



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Análisis del impacto de la mezcla forrajera, la carga animal y las condiciones ambientales sobre la productividad de pasturas sembradas

Ramiro Alberto Zanoniani Correa

Doctorado en Ciencias Agrarias

Abril, 2026

**Análisis del impacto de la mezcla
forrajera, la carga animal y las
condiciones ambientales sobre la
productividad de pasturas sembradas**

Ramiro Alberto Zanoniani Correa

Doctorado en Ciencias Agrarias

Abril, 2026

Esta tesis de doctorado se distribuye bajo licencia

Creative Commons **reconocimiento – no comercial – sin obra derivada.**



Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (PhD.) Nicolás Caram, Ing. Agr. (Dr) Carlos Nabinger e Ing. Agr. (Dr.) Rodrigo Zarza, el 24 de abril del 2026. Autor: Ing. Agr. (Esp. MSc.) Ramiro A. Zanoniani. Director: Ing. Agr. (Dr.) Pablo Boggiano. Codirectora: Ing. Agr. (Dra.) Mónica Cadenazzi.

Dedico este trabajo a Marcela, Martín, Agustín y Rocío. También al Morsa,
Ana y Emilia.

Agradecimientos

A Pablo y Javier, por su amistad, apoyo y sugerencias. A Mónica, por sus orientaciones estadísticas. A Daniel Formoso, por sus enseñanzas agronómicas y metodológicas. A Ángel, Felipe, Nicolás, Silvana, Sylvia y María Elena, por su apoyo incondicional. A Moliterno, por sus enseñanzas. A Santiñaque, por sus siempre presentes consejos. A todos los estudiantes y especialmente mis tesisas, que siempre están ahí. Y especialmente a Papate, una persona especial cuya sabiduría, humildad y bondad me continúa acompañando en las buenas y en las otras.

Resumen

Se realizaron dos experimentos para analizar la productividad de pasturas sembradas. En uno se evaluaron dos mezclas, *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens* (FBL) y otra *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* (DA) a una dotación de cuatro novillos por hectárea (ha^{-1}). El segundo experimento evaluó la mezcla FBL manejada a tres dotaciones (dos, cuatro y seis novillos ha^{-1}). Se utilizó un diseño con tres bloques completos al azar (DBCA), las variables fueron analizadas mediante análisis de varianza (Anova) y árboles de clasificación y decisión (CART) con el paquete estadístico R. En el primer experimento no existió diferencia en la producción de materia seca (MS) pero si en su distribución, DA alcanzó mayores producciones en primavera/verano/otoño y FBL las menores en verano/otoño. Ambas mezclas presentaron gran capacidad de resiliencia recuperando su contribución de biomasa a cerca de 90 % en invierno/primavera. Festuca presentó mayor persistencia y contribución de 60 % en el cuarto año; mientras que Alfalfa demostró mayor estabilidad. Las gramíneas anuales estivales fueron las principales malezas, aportando biomasa en el periodo de menor productividad de FBL. Se concluye que fue posible lograr altas producciones de forraje durante 3,5 años y que utilizar ambas mezclas separadas permitiría mejorar la producción estacional. Del análisis de producción de forraje y carne (PV) mediante CART surge que, independientemente de la edad/pastura y dotación, la respuesta vegetal y animal se relaciona con la estación. La primavera presentó la mayor producción primaria y secundaria, explicada inicialmente por la alta radiación incidente, precipitaciones de 400 mm y hasta 24 °C. Con dichas condiciones, la variable de manejo que determinó las mayores producciones fue el forraje desaparecido, demostrando la importancia de la calidad fotosintética del forraje remanente. En verano, otoño e invierno, las mayores de producciones de MS se alcanzaron con disponibles del orden de 2000 kg/ha MS y los mínimos con situaciones extremas de 700 kg/ha MS (deficiencias hídricas). La producción de carne presentó similar comportamiento que el forraje, siendo la primavera la estación de mayor productividad: cargas cercanas a 1150 kg/ha de PV permitieron lograr producciones del orden de los 485 kg/ha de PV.

