso FA, Risso DF, Arrospide CG, Ott P. 1981. Factores que afectan la productividad y estabilidad de praderas. *CIAAB Miscelánea* 29. 23 p.
- Garnier E. 1992. Growth analysis of congeneric annual and perennial grass species. *Journal of ecology*, 80: 665-675.

- Gastal F, Lemaire G. 2015. Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*. 5: 1146-1171.
- Grahan P. 2007. Consejos para una buena implantación de pasturas. *Revista Angus*. N.º 7: 25-30.
- Graminho LA, Rocha MGD, Pötter L, Rosa ATND, Salvador PR, Amaral LGD, Lopes Bergoli T, Cadó LM. 2019. Effect of herbage allowances on biomass flows in Italian ryegrass. *Ciência Rural*, 49(7): 1-6.
- Hansen GK, Svendsen H. 1986. A model of assimilate partitioning and utilization in shoots and roots in the vegetative stage of *Lolium multiflorum*. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 36(3): 286-300.
- Haydock K, Shaw N. 1975. Correction - The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76): 663.
- Hendriks SJ, Donaghy DJ, Matthew C, Bretherton MR, Sneddon NW, Cosgrove GP, Christensen CL, Kaufononga S, Howes J, Osborne MA, Taylor PS, Hedley MJ. 2016. Dry matter yield, nutritive value and tiller density of tall fescue and perennial ryegrass swards under grazing. *Journal of New Zealand Grasslands*, 149-156.
- Herken G, Olano I, Ruete R. 2019. Sobrevivencia estival y dinámica poblacional de cultivares de *Festuca arundinacea* con inclusión del hongo endófito AR584. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 65 p.
- Hill MJ, Luck R. 1991. The effect of temperature on germination and seedling growth of temperate perennial pasture legumes. *Australian journal of agricultural research*, 42(1): 175-189.
- _____, Pearson CJ, Kirby AC. 1985. Germination and seedling growth of prairie grass, tall fescue and Italian ryegrass at different temperatures. *Australian journal of agricultural research*, 36(1): 13-24.

- Hirata M, Pakiding W. 2002. Dynamics in tiller weight and its association with herbage mass and tiller density in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. *Tropical Grasslands*, 36(1): 24-32.
- Hodgson J. 1990. Grazing management; science into practice. New York, Longman. 203 p.
- Hutchinson JJ, Campbell CA, Desjardins RL. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142 (2-4): 288-302
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). 2019. Registro nacional de cultivares y registro de propiedad de los cultivares. [En línea] Consultado 11 de mayo 2021. Disponible en:
<https://www.inase.uy/Files/Docs/99DA1B3652570EE5.xlsx>
- INIA-INASE (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY) (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2021. Evaluación nacional de cultivares: Resultados 2021. [En línea] Consultado 04 de marzo 2022. Disponible en:
http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
- _____, _____. 2020. Evaluación nacional de cultivares: Resultados 2020. [En línea] Consultado 04 de marzo 2022. Disponible en:
http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
- INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). 2020. Estadísticas climatológicas: Tablas estadísticas. [En línea]. Montevideo. s.p. Consultado 05 de abril 2020. Disponible en:
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Johnson, JMF, Franzluebbers, AJ, Weyers, SL, Reicosky, DC. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental pollution*, 150(1): 107-124.

- Kasperbauer MJ. 1990. Shoot/root relationships and bioregulation.
En: Rhizosphere Dynamics. (Eds.). Box Jr. JE, Hamond LH. Westview Press, Boulder CO., USA. 217-231.
- Kemp PD, Tavakoli H, Hodgson J. 2001. Physiological and morphological responses of tall fescue and perennial ryegrass to leaf defoliation. 10th Australian Agronomy Conference, Hobart, Tasmania.
<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/2/d/kemp.htm>
- Kidson R, Westoby M. 2000. Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia*, 125(1), 11-17.
- Kjeldahl J. 1965. En: Black CA (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy.
- Laca EA, Lemaire G. 2000. Measuring Sward Structure. En: *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Res.* (Eds.). Mannerje LT, Jones RM. CABI Publishing. Wallingford, UK. p. 103
- Langer RHM. 1981. *Las pasturas y sus plantas*. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. p. 551.
- Lemaire G, Hodgson J, Moraes AD, Carvalho PDF, Nabinger C. 2000. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI. 442 p.
- _____, Chapman D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: *The Ecology and Management of Grazing Systems*. (Eds.). Hodgson J, Illus AW.). CAB International. pp. 3-36.
- _____. 1988. Sward dynamics under different management programmes. *Proceedings of the 12th General Meeting of the European Grassland Federation*. pp. 7-22
- Lonati M, Moot DJ, Aceto P, Cavallero A, Lucas RJ. 2009. Thermal time requirements for germination, emergence and seedling development of adventive legume and grass species. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52(1): 17 - 29.

- Loydi A, Eckstein RL, Otte A, Donath TW. 2013. Effects of litter on seedling establishment in natural and seminatural grasslands: A meta-analysis. *Journal of Ecology* 101(2): 454-464.
- Marone L. 1988. Acerca de la conservación de la naturaleza y la teoría ecológico-evolutiva. En: *Revista Chilena de Historia Natural*. 61: 11-18.
- Matthew, C, Agnusdei, MG, Assuero, SG, Sbrissia, AF, Scheneiter, O, da Silva, SC. 2013. State of knowledge in tiller dynamics. En *Proceedings of the XXII International Grassland Congress, Sydney, Australia, (15–19 September 2013)*. Orange New South Wales, Australia. New South Wales Department of Primary Industry. pp. 1041–1044.
- _____, Hernández-Garay A, Hodgson J. 1996. Making sense of the link between tiller density and pasture production. En: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 83-87.
- Mazzanti A, Lemaire G, Gastal F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and forage Science*, 49(2): 111-120.
- McKell CM, Duncan C, Muller CH. 1969. Competitive relationships of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *Ecology*, 50(4): 653-657.
- Moliterno E, Saldanha S, Rucks F. 2001. Establecimiento y producción inicial de mezclas de dos cultivares de *Bromus auleticus* y uno de *Festuca arundinacea* con leguminosas. En: *Los recursos fitogenéticos del género Bromus en el Cono Sur*. Montevideo, PROCISUR. 87-95.
- _____. 2000. Caracterización de la producción inicial de diversas mezclas forrajeras. *Agrociencia* (Montevideo). 4 (1): 31-49.
- Monteith JL. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980): 277-294.

- Muslera E, Ratera C. 1984. Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento. Madrid, España, Mundi-Prensa. 702 p.
- Nabinger C. 1998. Principios de manejo e produtividade de pastagens. En: Gottschall CS, da Silva J, Rodriguez, NC. (Eds.). Ciclo de palestras em producao e manejo de bovinos de corte. Canoas: ULBRA (Universidade Luterana do Brasil). 54-107.
- Parsons AJ, Chapman DF. 2000. The principles of pasture growth and utilization. En: Hopkins A. (Eds.). Grass: its production and utilization. Oxford : Backwell Science. pp. 31-89.
- Peacock JM. 1976. Temperature and leaf growth in four grass species. *Journal of Applied Ecology*, 13: 225-232.
- Pecetti L, Romani M, Carroni AM, Annicchiarico P, Piano E. 2007. The effect of endophyte infection on persistence of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) populations in two climatically contrasting Italian locations. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(9): 893 - 899.
- Pérez C, Arias A, Altier N. 2010. Enfermedades y plagas en pasturas. Manejo de enfermedades de implantación en leguminosas forrajeras, con especial énfasis en el uso de agentes de biocontrol. En: Altier N, Rebuffo M, Cabrera K. (Eds.). Enfermedades y plagas en pasturas (Serie Técnica no. 183). Montevideo, INIA. 111 - 122.
- Praat JP, Ritchie WR, Baker CJ, Hodgson J. 1996. Target populations for direct-drilled ryegrass and tall fescue. En: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* (pp. 77-81).
- Rebuffo M. 2000. Implantación. En: Rebuffo M, Risso DF, Restaino E. (Eds.). Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. (Boletín de Divulgación no. 69) 29 – 36.
- _____, García JA. 1997. Importancia del ciclo de las variedades forrajeras en los sistemas intensivos. En: *Pasturas y Producción*

- Animal en Áreas de Ganadería Intensiva. (Eds.). Restaino E., Indarte E. 7 – 8 p.
- Robson MJ, Ryle G, Woldge J. 1988. The grass plant – its form and function. En: Jones MB, Lazenby A. (Eds.). The grass crop. London: Chapman and Hall, pp. 25-83.
- Romero L. 2009. Siembra de pasturas en primavera. INTA Rafaela. Cuadernos de la alfalfa no. 2. 59 p.
- Ryle GJA. 1970. Partition of assimilates in an annual and a perennial grass. *Journal of Applied Ecology*, 217-227.
- Sainju UM, Allen BL, Lenssen AW, Ghimire RP. 2017. Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. *Field Crops Research*, 210: 183-191.
- Santos GT, Zanini GD, Padilha DA, Sbrissia AF. 2016. A grazing height target to minimize tiller stem elongation rate in annual ryegrass swards. *Ciência Rural*, 46, 169-175.
- Scheneiter O, Améndola C. 2012. Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management. *Grass and Forage Science*, 67(3): 426-436.
- Silisbury JH. 1970. Leaf growth in pasture grasses. *Tropical grasslands*, 4(1): 17-36.
- Sinclair RT, Muchow RC. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomic* 65. Academic Press, 215-265.
- Skinner RH, Nelson CJ. 1994. Role of leaf appearance rate and the coleoptile tiller in regulating production. *Crop Science*, 34(1): 71-75.
- Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical*

- transactions of the royal Society B: Biological Sciences, 363(1492): 789-813.
- Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 pp.
- Suttie JM, Reynolds SG, Batello C. 2005. Grasslands of the World. Plant Production and Protection Series N.º 34. (Eds.). Suttie JM, Reynolds SG, Batello C. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 514 pp.
- Tallowin J, Brookman S, Santos G. 1995. Leaf growth and utilization in four grass species under steady state continuous grazing. Journal of Agricultural Science, 124(3): 403-417.
- Udelar. Fagro (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 2020. Datos meteorológicos mensuales. Paysandú. [Datos sin publicar].
- West CP, Volaire F, Lelievre F. 2006. Tiller survival after drought of 'Grasslands Flecha' tall fescue as influenced by endophyte. NZGA: Research and Practice Series, 1. 267-269.
- Whalley RDB, McKell CM, Green LR. 1966. Seedling Vigor and the Early Nonphotosynthetic Stage of Seedling Growth in Grasses 1. Crop Science, 6(2): 147-150.
- Zanoniani R, Favre JG, Cadenazzi M, Nabinger C, Boggiano P. 2018. Dinámica de la producción espacial temporal de dos pasturas plantadas con especies perennes. Latin American Archives of Animal Production, 26(3-4).
- _____, Lattanzi F. 2017. Rol de las pasturas cultivadas en sistemas de producción basados en campo natural. En: Reunión del Grupo Técnico

- en Forrajas del Cono Sur-Grupo Campos (24^a., 2017, Tacuarembó). Retomando un camino de oportunidades para una producción ganadera sustentable. Montevideo, INIA. 24-28.
- _____. 2010. Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. En: Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal. Montevideo, Agrociencia, 14(3): 26-30.
- _____, Ducamp F, Bruni M. 2003. Utilización de verdeos de invierno en sistemas de producción animal [En línea]. UEDY. Cartilla n.º 17. 1-9. Consultado ago. 2019. Disponible en:
<http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart17/Cart17.htm>
- Zarrouh KM, Nelson CJ, Coutts JH. 1983. Relationship between tillering and forage yield of tall fescue. I. Yield 1. Crop Science, 23, 333-337.
- Zarza R, Rebuffo M, La Manna A, Balzarini M. 2018. Plant density in red clover (*Trifolium pratense* L.) pastures as an early predictor of forage production. European Journal Agronomy, 101: 193–199.