Palabras clave: mezclas forrajeras, árbol de decisión, modelos de producción, producción forraje y carne

Summary

To evaluate the animal and plant productions, two experiments were conducted. In one experiment, two mixtures were evaluated over a four year period: a mixture *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* and *Trifolium repens* (FBL), and another *Dactylis glomerata* and *Medicago sativa* (DA), managed with 4 steers. In the second experiment, a mixture of *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* and *Trifolium repens* was evaluated with 2, 4 or 6 steers ha⁻¹. A randomized block design (DBCA) was used with three blocks and the variables were analysed using Anova and classification and decision trees (CART) with the R statistical package. In the first experiment, distinct seasonal distributions were detected in the first two years. DA mixture achieved the highest yields in the spring/summer/fall period; while FBL mixture showed the lowest yields of the sown species in the summer/fall period. Both mixtures showed great resilience in the winter/spring period, recovering their biomass contribution to nearly 90% of the total each year. *Festuca* was the most persistent species, achieving a 60% contribution in the fourth year; while alfalfa was the most stable legume. The annual C4 grasses were the main constituent species of the summer weeds, contributing biomass during the period of lowest productivity of the FBL. It is concluded that high forage production was achieved for 3.5 years and that the use of both mixtures would improve the seasonal distribution of forage in the production systems. The results of the decision trees showed, the greatest plant and animal response was related to the season of the year. Spring presented the highest primary and secondary production, which can be explained by the initially high incident radiation, rainfall of 400 mm and temperatures up to 24 °C. Under these conditions, the management variable that determined the highest forage production was forage disappearance, indicating that it is highly related to the photosynthetic quality of the remaining forage. During summer, autumn and Winter, the highest forage production was reached with available reaching 2000 kg/ha DM, while the lowest was 700 kg/ha DM under extreme situations. Meat production showed similar behaviour to forage production, with spring being the season of highest productivity, with loads close to 1150 kg/ha of DM allowing production of around 485 kg/ha of DM.

Keywords: sown pasture, decision tree, production models, forage and meat production

Tabla de contenido

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	IX
TABLA DE CONTENIDO.....	XI
1. <u>Introducción</u>.....	9
2. <u>Artículos científicos</u>.....	15
2.1 “Dinámica de la producción espacio temporal de dos pasturas sembradas con especies perennes”	16
2.2 “Principales factores biológicos y de manejo que afectan la productividad primaria y secundaria de pasturas sembradas en un clima sub-tropical húmedo”	30
3. <u>Discusión y conclusiones</u>.....	45
4. <u>Bibliografía</u>.....	46

1. Introducción

La producción agropecuaria en el Uruguay, tiene desde el punto de vista económico, una gran importancia, ya que representa, promedialmente, el 8,7 % del producto bruto interno (PBI) total, donde la producción pecuaria corresponde al 50 %, la agricultura al 43 % y la silvicultura al 7 % (DIEA, MGAP, 2014). El avance de la agricultura de secano, en particular la soja y la forestación es un tema que genera preocupaciones en la cadena cárnica, ya que estas actividades se han transformado en los últimos años en un creciente competidor por la tierra. Como consecuencia, en los últimos diez años, los precios de compra-venta y de arrendamiento se incrementaron y la superficie dedicada al pastoreo se redujo. Frente a esta reducción de superficie de pastoreo, es necesaria la incorporación de alternativas que permitan una mayor producción de forraje, así como una mayor eficiencia en su utilización para mantener o aumentar los niveles de producción en el sector. La producción pecuaria del país tiene como base forrajera fundamental al campo natural y además otras alternativas que pueden lograr mayores beneficios productivos y económicos. En estos sistemas más intensivos de recursos, es muy común el uso de mezclas forrajeras tipo multipropósito formadas por tres o cuatro especies complementarias, que intentan obtener una mejor calidad y distribución estacional de forraje. Estas alternativas suponen la sustitución de la vegetación natural presente, el agregado de nutrientes y la siembra de especies de gramíneas y leguminosas introducidas, la mayoría de ellas, desde otras regiones del mundo. Sin embargo, la falta de sustentabilidad de las pasturas sembradas se presenta como un serio problema en los países del Cono Sur, así como también en gran parte del mundo. Actualmente, es poco común el uso de gramíneas perennes estivales e invernales nativas, debido posiblemente a la escasa disponibilidad de semillas en el mercado uruguayo (Inase, 2014). Esta situación no solo afecta la producción secundaria, sino que no permite mejorar la persistencia y productividad de la pastura, ya que no se logra disminuir el establecimiento de las malezas en el verano (Tejera et al., 2016; Zanoniani, 2010). Esto trae como consecuencia una sustitución importante de praderas plurianuales por verdeos invernales y estivales (DIEA, 2014), que no sólo encarecen el sistema, sino que