7. ANEXOS

7.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MANEJO

FECHA	ACTIVIDAD
08/04/2019	Peso de 1000 y Germinación de las especies
12/04/2019	Muestreo de Suelo
14/04/2019	Resultado Germinación (día 6)
17/04/2019	Resultado Germinación (día 9)
24/04/2019	Siembra
24/04/2019	100 kg/ha de 7/40
24/04/2019	3 lt/ha Glifosato
07/06/2019	1,2 lt/ha 2,4-DB (Venceweed) + 400 cc/ha Flumetsulam (Preside)
19/09/2019	70 kg/ha UREA
19/09/2019	1,2 lt/ha 2,4-DB (Venceweed) + 400 cc/ha Flumetsulam (Preside)

7.2 Different sowing methods effect on the establishment and production of sown pastures

No treatment managed to exceed the national data related to establishment percentage, reaching 37 ± 1.4 % at 99 DAS. The sowing methods did not differ in biomass production of the forage mixtures. Tall fescue did not have the ability to compensate number and weight of stems with respect to ryegrass. Red clover produced larger leaves than birdsfoot trefoil, compensating number and weight, being more productive.

Different sowing methods effect on the establishment and production of sown pastures

Abbreviations: DAS, days after seeding; EP, establishment percentage; GHG, greenhouse gases; LAR, leaf appearance rate; LER, leaf elongation rate; LLS, leaf lifespan; LT, long-term mixture; MSD, minimum significant difference; PAR, photosynthetically active radiation; SE, standard error; SS, summer survival; ST, short-term mixture; TAR, tiller appearance rate.

ABSTRACT

Sown pastures in Uruguay are considered to reach low percentage of establishment. In order to improve this percentage, the effect of the spatial distribution determined by the planting method in combination with the type of mixture was evaluated. The experimental period comprised the period from sowing to pasture establishment (April-August 2019). Six treatments were evaluated according to the factorial arrangement of two forage mixtures of different initial vigor and longevity (short-term: *Lolium multiflorum* and *Trifolium pratense*; long-term: *Festuca arundinacea* and *Lotus corniculatus*) and three sowing methods (crossed rows; grass in the row and broadcasted legume; same row). The establishment dynamics of each component species of the mixtures was studied counting the number of plants within fixed squares to determine the number of plants m^{-2} and the number of stems of each counted plant. The number of stems m^{-2} was determined and the number of leaves stem^{-1} and the pasture height were recorded. On the last date of the establishment period, the shoot:root ratio of the pastures components was measured. No treatment managed to exceed the national data related to establishment percentage, reaching 37 ± 1.4 % at 99 DAS. Tall fescue did not have the ability to compensate number and weight of stems with respect to ryegrass. Red clover presented larger leaves than birdsfoot trefoil, compensating number and weight, achieving higher DM production. The sowing methods did not differ in biomass production of the forage mixtures as the differences were explained by the type of forage mixture, related to the short-term mixture (greater initial vigor).

INTRODUCTION

Grasslands are one of the largest ecosystems in the world (40.5 % of the Earth's surface). They are defined as ground predominantly covered by

grasses, with few or almost no trees (Suttie et al., 2005). Grasslands serve as a major global reservoir of biodiversity, and provide ecosystem services, such as food production, water supply and regulation, carbon storage and climate mitigation, pollination, and a range of cultural services (Bardgett et al., 2021).

As known, agricultural production plays a leading role in the greenhouse gas (GHG) emissions topic due to the area it occupies worldwide. There are actions that can be taken to contribute with this cause within the area to the point of absorbing more gases than those emitted by cultivated land, and thus absorb CO₂ emitted by fossil fuels and restore air quality (Hutchinson et al., 2007, Solomon et al., 2007, Johnson et al., 2007). Improving soil quality is a strategy to mitigate GHG emissions. Therefore, maintaining the soil with green plant cover for as long as possible, as well as select species that provide root biomass with the objective of exploring the lower strata and contributing to improving soil quality should be pursued (Smith et al., 2008, Caviglia et al., 2016).

At the same time, it should be possible to capture the greatest amount of photosynthetically active radiation (PAR) and be efficient in its use, as part of the solar energy that reaches the Earth is reflected into the atmosphere. Therefore, this energy is not captured by plants and not transformed into biomass. This may be because the catchment surface (leaf area) is limited, or because other environmental determinants limit the photosynthesis process, such as water, temperature, or nutrient availability (Nabinger, 1998). In addition, only 45 % of the incident radiation is in the wave range in which plants have the capacity to absorb for photosynthesis (PAR). It is estimated that up to 3 % of the incident solar energy is transformed into chemical energy by vegetation (Monteith, 1977, Nabinger, 1998, Sinclair and Muchow, 1999).

Morphogenetic variables condition competition abilities between coexisting species (Tallowin et al., 1995). Those variables are leaf appearance rate (LAR), leaf elongation rate (LER) and leaf lifespan (LLS) (Lemaire and Chapman, 1996), added to the tiller appearance rate (TAR) (Hirata and Pakiding, 2002). Therefore, understanding which of the morphogenetic variables and how they affect the development of the leaf area is important since it is this leaf area that will capture the radiation and transform it into green biomass. Furthermore, biomass production is important for efficiency in the use of radiation and GHG emission, which makes it even more important.

Optimal conditions (i.e., temperature, water, availability of nutrients) during establishment of pastures assure a fast grow and a lower weed incidence. In addition, species with different ecological niches facilitate the installation of these new seedlings (Marone, 1988), with rapid and vigorous development (Connor et al., 2011). These niches promote adequate conditions for new seedlings good germination and development.

From early stages of growth, the species compete for light, water and nutrients and this is accentuated when the species requirements are similar or they share ecological niches, and the immediate supply capacity of the factor by the environment in which they grow is lower than the demand of the organisms belonging to that environment (Baruch and Fisher, 1988, Marone, 1988). During this stage, the levels of interaction are minimal, but as they develop, their demand for growth factors such as water, begins to overlap more. The response of each individual to competition can be quantitative to the extent that the plant is established, but there is evidence of a decrease in the efficiency of some vital process, or a qualitative reduction when the plant development slows down or dies. Although competition is common and unavoidable between species, it can be minimized if the number of unwanted species (weeds) is reduced. For this, it

is necessary to generate the maximum coverage of the soil with planted species, also aiming to produce a greater quantity and quality of forage. Thus, to promote the growth of the desired species and therefore reduce the development and competition of weeds, achieve an adequate density and individual size of plants, and make efficient use of environmental factors, shortening the period of low ground cover (emergence period), is needed (Connor et al., 2011).

The method of planting in agricultural systems in South America generally use seeders used in the production of cereals and oilseeds, presenting a distance between rows of not less than 17.5 cm (Ferrari, 2014). This could maximize the interspecific competition, since considering the size and density of forage seeds, as well as the initial behavior, leaving the space between rows unsown, could determine the development of weeds in those gaps. Research at national scale reveals that the levels of pasture species establishment achieved in the country are low (33 % of established plants per viable seeds sown) (García Favre et al., 2017), which could determine a low persistence of the species. Low establishment percentages can mean a low stand of planted plants, generating less ground cover by these species, leaving bare soil and thus allowing the development of undesirable species (weeds). Most of the works carried out in Uruguay on the establishment of pastures, cover aspects such as the planting date (Carámbula, 2002, Zanoniani et al., 2003, Formoso, 2006, Pérez et al., 2010, Zanoniani, 2010); predecessor crop (Ernst and Siri-Prieto, 2008); seed quality (Formoso, 2007), planting density (García et al., 1981, Moliterno et al., 2001, Zarza et al., 2018), planting method (García et al., 1981, Langer, 1981, Rebuffo, 2000, Carámbula, 2002) and forage mixtures of different composition (Zanoniani et al., 2017). However, few studies have examined the distribution of seed in combination with pastures of different characteristics, either in duration (i.e., pasture longevity) and composition (García Favre et al., 2017). Therefore,

the study of different planting methods (with different spatial arrangements of the species) would allow exploring a new management alternative for growth, sustainability, and exploration of the environment by forage species. It is also important to assess whether there is a method that provides better conditions than another, reflected in a higher percentage of establishment, development, and competitive capacity of the population of species under evaluation. The objective of this research was to study whether there are differences in the establishment of the species that make up two mixtures of different initial vigor in interaction with different sowing methods at the level of plant morphogenesis and pasture variables. Also, evaluate if there is any sowing method that differs.

MATERIALS AND METHODS

The trial was carried out at the Faculty of Agronomy (Universidad de la República) Experimental Station "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC), Uruguay, from April 2019 to May 2020. The average annual historical temperature is 19.8 °C for the northwestern part of the country, while the average accumulated rainfall varies between 1,200 and 1,600 mm (Castaño et al., 2011). According to the Soil Taxonomy Classification System, the experimental site is located on a Typic Argiudoll soil, with Natrudoll as associated soil (Altamirano et al., 1976).

The experimental design was a randomized complete blocks design with three replications, where blocks were arranged according to the topographic zone. Each plot was 450 m². Two different forage mixtures of different vigor and longevity, and three different sowing methods made the experiment a 2 x 3 factorial arrangement. Treatments were:

- 1 – ST*+ crossed rows;
- 2 - ST + grass in the row and broadcasted legume;
- 3 - ST + same row.

4 - LT**+ crossed rows;

5 - LT+ grass in the row and broadcasted legume;

6 - LT+ same row.

*short-term mixture. **long-term mixture.

The sowing date was April 24th, 2019. The species, cultivars and sowing seed densities used for the short-term mixture were *Lolium multiflorum* (ryegrass) cv. Montoro (20 kg ha⁻¹) and *Trifolium pratense* (red clover) cv. E116 (7 kg ha⁻¹), for the long-term mix *Festuca arundinacea* (tall fescue) cv. Aurora (15 kg ha⁻¹) and *Lotus corniculatus* (birdsfoot trefoil) cv. INIA Rigel (8 kg ha⁻¹). Sowing was carried out with a Semeato seeder, with a distance between rows of 0.19 m. The planting depth for those that were in line was 1 cm, while those that were broadcasted were deposited on the ground. The cross-row method was planted in two passes, maintaining an angle of 90° between the rows (Figure 1).

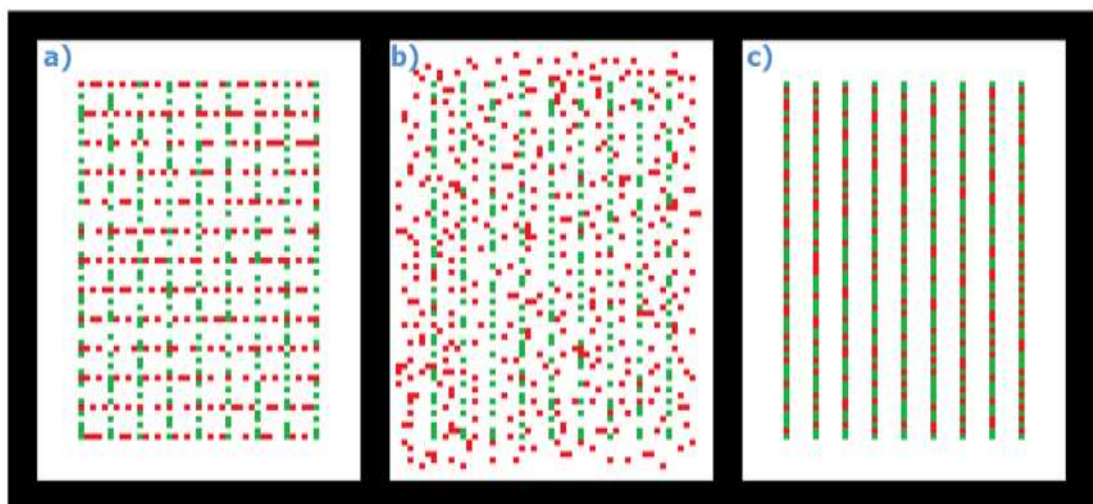


Figure 1. Seed distribution according to sowing method; a) crossed rows; b) grass in row and broadcasted legume; c) same row. Green dots: grasses; red dots: legumes.

In order to determine the percentage of germination, three germinators were prepared for each species. In each Petri dish, 100 seeds were placed on absorbent paper and the container was moistened and kept for nine days at a temperature of 24 °C. The count was made six and nine days after the plates were placed in the germination oven to determine the germination percentage of each batch. The latter was carried out in order to determine the existence of hard seeds. These results were used for the following calculations. Once the percentage of germination was obtained and with the weight of a thousand seeds and the sowing density, the viable seeds sown of each species were calculated as follows:

$$\text{Viable seeds m}^{-2} = \frac{\text{sowing density } \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2}\right) * 1000}{\text{thousand seeds weight (g)}} * \text{germination (\%)}$$

The viable seeds m⁻² sown for ryegrass, red clover, tall fescue and birdsfoot trefoil were 524; 350; 635; 487, respectively, which resulted in 874 viable seeds m⁻² for the short-term forage mixture and 1122 viable seeds m⁻² for the long-term forage mixture.

In order to adjust the levels of fertilization, eliminating the possible effect of soil fertility on the treatments, pre-sowing soil analysis of the first 20 cm of soil depth was carried out to determine the content of nitrates using the Kjeldahl Method (Kjeldahl, 1965), and phosphorus using Bray 1 (Bray and Kurtz, 1945). The result, thereof, was 9 ppm of N-NO₃ and 10 ppm of P-P₂O₅. At sowing, plots were fertilized with 100 kg ha⁻¹ of 7-40 (7% Nitrogen (100% in the form of ammoniacal N); 40% total Phosphorus (40% immediately available Phosphorus)), in addition to an application of 3 L ha⁻¹ of Glyphosate. Also, on 07/06/19, 1.2 L ha⁻¹ of 2,4-DB (Vencweed) and 400 cc ha⁻¹ of Flumetsulam (Preside) were applied.

Measurements were made at 28 (259 °day), 47 (624 °day), 72 (880 °day) and 99 (1206 °day) days after seeding (DAS), using frames of 0.2 *

0.5 m, that were placed in the plots at the beginning of the experimental work. Their position was marked with fixed stakes, totaling six stakes per plot, to identify the measured plants and evaluate their development. In this way, the establishment dynamic and morphological development of each component species of the mixtures was determined by counting the number of plants that were within the fixed frames to determine the number of plants per m² and the number of stems of each counted plant. With these data, the number of stems per m² was determined. The number of leaves per stem was also recorded. Pasture height was measured according to the method of Barthram (1986), taking three records per frame. In addition, the shoot:root ratio of the grass, legume and weed components were quantified. For this, 6 samples were taken per plot (each one representative of the fixed measurement sites), of 0.20*0.20*0.20 m, with the objective of also extracting the roots present in the first 20 cm of soil depth. These samples were taken to the laboratory and washed, separated grasses, legumes and weeds, and also the aerial part and root fractions of each component were separated. The fresh weight was quantified, then the samples were taken to the oven for 48 h at 60 °C and finally the dry weight was measured.

The establishment percentage (EP) was also determined, explained by the number of plants that managed to survive in relation to the viable seeds sown at 99 DAS (Carámbula, 2002). To calculate the EP, the following equation was used:

$$EP (\%) = \frac{\text{number of plants m}^{-2}}{\text{viable seeds sown m}^{-2}} * 100$$

The amount of green stems present in the fixed sites used in the implantation stage was counted, determining the summer survival (SS):

$$SS(\%) = (M2/M1) * 100$$

where M2 is the number of stems.m⁻² measured in the fall of the second year and M1 is the number of stems.m⁻² measured 99 DAS. With this, it was sought to establish the number of tillers and stems that had survived the summer period.

The data were analyzed by analysis of variance, comparing the means of the treatments by minimum significant difference (MSD) with 5 % probability, for each measurement date, with the objective of determining differences both between forage mixtures and sowing methods and their interaction. The variables analyzed were: establishment, number of plants, morphological development and shoot:root ratio. The model used was the following:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + (\tau \cdot \alpha)_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

where Y: variable of interest, μ : population mean, τ : mixture type, α : sowing method, $T \cdot \alpha$: mixture type*sowing method interaction, β : block, ε : experimental error. The data presented are accompanied by the standard error (SE) calculated as:

$$SE = (CME/n)^{0.5}$$

where CME is the mean square error, and n is the number of samples.

To study and predict through equations the behavior of the number of plants and stems per m², number of stems per plant and number of leaves per stem, regressions were adjusted taking into account thermal accumulation, considering linear and quadratic models that are presented below:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$$

where Y: value of the variable for the i-th observation, X: value of the explanatory variable for the i-th observation. Since the best fit was obtained with linear regressions, these are the ones that will be shown.

The statistical program Infostat (Di Rienzo et al., 2018) was used.

RESULTS

The figure shows the behavior of the main climatic variables during the experimental period (Figure 2). It is observed that for the months of May, June and August there was water excess.

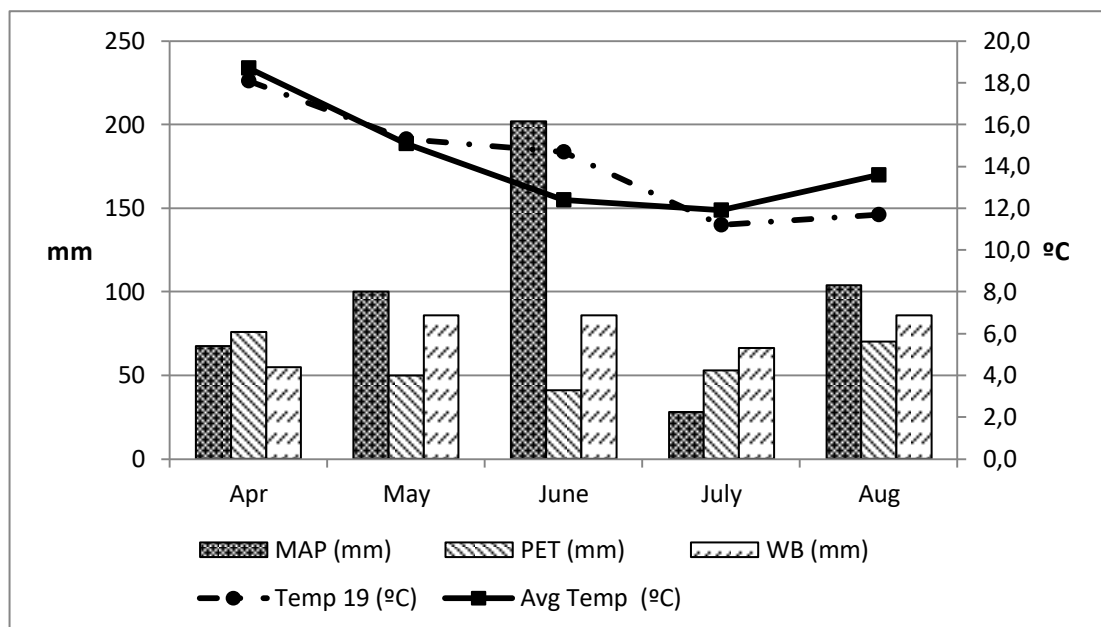


Figure 2. The bars indicate monthly accumulated precipitation (MAP), potential evapotranspiration (PET) and water balance (WB) in mm. Temp 19 (°C) indicates the monthly average temperature during the study period (UdelaR, FA. EEMAC, 2020). Avg Temp (°C) is the average temperature during the period 1960-1990 (INUMET, 2020).

Regarding the evolution of the EP, none of the four evaluated species exceeded 50 % throughout the different measurement dates, regardless of the treatment. Although the general EP of this experiment was 37 ± 1.42 %, when the EP was studied according to the mixtures at 99 DAS regardless of

the sowing method, the mixture composed of ryegrass and red clover obtained 42 ± 1.26 %, being significantly different from the mixture of tall fescue and birdsfoot trefoil, which reached 33 ± 1.23 %. As for grasses, ryegrass achieved statistically higher EP than tall fescue; while legumes did not present statistical differences between them (Table 1). On the other hand, at 99 DAS the planting method in the same row was statistically higher than that carried out in crossed lines; while the method where the grass was sown in line and the legume broadcasted did not present differences with any of the previously mentioned methods. In addition, no differences were obtained for the interaction.