determinan un uso más intensivo del suelo y mayores pérdidas por erosión y uso de biocidas (Frank, 2006). Las pasturas son la fuente de alimento disponible más económica para la alimentación de los rumiantes (Chilibroste et al., 2010, Leuscher et al., 2014), por lo que es muy importante conocer cómo se maximiza la producción de forraje, cómo utilizarlo mejor y cómo se alcanzan buenas eficiencias de conversión en producto animal (Zanoniani, 2010). Además, esta mayor productividad de las pasturas y de los animales determina no solo menores emisiones de gases de tipo invernadero, sino también disminuciones en los excesos de nitrógeno y fósforo (Lizarralde y Astigarraga, 2014).

La producción de pasturas consiste esencialmente en la conversión mediante la energía solar del CO₂ atmosférico, nutrientes y agua en forraje y en carbono aportado al suelo (Briske y Heitschmidt, 1991). En nuestro país, la productividad principal sobre el suelo es menos de 3000 kg/ha/año de materia seca aérea en muchas pasturas, de 70 kg/ha de peso vivo (PV) en establecimientos con base de campo natural (Boggiano et al., 2005) y de 200 kg/ha de PV con base en pasturas sembradas (Zanoniani, 2010). Esto determina que el camino a seguir para incrementar la productividad debe pasar por tener las especies de mayor potencial en la pastura durante la mayor cantidad de tiempo a las máximas tasas fotosintéticas a fin de lograr una alta conversión de la energía solar bajo los regímenes de luz y temperatura de los ambientes productivos y así incrementar la producción de forraje, de producto animal y la captación e incorporación de carbono al suelo (Cooper y Tainton, 1968). Esta mayor producción disminuye la emisión de gases con efecto invernadero, lo que incrementa la sustentabilidad de todo el proceso productivo (Conant et al., 2001).

Por otro lado, como lo destacan Seneviratne et al. (2021), se prevé que el cambio climático y la creciente concentración de gases de efecto invernadero eleven las temperaturas superficiales globales y aumenten potencialmente la intensidad y la variabilidad de las precipitaciones estacionales y las sequías. Esto determina la necesidad de replantearse la utilización de especies solo basadas en altos potenciales de producción, por la combinación de estos atributos sumados a una mejor estabilidad en condiciones no apropiadas como una deficiencia hídrica. La mezcla forrajera es determinante en la producción sostenible, dado que el objetivo de las

especies que la componen es que aporten sus características sobresalientes y, por lo tanto, logren una mayor productividad, plasticidad y valor nutritivo (Carámbula, 2010). También Ordoñez et al. (2024) destacan la ventaja de la siembra de pasturas multiespecies siempre que estén compuestas por especies con distintas respuestas a su capacidad de evitar la deshidratación o su profundidad radicular. En este sentido, García Favre et al. (2023), comparando la mezcla de *Bromus valdivianus* y *Lolium perenne* frente a las mismas especies sembradas puras, encontraron que la producción total de forraje fue un 15 % mayor en la mezcla debido principalmente al aumento de la producción en primavera y verano. En primavera observaron un crecimiento complementario entre las especies, mientras que, durante el verano/principios del otoño, la producción de mezcla se debió a la mayor participación de *Bromus*. Por otro lado, Scheneiter (2005) indica que, cuando dos o más especies forrajeras se siembran juntas, la competencia es el fenómeno más frecuente en la relación que se puede establecer entre ellas, o bien la complementación, que es más esporádica. En términos de producción anual y estacional de forraje, la respuesta que expresa una mezcla dependerá de las especies sembradas y del ambiente que experimenta durante su crecimiento y desarrollo. Adicionalmente a esto, el efecto del ambiente puede ser modificado mediante el efecto de la defoliación y el uso de insumos (fertilizantes, herbicidas y riego), con lo cual también se puede controlar en parte la composición y la producción de pasturas y lograr un equilibrio dinámico en el punto más adecuado al sistema de producción. Un ejemplo de este comportamiento son los estudios realizados por Zuo et al. (2010), que muestran que la mezcla de *Dactylis glomerata* (*Dactylis*) con *Medicago sativa* (alfalfa) produce más forraje que la siembra de cada uno como monocultivo. Además, aumenta la utilización de la pastura, enriquece la estructura de la comunidad e incrementa los beneficios económicos y ecológicos. Si bien a la larga la alfalfa puede terminar dominando al *Dactylis* y generar una pastura desbalanceada, su mayor aporte de materia seca radicular y de nitrógeno, en comparación con la siembra de *Dactylis* como monocultivo, permite reducir la utilización de este nutriente en otros cultivos de la rotación (Jankowska et al., 2007). Por otro lado, cuando la alfalfa aparece asociada a gramíneas perennes en pasturas mezclas, se mejora la estructura