Table 1. Results, standard error (SE) and significance (P-value) of EP according to the grass species (GRASS): ryegrass (ST), tall fescue (LT); the legume species (LEG): red clover (ST), birdsfoot trefoil (LT); the mixture (MIX): short-term (ST), long-term (LT); sowing method (S.M.): same row (SR), grass in row and broadcast legume (R+B), crossed lines (CR).

	MIXTURE				S.M.				
	ST	LT	SE	P-value	SR	R+B	CR	SE	P-value
EP (GRASS)	47.7 a *	35.0 b	1.14	<0.0001	44.6 a	40.5 ab	39.1 b	1.40	0.0457
EP (LEG)	33.4	29.5	1.55	0.11	32.3 ab	35.9 a	26.3 b	1.90	0.0158
EP (MIX)	42.0 a	32.6 b	1.02	0.0001	39.5 a	38.7 ab	33.8 b	1.25	0.019

*numbers followed by different letters in the same row are statistically different ($p \leq 0.05$).

The analysis of the number of plants according to the sowing method for the last evaluation date (1206 °day) showed that, for both grass species the method in the same row presented statistical differences compared to the method in crossed lines, while the method where the grass was sown in line and the legume broadcasted was not different from any of the previous ones (Table 2). In the case of legumes, for both species the planting method in which the legume was broadcasted was the one that performed best, with the cross method being the worst performing. The sowing method in the

same line did not differ from the previously named methods (Table 3).

Studying the mixtures, it was observed that the method in crossed lines was significantly inferior to that of the same line, explained by the behavior of the grass species within the mixtures (Table 4).

The variable number of plants m^{-2} for ryegrass species was not adjusted according to the thermal accumulation for any of the planting methods (Table 5). The trend was a linear and positive behavior. Likewise, tall fescue did not present significant differences as a function of thermal accumulation for any planting method, but in this case the trend was that the number of plants per square meter did not vary throughout the days. This could mean that compensation and death of seedlings occurred before the first measurement, before 33 DAS.

In the case of legumes, no adjustment of the variable was found based on thermal accumulation (Table 5). However, for red clover the tendency was for the number of plants to decrease as thermal accumulation increased, while for birdsfoot trefoil, the tendency was for the number of plants per area to be maintained. For none of the species and, therefore, the mixtures, the thermal accumulation was a good predictor of the variable number of plants m^{-2} .

Table 2. Results, standard error (SE) and significance (P) of the variables measured according to the grass species: ryegrass (Rg), tall fescue (TFes); sowing method: same row (SR), grass in row and broadcast legume (R+B), crossed lines (CR).

		SPECIES				SOWING METHOD				
		Rg	TFes	SE	P	SR	R+B	CR	SE	P
N° PL.m ⁻²		250 a*	222 b	7	0.01	255 a	230 ab	223 b	8	0.04
N° stems.pl ⁻¹		8.78	8.89	0.29	0.79	8.5	9.17	8.83	0.36	0.45
N° stems.m ⁻²		2,222	1,982	82	0.07	2,174	2,112	2,020	101	0.6
N° leaves.stem ⁻¹		2.58	2.48	0.03	0.05	2.6 a	2.56 ab	2.42 b	0.04	0.02
Height	cm	15.4 a	11.2 b	0.54	0.0003	12.93	13.47	13.45	0.66	0.81
Stems weight	gr	0.14 a	0.09 b	0.01	0.002	0.1	0.11	0.13	0.01	0.09
Biomass	kgDM.ha ⁻¹	1,584 a	796 b	46	< 0.0001	1,243	1,220	1,106	57	0.24
S:R ratio**		2.93 a	1.73 b	0.18	0.0009	2.07	2.5	2.43	0.22	0.37

*numbers followed by different letters in the same row are statistically different ($p \leq 0.05$);

**shoot:root ratio.

Table 3. Results, standard error (SE) and significance (P) of the variables measured according to the legume species: red clover (RC) and birdsfoot trefoil (BT); sowing method: same row (SR), grass in row and broadcast legume (R+B), crossed lines (CR).

		SPECIES				SOWING METHOD				
		RC	BT	SE	P	SR	R+B	CR	SE	P
N° PL.m ⁻²		117 b*	144 a	6	0.01	134 ab	149 a	109 b	8	0.01
N° stems.pl ⁻¹		5.22 a	2.67 b	0.26	< 0.0001	3.67	3.67	4.5	0.31	0.14
N° stems.m ⁻²		294 b	741 a	31	< 0.0001	496	572	484	38	0.25
N° leaves.stem ⁻¹		8.9 b	26.9 a	0.75	< 0.0001	15.52 b	18.3 ab	19.82 a	0.92	0.02
Height	cm	8.6 a	6.6 b	0.42	0.006	7.7	8.13	6.97	0.52	0.32
Stems weight	gr	0.11 a	0.03 b	0.01	0.0003	0.07	0.07	0.07	0.01	0.87
Biomass	kgDM.ha ⁻¹	147 a	91 b	13	0.02	141	128	90	16	0.13
S:R ratio**		2.67 a	2.24 b	0.1	0.02	2.77	2.33	2.27	0.13	0.04

*numbers followed by different letters in the same row are statistically different ($p \leq 0.05$);

**shoot:root ratio

Table 4. Results, standard error (SE) and significance (P) of the variables measured according to the mixture: short-term mixture (ST), long-term mixture (LT); sowing method: same row (SR), grass in row and broadcast legume (R+B), crossed lines (CR).

		MIXTURE				SOWING METHOD				
		ST	LT	SE	P	SR	R+B	CR	SE	P
N° PL.m ⁻²		367	366	10	0.94	389 a	380 ab	332 b	12	0.02
N° stems.m ⁻²		2,516	2,723	92.07	0.14	2,671	2,683	2,504	112	0.48
N° leaves.m ⁻²		28,745 b*	79,878 a	3,626	< 0.0001	49,437	57,321	56,176	4,441	0.43
Height	cm	13.3 a	9.4 b	0.36	< 0.0001	11.17	11.52	11.34	0.44	0.85
Biomass	kgDM.ha ⁻¹	1,748 a	903 b	47.69	< 0.0001	1,404	1,367	1,205	58.41	0.08
S:R ratio**		2.8 a	2.01 b	0.11	0.0004	2.42	2.42	2.38	0.13	0.98

*numbers followed by different letters in the same row are statistically different ($p \leq 0.05$); **shoot:root ratio

Table 5. Linear regression equations by species, between variables measured as a function of thermal accumulation, with their respective R².

	RYEGRASS	R ²	TALL FESCUE	R ²	BIRDSFOOT TREFOIL	R ²	RED CLOVER	R ²
N.o PL.m ⁻²	y = 0,0494x + 176,19	0,167	y = 0,0029x + 223,87	4E-04	y = -0,0106x + 152,09	0,015	y = -0,011x + 124,95	0,020
N.o stems.pl ⁻¹	y = 0,0077x + 0,281	0,848	y = 0,008x - 1,1337	0,887	y = 0,004x + 0,0641	0,895	y = 0,0016x + 0,4523	0,636
N.o stems.m ⁻²	y = 2,0051x - 171,31	0,869	y = 1,7748x - 248,34	0,866	y = 0,5472x + 29,401	0,778	y = 0,1737x + 62,29	0,452
N.o leaves.stem ⁻¹	y = 0,0018x + 0,7832	0,875	y = 0,0019x + 0,5598	0,859	y = 0,0245x - 4,6727	0,848	y = 0,008x - 0,9605	0,877
Height (cm)	y = 0,0047x + 6,4847	0,500	y = 0,0071x + 7,9383	0,622	y = 0,0042x + 1,6616	0,712	y = 0,0061x + 1,1916	0,790

The variable number of tillers plant⁻¹ did not present statistical differences neither between sowing methods nor between grass species at 1206 °day. When analyzing tillers density per square meter, no statistical differences were observed either between species, or between methods (Table 2).

Within the legumes, the birdsfoot trefoil species was the one that generated the highest number of stems per plant and per surface compared to red clover (Table 3). In the study of the behavior of the mixtures, there were no significant differences for the mixtures, methods or their interaction (Table 4).

In the case of the variables number of tillers plant⁻¹ and number of tillers m⁻², relationships were found between each of them and thermal accumulation when the evolution was studied. Both species increased the number of tillers as thermal accumulation increased, being the relationship linear and positive (Table 5). For the entire period, tall fescue showed an average increase of 1.77 tillers m⁻² for each unit of thermal accumulation, while ryegrass showed an average of 2 tillers m⁻² for each accumulated degree (Figure 3).

As happened with grasses, there was a positive and linear response by legumes to thermal accumulation (Table 5). On the other hand, red clover and birdsfoot trefoil presented an average increase of 0.17 and 0.55 stems m⁻², respectively.

The number of green leaves per stem did not present significant differences when the grass species were analyzed on the last measurement date (Table 2). Not so the planting method, which was statistically different in the study of both species, where the performance of the crossed lines method was inferior to that of the same row. Within each species, the planting method did not present significant differences.

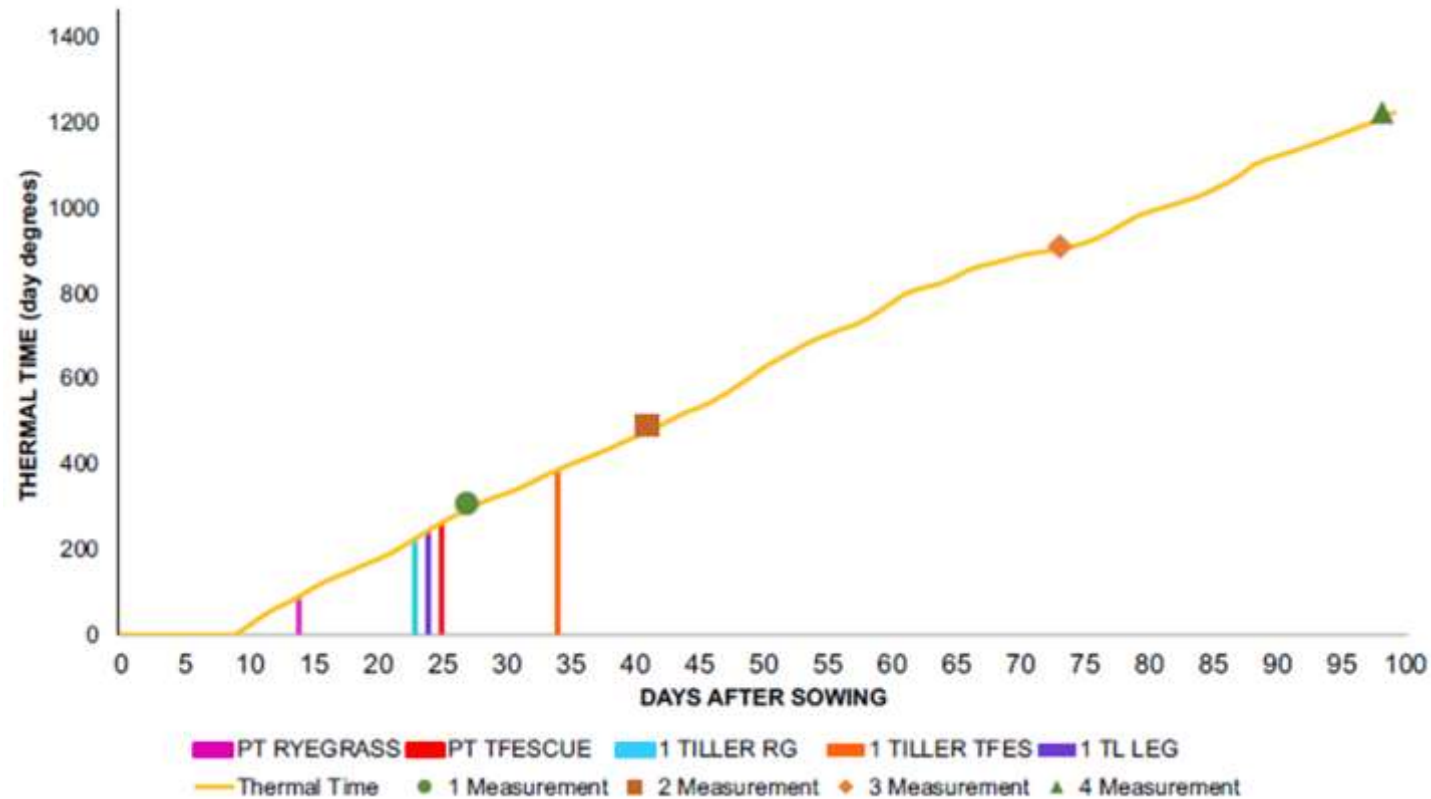


Figure 3. Effect of temperature during establishment in the determination of morphogenetic variables for the sown species. Measurement dates (1,2,3, 4 Measurement), appearance of the primordial tiller of grasses (PT RYEGRASS; TP TFESCUE), appearance of the first grasses tiller (1 TILLER RG; 1 TILLER TFEST), appearance of the first true legume leaf (1 TL LEG). Thermal accumulation throughout the establishment period.

In the case of legume species, there were statistical differences when the interaction was evaluated, being birdsfoot trefoil in its three planting methods superior and different from red clover, and, in turn, being the crossed method superior and different from the same row method for the birdsfoot trefoil species (Table 3). It is noteworthy that for this variable the behavior of the species was contrasting, since in the case of grasses the method of planting in crossed rows was the one that behaved worst, the opposite occurring for legume species.

The analysis of the mixtures gave as a result that there were significant differences at the level of the type of mixture, presenting a greater number of leaves per square meter the long-term mixture, without presenting differences between methods or interaction (Table 4).

Analyzing the species separately, the responses to the regressions were significant, linear and positive between live leaves stem^{-1} and thermal accumulation for each planting method (Table 5).

As for plants height, ryegrass was taller than tall fescue (Table 2) and red clover was taller than birdsfoot trefoil regardless of the planting method (Table 3). At the mixture level, the short-term mixture was statistically higher in height than the long-term one and no differences were found between sowing methods or when interactions were analyzed (Table 4). When the behavior of height as a function of thermal accumulation was studied, it was found to be linear and positive for all factorial combinations (Table 5).

The weight of the stems at 99 DAS was evaluated and it was observed that ryegrass obtained a higher weight of tillers than tall fescue, regardless of the planting method (Table 2). In turn, red clover presented higher stem weight compared to the legume of the long mixture (Table 3). Neither the sowing method nor the interaction presented significant differences in any case.

When biomass production was analyzed for the last measurement date of the establishment period, it was observed that there were differences according to the mixture used, with the short-term mixture achieving a greater amount of biomass, while neither the method nor the interaction were significant in the study of this variable when the mixtures were analyzed (Table 4).

As seen previously, while in the aerial part, the species of the short-term mixture managed to produce a greater amount of biomass at the end of the establishment period; in the root part, neither among the grasses nor among the legumes showed differences (Table 2, Table 3).

This determined that the shoot:root ratio of the short-term mixture was higher than that of the long-term one, meaning that both species of the mixture developed a greater amount of aerial biomass to the detriment of the root biomass (Table 4). In addition, in the case of legumes, the same row planting method presented a higher shoot:root ratio than the crossed line method (Table 3).

Finally, when studying the SS of the grass species, it was recorded that it was significant, being fescue the one with the highest percentage compared to ryegrass. No differences were found between planting methods. When the SS of the legume species was analyzed, the statistical differences were for the mixture factor, where red clover presented a higher percentage compared to birdsfoot trefoil. The weight of tillers measured in the fall of the second year showed statistical differences only for the mixture factor, explained by the absence of ryegrass in the short mixture. Legume stems did not show differences. In no case was the interaction between factors significant (Table 6).

Table 6. Results, standard error (SE) and significance (P-value) of summer survival (SS) according to the grass species (GR.): ryegrass (ST), tall fescue (LT); the legume species (LEG): red clover (ST), birdsfoot trefoil (LT); number of tillers per area (N°T.m⁻²); number of stems per area (N°S.m⁻²); tillers weight (T.W.) and stems weight (S.W.) measured in the fall of the second year. Method and the interaction's P-value are also shown.

	MIXTURE				METHOD	MIX*METHOD
	ST	LT	SE	P-value	P-value	P-value
SS GR. (%)	1 b *	50 a	3	< 0,001	0,08	0,06
N°T.m⁻²	30 b	970 a	64	< 0,0001	0,31	0,28
T.W. (g)	0 b	0,04 a	1,40E-03	< 0,0001	0,67	0,67
SS LEG (%)	177 a	47 b	23	0,0024	0,72	0,99
N° S.m⁻²	480	360	69	0,23	0,21	0,51
S.W. (g)	0,03	0,02	2,30E-03	0,06	0,07	0,14

*numbers followed by different letters in the same row are statistically different ($p \leq 0.05$).

DISCUSSION

The result of a lower EP, regardless of the sowing method, evidenced that the environmental conditions (i.e., temperature, soil water content) have a major effect on pasture establishment. As Anslow and Green (1967) mention, temperature as well as radiation are factors of the environment that men cannot control in field situations, and that define the basis of the conditions for the growth of a pasture, and where the temperature is the preponderant factor in determining the production of aerial biomass.

The data obtained for EP are similar to those published by different authors if they are compared at each measurement time, varying from 50-58 %, depending on the mixture, at 50 days to 30-35 % at 90-100 DAS. Boschi et al. (2016), states that establishment percentages greater than 59 % between 20-50 days after seeding were not reached by other cited authors, because they planted with machinery and not manually in pots. In turn, García Favre et al. (2017) at 90 days the average EP reached was close to 30 %. Therefore, only with a change in the planting method, the limitation of

low EP could not be lifted. Moliterno (2000) also obtained low to very low establishment percentages of different forage mixtures, reaching, in the best of cases, 58 % of established seeds of the ryegrass, white clover, red clover, birdsfoot trefoil mixture in relation to viable seeds sown. In the case of the mixture of tall fescue, white clover and birdsfoot trefoil, the author reports an EP of 34 %, similar to that of the present work.

The best performance in terms of EP by ryegrass is partly explained by the greater initial vigor that this species presents compared to tall fescue (Barnes, 2018). This greater initial vigor, as suggested by Brock et al. (1982), is a reflection of the higher rate of unfolding of endosperm reserves by ryegrass. This feature is of vital importance in plant competition (McKell, 1969). Factors that may be of weight in determining initial vigor are speed of germination, rate of extension of both root and stem, and general efficiency of conversion of endosperm reserves to seedling length (Whalley et al., 1966). The ability of seeds to mobilize carbohydrate stores from the endosperm to the growing points is an important characteristic that differentiates species (Askin, 1994). In this sense, in the case of ryegrass, which has smaller seed sizes compared to other grasses, its greater establishment compared to tall fescue could be due to its higher relative growth rate, resulting in plants with greater development and greater capacity for competition by limited resources during a given period (Garnier, 1992).

In that sense, the lesser tall fescue establishment, when compared to ryegrass, is apparently due to slow seedling development and consequent susceptibility to competition (Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996). Praat et al., (1996) evidenced no advantage in terms of suppression of weed species or accumulation of herbage mass, of sowing tall fescue at higher rates than those needed to reach more than 500 plants m⁻², in which they assume sowing efficiency and around 80 % emergence of viable seeds. In

this work, although the number of viable seeds for the species is just over 500, the establishment percentage was considerably lower than the 80 % emergence rate proposed by the authors.

The worse performance of the cross-row planting method in relation to that carried out with legumes in the same row may be due to the fact that a high degree of intraspecific competition occurs in cultivated pastures (McKell, 1969). In the cross-seeding method (where species are sown separately), plants of the same species are subject of competition for the same resources in the same row, while when both species are planted in the same row, although there is a higher density of plants, as they have different requirements, the surrounding competition could be less.

On the other hand, in the analysis of legume species, none managed to differentiate. This could be explained because of the lower vigor of tall fescue (Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996), which promoted better conditions for the establishment of birdsfoot trefoil since it helps the legume not to be subjected to shading, favoring its growth during the establishment period (Frame, 2019). In contrast, red clover may have experienced competition from ryegrass, which led to less establishment of the species, since the grass seed is larger, being more competitive than the legume in the mixture (Kidson and Westoby, 2000) limiting the growth of the latter.

Although the population of red clover was lower than that of birdsfoot trefoil, Frame (2019) suggests that a population of 200 red clover plants per square meter in the fall of the establishment period is reasonable if targeting a plant stand dominated by this legume, which taking into account the situation of the present experiment where the legume is part of a mixture in which it intends to be balanced and not dominated by the legume species, its behavior is within the recommendation.

The better performance, for the variables EP and number of plants.m⁻² of the broadcasted sowing method with respect to the crossed method for legume species was expected and is explained by the fact that the former manages to deposit the seed on the surface. For seeds as small as those used is recommended because they have few reserves in the seed to tolerate deeper sowings that can generate the depletion of those reserves and cause germination to fail (Cooper, 1977, Langer, 1981, Frame, 2019).

Finally, although it has been shown that temperature has a linear effect on germination (Brar et al., 1991, Hill and Luck, 1991, Lonati et al., 2009), and the species under study present optimum germination temperatures of between 10-25 °C (Butler et al., 2014), in this study it was not reflected due to the fact that there were other factors during the initial process that, added together, had more impact and depressed the effect of temperature. In this sense, Awan (1995) highlights that for the seedling establishment period, gravimetric content of soil water, soil temperature, minimum air temperature and air currents are more important factors than maximum air temperature, rainfall, degree days and potential evapotranspiration. Taking into account the environmental conditions in this study, the water excess during the first months of pasture establishment could have been more decisive than the thermal accumulation in terms of seedling emergence throughout the period and, therefore, to the EP at the end of it.