de los suelos, dado que estas últimas tienden a dominar a largo plazo y poseen un sistema radicular ramificado fomentado aún más por el nitrógeno aportado por la alfalfa. Esto determina un fuerte anclaje y fijación de las partículas del suelo y evita su disgregación y reduce el riesgo potencial de erosión (Viglizzo, 1995). Además impulsa procesos de retroalimentación ambiental que impactan en la comunidad de plantas (Bardgett et al., 2014). También Llovet et al. (2024), estudiando los efectos de pasturas de alfalfa, festuca y achicoria puras y en mezcla, destacan que las praderas mixtas merecen atención como una valiosa solución natural que puede optimizar la gestión del N (al aumentar la entrada de N_2 mediante la fijación), así como el uso del agua.

El manejo del pastoreo es otro de los factores de fundamental importancia en determinar la productividad de las pasturas, ya que puede estimular o reducir la producción de forraje; por lo que resulta necesario identificar combinaciones en intensidad y frecuencia de defoliación para los cuales exista una adecuada productividad sin deteriorarlas (Nabinger, 2007). La respuesta de plantas individuales a la intensidad y frecuencia de defoliación involucra procesos en la interfase planta-animal: en el corto plazo ocurren respuestas fisiológicas asociadas a la reducción de carbono suministrado para las plantas, resultante de la pérdida de parte del área fotosintética; y en el largo plazo existen respuestas morfológicas que permiten a la planta adaptar su arquitectura y escapar a la defoliación (Briske, 1996). La interrelación entre la pastura y el rumiante en pastoreo es un proceso de doble vía: por un lado, los aspectos físico-químicos y morfológicos de la pastura influyen en el material ingerido por el animal; por otro, el forraje removido determina la cantidad y tipo de material remanente que a la postre tiene una influencia determinante en la capacidad de rebrote de la pastura (Lucas, 1963). El efecto fisiológico de la defoliación en el crecimiento y la tasa de expansión de hojas ha sido considerado principalmente como un resultado de una disminución en la fotosíntesis de la planta, provocada por la remoción de área foliar, y, consecuentemente, de una mayor dependencia de reservas de carbohidratos (Nabinger, 1998; Gastal et al., 2004). Para lograr altas tasas de acumulación de materia seca, las defoliaciones intensas deben asociarse a períodos de rebrote medios a largos, mientras que defoliaciones menos

severas requieren menor duración del período de rebrote (Parga y Nolberto, 2006). Fulkerson y Slack (1995), trabajando con *Lolium perenne*, encontraron que el rebrote luego del pastoreo frecuente fue solo el 65 % del rebrote del menos frecuente, asociado al más bajo contenido de carbohidratos solubles en el forraje remanente y menor número y peso de macollos. El rebrote de las plantas cuyo nivel de carbohidratos solubles había sido disminuido por la mayor frecuencia y pastoreados a 2 cm de altura fue significativamente menor que el de las plantas pastoreadas a 5 y 12 cm. Si la intensidad de pastoreo es tal que provoca la disminución de la producción de fotoasimilados, no se destina lo suficiente para mantener el sistema radicular activo, retardando su crecimiento, con lo cual se perjudica el crecimiento de toda la planta. Además, independientemente de la fertilización, las defoliaciones muy frecuentes y repetidas se relacionaron con la disminución de aproximadamente el 43 % de la biomasa aérea y con reducciones de aproximadamente el 44 % de los macollos vegetativos, que se asocian con la ocupación horizontal del espacio y su potencial persistencia (Gatti et al., 2016). En cambio, altas asignaciones (9,5 % PV) implican escasa remoción del estrato alto de la pastura impidiendo así el pasaje de luz a los estratos inferiores, lo cual afecta el stand de plantas y, por ende, la producción futura de la pradera (Gastal y Lemaire, 2015), por lo que se debe encontrar el punto de equilibrio que permita obtener buenas producciones de carne y forraje sostenidas en el tiempo.

Una baja producción de carne puede ser consecuencia de una baja calidad o cantidad de forraje consumido debido a un elevado número de animales por unidad de superficie; pero también puede aparecer en condiciones de forraje abundante y alta calidad pastoreado a una baja carga (Elizalde, 1999). Por lo tanto, la producción animal es la consecuencia de la producción de forraje, eficiencia de cosecha, calidad del alimento y eficiencia con que ese alimento es convertido en producto animal (Gómez, 1988). En tal sentido, el consumo y selectividad animal bajo pastoreo tiene una importancia fundamental en determinar la productividad y la eficiencia global de los sistemas pastoriles (Carvalho et al., 2011; Hodgson, 1990). En cuanto a la ganancia por hectárea, la mayoría de los investigadores coinciden en que la relación entre la producción por hectárea y el aumento en la presión de pastoreo es curvilínea,

con respuesta decreciente en ganancia de peso vivo (PV) frente a nuevos incrementos en la presión de pastoreo (Mott, 1960; Wade y Carvalho, 2000).

Si bien existe, a nivel de la investigación, una gran cantidad de información disponible, ésta generalmente es aislada y de corto plazo y no permite cuantificar el impacto sobre la producción cuando es aplicada en conjunto, como tampoco si dichas limitantes se mantienen a largo plazo o interaccionan con otras variables que incrementan o amortiguan las deficiencias, por lo que se vuelve imprescindible un análisis integrando varias variables y que evalúe toda la vida útil de las pasturas sembradas.

El objetivo general del presente trabajo es evaluar la productividad de dos mezclas forrajeras perennes de distinta composición manejadas bajo diferentes cargas animales a lo largo de toda su vida útil y cuantificar el impacto de los efectos climáticos en la misma. Integrar la información obtenida en modelos simples que permitan interpretar los efectos combinados de las variables estudiadas y posibilite la toma de decisiones a nivel de producción.

Los objetivos específicos son:

- 1) Evaluar el efecto de la mezcla forrajera sobre la producción de forraje, composición botánica y producción de carne.
- 2) Evaluar los efectos de la intensidad de pastoreo definida por la dotación, sobre la producción de forraje, composición botánica y producción de carne.
- 3) Evaluar el efecto combinado de la mezcla forrajera e intensidad de pastoreo, sobre la productividad de pasturas sembradas, y sus efectos residuales sobre la rotación agrícola forrajera.
- 4) Evaluar el efecto ambiental sobre las diferentes mezclas y cargas.
- 5) Generar modelos conceptuales que permitan la comprensión y toma de decisiones a nivel predial.

2. Artículos científicos

2.1 Dinámica de la producción espacio temporal de dos pasturas sembradas con especies perennes

R. Zanoniani¹, J. García-Favre¹, M. Cadenazzi², C. Nabinger³ y P. Boggiano¹

¹ Dpto. Prod. Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. CP 60000

² Dpto. Biometría, Estadísticas y Cómputos, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. CP 60000

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia.



Dinámica de la producción espacial y temporal de dos pasturas sembradas con especies perennes

Ramiro Zanoniani, Javier García Favre, Mónica Cadenazzi, Carlos Nabinger, Pablo Boggiano

Departamento de Producción Animal y Pasturas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Uruguay

Dynamics of the spatial and temporal production of two pastures planted with perennial species