The results obtained in relation to the variable number of tillers per plant do not agree with those obtained by several authors, including Davies (1974), Chapman and Lemaire (1993), Colabelli et al. (1998) and Parsons and Chapman (2000), who indicate a greater number of tillers in ryegrass than tall fescue. These suggest that because for each leaf that appears per tiller, an axillary bud is generated capable of producing another tiller, the species with a higher rate of foliar appearance tend to form pastures with a higher density of tillers. Also, Moliterno (2000) presents data in which

ryegrass has a greater number of tillers per plant than tall fescue with significant differences.

The different behavior from that of the cited authors could be due, firstly, to the fact that the ryegrass used in this experiment is tetraploid (INASE, 2019), characterized by having a lower number of tillers per plant (Amigone and Tomaso, 2006). Secondly, due to the existence of competition between plants that limited the development of tillers. In this sense, and taking into account the species used in the present study, it was expected that ryegrass would present a greater number of tillers per plant than tall fescue.

On the other hand, Bahmani et al. (2003), working with perennial ryegrass, found that N-treated plants reached 34 % more tillers than the untreated ones. Mazzanti et al. (1994), working with tall fescue, found that high N application increased by 22 % the tiller density. These data suggest that ryegrass is more sensitive to N supply, which could have been a determining factor in the lower production of tillers by this species. Also, Skinner and Nelson (1994) suggest that large-leaved, erect-stemmed, high-LER plants have probably received more far-red reflected light from their neighbors and, in turn, have self-shaded the bases of their stems, for which, although it would show an earlier closure of the furrow, the plant would react by limiting the production of future tillers.

In the study of legumes, the behavior was the opposite of that of Moliterno (2000), who published that red clover presented greater precocity than birdsfoot trefoil, and greater development, measured in number of stems per plant and stem weight. In this case, the number of stems per plant was significantly higher for birdsfoot trefoil. The difference between both studies could be due to the use of different birdsfoot trefoil cultivars; the cultivar used in this study is more productive than the one used by the author (Ayala et al., 2010), which could mean a greater emission of stems from the former in relation to the latter cultivar.

Additionally, birdsfoot trefoil primary growth is from the crown and it is intolerant to shading by other plants, particularly during establishment. On the other hand, red clover develops a crown formed by the accumulation of buds formed at the base of the plant. These buds produce vertical, pubescent and hollow stems of 60-80 cm. In turn, the shading of the accompanying grass causes the number of stems per plant to decrease (Frame, 2019). These characteristics could explain part of the behavior, since, as mentioned above, birdsfoot trefoil was not subjected to competition by the accompanying species, while red clover was; resulting in lower red clover stem emission compared to birdsfoot trefoil.

Regarding the number of tillers per area, the tiller density of $> 2,300$ tillers m^{-2} for grasses such as tall fescue was indicative of a productive and persistent pasture comprising at least 70 % of the planted species (Hendriks et al., 2016); in this case, the number of tall fescue tillers is 14 % lower, which would alert about a possible lower potential production as well as persistence of the species.

As in the previous variable, no differences were found between the different planting methods, disagreeing with Scheneiter and Améndola (2012), who stated that the planting arrangement affected the demography of tall fescue stems at the beginning of the experiment. As for legumes, birdsfoot trefoil managed to establish a higher density of seedlings and with more stems per plant, which is expected to present a higher density of stems per surface area.

There were no statistical differences between mixtures for the stem density variable, because the lower performance of the tall fescue was compensated by the greater number of stems emitted from the birdsfoot trefoil, and vice versa for the short mixture, where the ryegrass presented a greater amount of stems, compensating for the worse performance of the legume.

The maximum number of living leaves per tiller is genetically determined (Davies, 1988). During the growing season, a tiller of perennial ryegrass can support three living leaves and produce a new one every 7-10 days (Robson et al., 1988). That would mean that in 3-4 weeks the canopy could be completely replaced. In the case of ryegrass, the phyllochron is 11, with a base temperature of 10 °C, and 23 for tall fescue (Colabelli et al., 1998). This agrees with Silsbury (1970) and Peacock (1976), who state that the appearance of successive leaves was generally longer for fescue than for ryegrass. Hendriks et al. (2016) published that fescue maintains 4 live leaves/stem.

The results of the number of leaves of grasses could be explained by the existence of a negative correlation between LER and height of the pseudostem. Since the length of the pseudostem is the distance that an elongated leaf must travel to emerge (Graminho et al., 2019), and taking into account that the height of the ryegrass was greater than that of the tall fescue, the longer path of the leaves along the pseudostem of the ryegrass generated less leaf emission during the same period of time.

The response obtained by the grasses in relation to the number of leaves emitted agrees with that published by some authors (Anslow, 1966, Lemaire and Chapman, 1996), that when individuals are in a vegetative state, the phyllochron is considered constant if it is expressed as thermal time. This would imply a linear and positive response between the leaves that appear and the degree days that accumulate, with the phyllochron being the inverse of the slope of the relationship.

Like Hill and Luck (1991), the birdsfoot trefoil generated more leaves than red clover when they were evaluated at different temperature levels; therefore, it could be assumed that the better performance of birdsfoot trefoil compared to red clover is due to morphological characteristics of the species.

Regarding planting methods, it should be noted that where the grass behaved better (it emitted a greater number of leaves), the legume had a worse performance and vice versa. This is explained by a possible compensation between one species and another of the mixtures. In the mixture, one of the species emitted more leaves than the other; therefore, the other was suppressed due to lack of light, generating fewer leaves.

The grass belonging to the short-term mixture achieved greater height than that of the long-term one, explained by a higher leaf expansion rate of the former (Peacock, 1976). Bearing in mind that ryegrass was not in the internode elongation phase during the measurement period and that the height is that of the leaf that touches the highest point on the ruler, the greater height could be explained by the greater length of the leaves, an intrinsic characteristic of the species itself, explained in part by its ploidy (Amigone and Tomaso, 2006), as well as by the length of the ryegrass pseudostem, which, as suggested by Santos et al. (2016) when the canopy reaches 95 % light interception, competition for this resource is generated, resulting in an increase in senescence rates and pseudostem elongation with a negative impact on net leaf production. This does not coincide with what was published by Kemp et al. (2001), who state that tall fescue produces longer and thicker leaves with a lower rate of elongation but longer leaf life than ryegrass.

On the other hand, within the legumes, red clover, when it is subjected to shading, tends to increase the length of the petiole (Frame, 2019), which generates that it presents more height than the birdsfoot trefoil.

The relationship between height and temperature agrees with the one presented by Peacock (1976), who studied the effect of temperature on the rate of leaf expansion within grass species and found that the relationship is linear.

It was expected that tall fescue would have heavier stems than ryegrass due to the greater tillering capacity of the latter, which produces more but smaller stems (Davies, 1974, Gastal and Lemaire, 2015, Matthew et al., 2020), explained because the rate of elongation is positively correlated with forage production and yield per stem, but negatively correlated with stems per plant (Skinner and Nelson, 1994). The weight of tall fescue tillers is similar to the data published by Duchini et al. (2018) (0.092 DMg).

Regarding legumes, the greater weight of red clover stems is explained by its better tolerance to low light intensities than other legume species, and its vigorous growth when planted in a mixture with non-aggressive grasses. At the same time, shading generates an increase in the leaf area and in the length of the petiole (Frame, 2019).

Summarizing, on the one hand, within the grass species on the last measurement date, compared to tall fescue, ryegrass achieved more plants per square meter and the same number of stems per plant, resulting in the latter obtaining a greater number of stems per square meter. In turn, they did not differ in the number of leaves per stem, but they did in height, with the annual species being taller than the perennial species, resulting in heavier stems for the short-term mixture species. The foregoing determined that ryegrass had achieved a greater amount of biomass compared to tall fescue, without presenting statistical differences in the planting method or in the interaction (Table 2).

On the other hand, also at 99 DAS, the birdsfoot trefoil species was the one that obtained the highest number of established plants per square meter, as well as the one that managed to emit more number of stems per plant, resulting in a higher density of stems compared to red clover. At the same time, birdsfoot trefoil was the species that emitted more leaves per stem, but it was not able to overcome red clover in height, which also had heavier stems. Although birdsfoot trefoil was established with a higher

density of stems per square meter and leaves per stem, it was not able to compensate for the difference in the weight of each stem in favor of red clover, resulting in a greater amount of biomass generated by red clover. No differences were found between methods or in the interaction (Table 3).

As mentioned above, the biomass production is the product of the number of stems.m⁻² and weight of stems (Lemaire and Champan, 1996). In this case, it was expected that the short-term mix would produce more biomass than the long-term mix at the end of the establishment period. This is because the grass in the first mixture is a winter annual species and it ends its growth cycle in late spring, providing all its dry matter production during this period. On the other hand, as tall fescue is a perennial species, during the first stages it develops aerial and root parts to be able to survive the first summer of life, and then it maintains the perennial character that characterizes it. Although there will be some tillers that pass into a reproductive state during the first year, these are few in relation to those that remain in a vegetative state with the aim of surviving and perpetuating. Regarding legumes, due to the growth cycle of both species, it is also expected that the one present in the short-term mixture will be the one with the highest production, since the measurement was made during autumn and winter of the first year, and that for the case of birdsfoot trefoil is not only being implanted but also it is not in its growing season (spring-summer).

In turn, in all cases, ryegrass managed to establish a greater number of plants, with the same amount of stems per plant and leaves per stem but heavier, which determines that it is the species within the grasses that presented the greatest amount of biomass. Lemaire et al. (2000) published that there is a very close relationship between yield per plant and tillers per plant in young plants with a lot of space, where the maximum tillering capacity could be expressed. However, as tiller density increased and

approached equilibrium, yield per tiller became the most important factor in determining yield per plant. The above could explain part of the behavior of ryegrass, since it could be thought that the space for the development of the plants was not very spacious, so the number of stems per plant did not differ from the other grass, but it did manage to differentiate in the yield per tiller, which became the most determining factor of the yield per plant. Although the accompanying legume in the short mixture was able to establish fewer plants, and fewer stems per plant and leaves per stem than birdsfoot trefoil, the leaves and stems were heavier, compensating for the rest, and ending with higher biomass production.

Although the planting methods modify the spatial distribution of the plants and, therefore, it could be thought the same for the interception of radiation, and be reflected in differences in biomass production, this did not occur. The non-difference could be explained by the sowing density, which, although recommended, could be excessive, causing the plants not to perceive the difference between sowing methods and, therefore, spatial distribution, and that only the mixtures differ.

Regarding the shoot:root results obtained, these agree with those of Hill et al. (1985), where the short-cycle species had a higher shoot:root ratio when compared to the long-cycle species. This is due to the fact that by having different cycles, the species present different strategies regarding the partition of assimilates, where those with a short cycle preferentially move carbon to the intercalary meristems to produce photosynthetic tissue (Ryle 1970). In turn, as indicated by Garnier (1992), perennial plants allocate a higher proportion of biomass to roots than annual plants in order to maintain themselves longer. This explains why no differences were found in root biomass, starting from the basis that the species of the long mixture presented a lower amount of aerial biomass, which added to the lower

shoot:root ratio, ends up in the same amount of root biomass as the annual ones.

The behavior of ryegrass resembles the data presented by Hansen and Svendsen (1986), where the shoot:root ratio is 2.95. The behavior of the birdsfoot trefoil is also similar to that published by García et al. (2008), where they studied the behavior of the birdsfoot trefoil under hydric stress (water deficit and excess); the result at 110 days for the control treatment was 2.1 for the shoot:root ratio, achieving levels of 3.8 when it occurs water excesses and 1.9 in situations of deficit. On the other hand, tall fescue behaved below the values reported by Belesky and Fedders (1995), who studied the effect of soil acidity and endophyte on development and demographic characteristics associated with productivity and resource partitioning in tall fescue and obtained average values of shoot:root ratio of 2.3. In turn, red clover obtained lower values than those reported by Evans (1973), where the shoot:root ratio of this species was studied evaluating the effect of seed weight within the species, obtaining maximum values of 3.0 and minimum of 2.9. The differences between the results of the last two species in relation to those of other authors may be due to the fact that both tall fescue and red clover were subjected to competition from the accompanying species of each mixture, suppressing their growth.

The data of this work shows that although the shoot:root ratio was higher in the annual species, the root biomass did not differ depending on whether the species was annual or perennial at the end of the establishment period. These data could be useful when implementing agronomic practices that help sequester atmospheric CO₂. In this way, since the presence of roots in the soil provides C and improves its quality, although within the first stages they did not differ, choosing perennial species could be the best alternative since they will provide root biomass for longer. With this, it is also possible to

reduce the mineralization of soil organic matter, favoring the accumulation of C in it (Sainju et al., 2017).

As was demonstrated with other variables throughout the investigation, the sowing method did not characterize the SS of the mixtures either, meaning that only with the variation in the distribution of the seeds a detectable impact on the efficiency in the use of resources by plants is not achieved, referring to the search for different ecological niches that promote the installation of seedlings (Marone, 1988, Connor et al., 2011). As for the mixtures, the analysis shows that the choice of species is important, since in the case of the short-term mixture, although ryegrass was the species that contributed the highest amount of dry matter during the first year, it should not be neglect the accompanying species, since it is this that will produce later. In this sense, choosing a species such as red clover, which is biennial and has good initial vigor (Carleton and Cooper, 1972), seems a good alternative, since it tolerates competition from ryegrass and managed to produce during the second year. On the other hand, in the long-term mixture the growth of both species was slow, due to the lower initial vigor (Barnes, 2018, Faulkner et al., 1982, Praat et al., 1996), but then the fescue is the component of the mix that contributes the most to it. In another line, the weeds were promoted in the short-term mixture, product of the almost null existence of ryegrass, which left the soil uncovered, facilitating their growth and development (Altieri, 1988), which competed with red clover.

Finally, although the long-term mixture obtained higher forage production in the second year, it did not show a summer survival according to its perennial characteristic compared to the short-term mixture for the evaluated period. In a study carried out in New Zealand in which the effect of endophytes in tall fescue with water interaction is evaluated, summer survival can be 100 % if it is irrigated or 10 % if conditions without water exceed 35 days. From day 28 without water, the percentage of live tillers

goes from 80 % to 10 % on day 35 (West et al., 2006). Furthermore, Pecetti et al. (2007) studied the effect of endophytes on tall fescue in Italy, measuring persistence as a percentage of surviving tillers and found that by the end of the second year survival was 90 %. Hendriks et al. (2016) report data of 1722 tillers.m⁻² at the beginning of the fourth summer of a pure tall fescue pasture, data much higher than those obtained in this experiment if one takes into account that these represent the survival of the first summer of life of the species.

The lower performance than those reported by other authors may be due to the climatic conditions that occurred during the summer and early autumn, when the water balance decreased to -44 mm in March, which could have caused plant death. On the other hand, as mentioned by Duchini et al. (2018), the decrease in tillering during the summer and autumn would not mean the loss of pasture, since it could be part of the survival strategy in which tillering is reduced at high temperatures (for C3 species) and then increases the number when temperatures are lower, especially during shorter photoperiods. In turn, these authors publish that the recovery of the tiller density for tall fescue begins in late autumn. Moreover, Zanoniani et al. (2018) present data in which the climatic conditions were similar to those of the present work (even grazing was not carried out in the first summer due to adverse climatic conditions), but in which the mixtures were able to recover and show long-term compensation (4 years of evaluation). With these data, it could be thought that the SS in the second fall is not a good indicator of pasture persistence in the long term.

CONCLUSIONS

No treatment managed to exceed the national data related to the establishment percentage. This suggests that for work conditions there are more management factors, in addition to the planting method, that influence and condition this variable.

The data presented in this work show that for the management system and the forage mixtures used, the sowing method, as a management factor to change the spatial distribution of the plants and thus the interception of radiation by them, has no effect on the biomass production of the forage mixtures nor in the summer survival, being the efficiency of use of the environment more related to the mixture than to the planting method. In this sense, there were no compensatory effects between the number and weight of plants for the different planting methods, nor was there any planting method that stood out positively or negatively in these variables.

Finally, the possibility of a new line of research is proposed where different planting densities are adjusted, in order to evaluate if dry matter productions are maintained with a smaller number of viable seeds sown, which would mean an efficiency in the use of seeds. At the same time, the possibility of studying the effect of sowing the mixtures with a conventional seeder and a forage planter is proposed.

REFERENCES

- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echeverría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. *Montevideo: MAP*.
- Altieri, M. A. (1988). Ecological Approaches. Weed Management in Agroecosystems. *CRC Press*, Boca Ratón, Florida, 1-6.
- Amigone, M. A., & Tomaso, J. C. (2006). Principales características de especies y cultivares de verdeos invernales. *Informe para Extensión*, (103).
- Anslow, R. C., & Green, J. O. (1967). The seasonal growth of pasture grasses. *The Journal of Agricultural Science*, 68(1), 109-122.
- Anslow, R. C. (1966). The rate of appearance of leaves on tillers of the gramineae. In *Herbage abstracts* (Vol. 36, No. 3, pp. 149-155).
- Awan, M. U. H. (1995). *Environmental and plant factors causing low legume seedling establishment following oversowing into drought-prone hill*

- swards: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ph. D.) in Plant Science at Massey University, New Zealand* (Doctoral dissertation, Massey University).
- Ayala, W., Bemhaja, M., Condón, F., Cotro, B., Coutiño, M. J., Docanto, J., García, J., Gutierrez, F., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, R., Rossi, C., & Silva, J. (2010). Forrajeras; catálogo de cultivares 2010. *Montevideo, INIA*.
- Bahmani, I., Thom, E. R., Matthew, C., Hooper, R. J., & Lemaire, G. (2003). Tiller dynamics of perennial ryegrass cultivars derived from different New Zealand ecotypes: effects of cultivar, season, nitrogen fertiliser, and irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(8), 803-817.
- Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., Chomel, N., Durigan, G., Fry, E. L., Johnson, D., Lavallee, J. M., Le Provost, G., Luo, S., Png, K., Sankaran, M., Hou, X., Zhou, H., Ma, L., Ren, W., Li, X., Ding, Y., Li, Y., & Shi, H. (2021). Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10), 720-735.
- Barnes, R. F. (2018). Importance and problems of tall fescue. In *Biotechnology in tall fescue improvement* (pp. 1-12). CRC Press.
- Bartholomew, P. W., & Williams, R. D. (2010). Effects of soil bulk density and strength on seedling growth of annual ryegrass and tall fescue in controlled environment. *Grass and Forage Science*, 65(3), 348-357.
- Barthram G. T. (1986). Experimental techniques: the HFRO sward stick. In Alcock M. M. *The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984-85*. U.K, 29 - 30.
- Baruch, Z., & Fisher, M. (1988). Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de una pastura. *Establecimiento y renovación de pasturas. CIAT. Cali, Colombia*, 103-142.

- Belesky, D. P., & Fedders, J. M. (1995). Tall fescue development in response to *Acremonium coenophialum* and soil acidity. *Crop Science*, 35(2), 529-533.
- Boschi, F., Latorre, P., Saldanha, S., Machado, J., Bentancur, O., & Moure, S. (2016). Importancia de las semillas duras en leguminosas forrajeras producidas en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 20(2), 43-50.
- Brar, G. S., Gomez, J. F., McMichael, B. L., Matches, A. G., & Taylor, H. M. (1991). Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature. *Agronomy journal*, 83(1), 173-175.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*, 59(1), 39-46.
- Brock, J. L., Anderson, L. B., & Lancashire, J. A. (1982). 'Grasslands Roa'tall fescue: seedling growth and establishment. *New Zealand journal of experimental agriculture*, 10(3), 285-289.
- Butler, T. J., Celen, A. E., Webb, S. L., Krstic, D., & Interrante, S. M. (2014). Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science*, 54(6), 2846-2853.
- Carámbula, M. (2002). Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas.
- Carleton, A. E., & Cooper, C. S. (1972). Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes 1. *Crop Science*, 12(2), 183-186.
- Castaño, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., & Bidegain, M. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009* (No. 551.58: 631 CAR).
- Caviglia, O. P., Wingeyer, A. B., & Novelli, L. E. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. *Serie de Extensión INTA Paraná*, 78, 27-32.
- Chapman, D. F., & Lemaire, G. (1993, February). Morphogenetic and structural determination of plant regrowth after defoliation. In *17. International Grassland Congress*. CSIRO.

- Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., & Labreveux, M. (1998). El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. *Boletín técnico*, 148.
- Connor, D. J., Loomis, R. S., & Cassman, K. G. (2011). *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press.
- Cooper, C. S. (1977). Growth of the legume seedling. *Advances in Agronomy*, 29, 119-139.
- Davies, A. (1988). The regrowth of grass swards. In *The grass crop* (pp. 85-127). Springer, Dordrecht.
- Davies, A. (1974). Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, 82(1), 165-172.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., & Robledo C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duchini, P. G., Guzatti, G. C., Echeverria, J. R., Américo, L. F., & Sbrissia, A. F. (2018). Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *PLoS One*, 13(11), e0207360.
- Ernst, O., & Siri-Prieto, G. (2008). Sistemas de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay; resumen de resultados. *Cangüé*, 2008, (30), 2-8.
- Evans, P. S. (1973). Effect of seed size and defoliation at three development stages on root and shoot growth of seedlings of some common pasture species. *New Zealand journal of agricultural research*, 16(3), 389-394.
- Faulkner, J. S., Johnston, F., & McAneney, D. P. (1982). Selection for seedling vigour in *Festuca arundinacea*. *The Journal of Agricultural Science*, 99(1), 173-184.
- Ferrari, A. M. S. H. (2014). Consideraciones a tener en cuenta en la sembradora para lograr una buena implantación de pasturas. *Jornada*

Nacional de Forrajes Conservados. 5. 2014 04 09-10, 09 y 10 de abril de 2014. Manfredi, Córdoba. AR.

Formoso, F. (2007). Conceptos sobre implantación de pasturas. *Jornada Instalación y Manejo de Pasturas (2007, La Estanzuela). Memorias. Montevideo, INIA, 19-39.*

Formoso, F., & Allegri, M. (2006). Instalación y manejo de pasturas para el litoral oeste. *Seminario de Actualización Técnica (1., 2006, La Estanzuela). Instalación de pasturas, conceptos claves. Montevideo, INIA, 1-11.*

Frame, J. (2019). *Forage legumes for temperate grasslands*. CRC Press.

García Favre, J., Zanoniani, R., Cadenazzi, M., & Boggiano, P. (2017). Incidencia de variables biológicas y edáficas en el establecimiento de mezclas forrajeras. *Agro Sur, 45*(1), 3-10.

García, I., Mendoza, R., & Pomar, M. C. (2008). Deficit and excess of soil water impact on plant growth of *Lotus tenuis* by affecting nutrient uptake and arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil, 304*(1), 117-131.

García, J. A., Formoso, F. A., Risso, D. F., Arrospide, C. G., & Ott, P. (1981). Factores que afectan la productividad y estabilidad de praderas. *CIAAB Miscelánea*.

Garnier, E. (1992). Growth analysis of congeneric annual and perennial grass species. *Journal of ecology, 80*, 665-675.

Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture, 5*(4), 1146-1171.

Graminho, L. A., Rocha, M. G. D., Pötter, L., Rosa, A. T. N. D., Salvador, P. R., Amaral, L. G. D., Lopes Bergoli, T., & Cadó, L. M. (2019). Effect of herbage allowances on biomass flows in Italian ryegrass. *Ciência Rural, 49*.

- Hansen, G. K., & Svendsen, H. (1986). A model of assimilate partitioning and utilization in shoots and roots in the vegetative stage of *Lolium multiflorum*. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 36(3), 286-300.
- Hendriks, S. J., Donaghy, D. J., Matthew, C., Bretherton, M. R., Sneddon, N. W., Cosgrove, G. P., Christensen C. L., Kaufononga S., Howes J., Osborne M. A., Taylor P. S., & Hedley, M. J. (2016). Dry matter yield, nutritive value and tiller density of tall fescue and perennial ryegrass swards under grazing. *Journal of New Zealand Grasslands*, 149-156.
- Hill, M. J., & Luck, R. (1991). The effect of temperature on germination and seedling growth of temperate perennial pasture legumes. *Australian journal of agricultural research*, 42(1), 175-189.
- Hill, M. J., Pearson, C. J., & Kirby, A. C. (1985). Germination and seedling growth of prairie grass, tall fescue and Italian ryegrass at different temperatures. *Australian journal of agricultural research*, 36(1), 13-24.
- Hirata, M., & Pakiding, W. (2002). Dynamics in tiller weight and its association with herbage mass and tiller density in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture under cattle grazing. *Tropical grasslands*, 36(1), 24-32.
- Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2-4), 288-302.
- INASE (2019). Registro nacional de cultivos y registro de propiedad de los cultivos. Montevideo.
<https://www.inase.uy/Files/Docs/99DA1B3652570EE5.xlsx>
- Johnson, J. M. F., Franzluebbers, A. J., Weyers, S. L., & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental pollution*, 150(1), 107-124.
- Kemp, P. D., Tavakoli, H., & Hodgson, J. (2001, January). Physiological and morphological responses of tall fescue and perennial ryegrass to leaf

- defoliation. In *10th Australian Agronomy Conference'. Hobart, Tasmania. (Ed. ASo Agronomy).*
- Kidson, R., & Westoby, M. (2000). Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia*, 125(1), 11-17.
- Kjeldahl J. (1965). In Black CA (Eds.). Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy.
- Langer, R. H. M. (1981). *Las pasturas y sus plantas Pastures and pasture plants* (No. 633.2 L276E). Hemisferio Sur.
- Lemaire G., Hodgson J., Moraes A. D., Carvalho P. D. F., & Nabinger C. (2000). Grassland ecophysiology and grazing ecology. CABI. 442 p.
- Lemaire, G., & Chapman, D. (1996). Tissue flows in grazed plant communities.
- Lemaire, G. (1988, July). Sward dynamics under different management programmes. In *12. General Meeting of the European Grassland Federation*. Wicklow Press.
- Lonati, M., Moot, D. J., Aceto, P., Cavallero, A., & Lucas, R. J. (2009). Thermal time requirements for germination, emergence and seedling development of adventive legume and grass species. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52(1), 17-29.
- Marone, L. (1988). Acerca de la conservación de la naturaleza y la teoría ecológico-evolutiva. *Revista Chilena de Historia Natural*, 61, 11-18.
- Matthew, C., Agnusdei, M. G., Assuero, S. G., Sbrissia, A. F., Scheneiter, O., & Da Silva, S. C. (2020). State of knowledge in tiller dynamics.
- Mazzanti, A., Lemaire, G., & Gastal, F. (1994). The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and forage Science*, 49(2), 111-120.
- McKell, C. M., Duncan, C. & Muller, C. H. (1969). Competitive relationships of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *Ecology*, 50(4), 653-657.

- Molitero, E., Saldanha, S., & Rucks, F. (2001). Establecimiento y producción inicial de mezclas de dos cultivares de *Bromus auleticus* y uno de *Festuca arundinacea* con leguminosas. *Los recursos fitogenéticos del género Bromus en el Cono Sur. Montevideo: PROCISUR*, 87-95.
- Molitero, E. A. (2000). Caracterización de la producción inicial de diversas mezclas forrajeras. *Agrociencia-Sitio en Reparación*, 4(1), 31-49.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 277-294.
- Nabinger, C. (1998). Princípios de manejo e produtividade de pastagens. *Ciclo de palestras em produção e manejo de bovinos de corte*, 3(1998), 54-107.
- Parsons, A. J., & Chapman, D. F. (2000). The principles of pasture growth and utilization. *Grass, its production and utilization. London: Blackwell Science*, 31-89.
- Peacock, J. M. (1976). Temperature and leaf growth in four grass species. *Journal of Applied Ecology*, 13, 225-232.
- Pecetti, L., Romani, M., Carroni, A. M., Annicchiarico, P., & Piano, E. (2007). The effect of endophyte infection on persistence of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) populations in two climatically contrasting Italian locations. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(9), 893-899.
- Pérez, C., Arias, A., & Altier, N. (2010). Enfermedades y plagas en pasturas. Manejo de enfermedades de implantación en leguminosas forrajeras, con especial énfasis en el uso de agentes de biocontrol. *Enfermedades y plagas en pasturas. Montevideo, INIA*, 111-122.
- Praat, J. P., Ritchie, W. R., Baker, C. J., & Hodgson, J. (1996). Target populations for direct-drilled ryegrass and tall fescue. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* (pp. 77-81).

- Rebuffo, M. (2000). Implantación. *Tecnología en alfalfa. INIA, La Estanzuela. Uruguay. Bol. Div.* (69), 29-36.
- Robson, M. J., Ryle, G. J. A., & Woledge, J. (1988). The grass plant—its form and function. In *The grass crop* (pp. 25-83). Springer, Dordrecht.
- Ryle, G. J. A. (1970). Partition of assimilates in an annual and a perennial grass. *Journal of Applied Ecology*, 217-227.
- Sainju, U. M., Allen, B. L., Lenssen, A. W., & Ghimire, R. P. (2017). Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. *Field Crops Research*, 210, 183-191.
- Santos, G. T., Zanini, G. D., Padilha, D. A., & Sbrissia, A. F. (2016). A grazing height target to minimize tiller stem elongation rate in annual ryegrass swards. *Ciência Rural*, 46, 169-175.
- Scheneiter, O., & Améndola, C. (2012). Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management. *Grass and Forage Science*, 67(3), 426-436.
- Silbury, J. H. (1970). Leaf growth in pasture grasses. *Tropical grasslands*, 4(1), 17-36.
- Sinclair, T. R., & Muchow, R. C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in agronomy*, 65, 215-265.
- Skinner, R. H., & Nelson, C. J. (1994). Role of leaf appearance rate and the coleoptile tiller in regulating production. *Crop Science*, 34(1), 71-75.
- Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.

- Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., & Qin, D. (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). *Cambridge university press*.
- Suttie, J. M., Reynolds, S. G., & Batello, C. (Eds.). (2005). Grasslands of the World (Vol. 34). *Food & Agriculture Organization (FAO)*.
- Tallowin, J. R. B., Brookman, S. K. E., & Santos, G. L. (1995). Leaf growth and utilization in four grass species under steady state continuous grazing. *The Journal of Agricultural Science*, 124(3), 403-417.
- West, C. P., Volaire, F., & Lelievre, F. (2006). Tiller survival after drought of 'Grasslands Flecha' tall fescue as influenced by endophyte. *NZGA: Research and Practice Series*, 13, 267-269.
- Whalley, R. D. B., McKell, C. M., & Green, L. R. (1966). Seedling vigor and the early nonphotosynthetic stage of seedling growth in grasses 1. *Crop Science*, 6(2), 147-150.
- Zanoniani, R., Favre, J. G., Cadenazzi, M., Nabinger, C., & Boggiano, P. (2018). Dinámica de la producción espacial temporal de dos pasturas plantadas con especies perennes. *Latin American Archives of Animal Production*, 26(3-4).
- Zanoniani R., & Lattanzi F. (2017). Rol de las pasturas cultivadas en sistemas de producción basados en campo natural. En: Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur-Grupo Campos (24.^a, 2017, Tacuarembó). Retomando un camino de oportunidades para una producción ganadera sustentable. Montevideo, INIA. 24-28.
- Zanoniani, R. A. (2010). Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia Uruguay*, 14(3), 26-30.
- Zanoniani R., Ducamp F., & Bruni M. (2003). Utilización de verdeos de invierno en sistemas de producción animal. UEDY. Cartilla no. 17. 1-9. Accesed Ago. 2019.

<http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart17/Cart17.htm>

Zarza, R., Rebuffo, M., La Manna, A., & Balzarini, M. (2018). Plant density in red clover (*Trifolium pratense* L.) pastures as an early predictor of forage production. *European Journal of Agronomy*, 101, 193-199.