Abstract: The aim of the present work was to evaluate the forage production, botanical composition and stability of two perennial forage mixtures under grazing during a period of four years. The study was carried out in the Paysandú, Uruguay, 32°23'27.1" south latitude and 58°03'41.76" west longitude (Paysandú, Uruguay). Two forage mixtures were evaluated: a) *Festuca arundinacea* (fescue) cv Tacuabe, *Trifolium repens* (white clover) cv Zapicán and *Lotus corniculatus* (birdsfoot trefoil) cv San Gabriel, (FBL) b) *Dactylis glomerata* (cocksfoot) cv INIA Perseo and *Medicago sativa* (lucerne) cv Chaná, (DA). A Randomized Complete Block design with four replicates was used. The total forage production of both forage mixtures did not differ, however different seasonal distribution in the first two years was detected. The DA mixture reached higher spring / summer / autumn yields ($P < 0.05$); while in FBL the lowest yields of sown species were in the summer / autumn period. Both mixtures showed a great capacity of resilience in the winter / spring period since all the years they recovered 90% of total biomass contribution. Fescue presented the highest persistence achieving a contribution of 60% in the fourth year; while lucerne was the most stable legume. Annual C4 grasses were the main species of the summer weed invasion, contributing with large biomass in the period of lower productivity of the FBL mixture. It is concluded that it was possible to achieve high forage yields in four years pastures. The utilization of both mixtures would improve seasonal distribution in production systems.

Key words: sustainability, grazing, sown pasture

Resumen. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de forraje, composición botánica y estabilidad de dos mezclas forrajeras perennes bajo pastoreo durante un periodo de cuatro años. El estudio se realizó en Paysandú, Uruguay, 32°23'27.1" de latitud sur y 58°03'41.76" de longitud oeste. Se evaluaron dos mezclas forrajeras, a) *Festuca arundinacea* (fescua) cv Tacuabe, *Trifolium repens* (trébol) cv Zapicán y *Lotus corniculatus* (lotus) cv San Gabriel, (FBL) b) *Dactylis glomerata* (dactylis) cv INIA Perseo y *Medicago sativa* (alfalfa) cv Chaná, (DA). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La producción total de forraje de ambas mezclas forrajeras no se diferenció, aunque se detectó distinta distribución estacional en los dos primeros años. La mezcla DA alcanzó mayores producciones en el periodo primavera/verano/otoño ($P < 0.05$); mientras que en FBL las menores producciones de las especies sembradas fueron en el periodo verano/otoño. Ambas mezclas mostraron una gran capacidad de resiliencia en el periodo invierno/primavera dado que todos los años recuperaron su contribución de biomasa a cerca de 90 % del total. Fescua fue la especie que presentó mayor persistencia logrando una contribución de 60 % en el cuarto año; mientras que alfalfa fue la leguminosa con mayor estabilidad. Las gramíneas C4 anuales estivales fueron las principales especies constituyentes del enmalezamiento estival, aportando biomasa en el periodo de menor productividad de la mezcla FBL. Se concluye que fue posible lograr altas producciones de forraje durante 3,5 años y que la utilización de ambas mezclas permitiría mejorar la distribución estacional de forraje en los sistemas de producción.

Palabras claves: estabilidad productiva, pastoreo, praderas cultivadas

Recibido: 2017-12-07; Aceptado: 2018-10-05

Autor para la correspondencia: raztoto@gmail.com

Introducción

La base productiva del sector agropecuario constituye una de las actividades más importantes para la economía uruguaya, representando en promedio 8.7% del PBI, dentro del cual la producción pecuaria corresponde a 50%, la agricultura 43% y la silvicultura 7% (DIEA, 2014). Dentro de la producción pecuaria, la lechería y ganadería de carne exportan casi 70 % de su producción.

El avance de la agricultura de secano en particular la soja, y en menor medida la forestación, se transformaron en la última década en crecientes competidores por la tierra, y en consecuencia los precios de compra/venta y de arrendamiento se incrementaron y la superficie dedicada al pastoreo se redujo (DIEA, 2014). La ganadería uruguaya ante estos cambios ha incrementado sostenidamente la productividad, pero basada en un incremento significativo en el uso de concentrados y reservas de forraje, mientras que la cosecha directa de forraje por parte de los animales ha permanecido sin cambios significativos (Chilibroste et al., 2012).

Las pasturas son la fuente de alimento disponible más económica para la alimentación de los rumiantes (Dillon et al., 2005; Chilibroste et al., 2010; Leuscher et al., 2014). Por tanto es necesario conocer cómo se maximiza la producción y utilización de forraje para alcanzar altas eficiencias de conversión en producto animal (Zanoniani, 2010); esto es aún más importante cuando se utilizan pasturas sembradas, dado que muchas especies pueden tener una baja adaptación a las condiciones ambientales (Tejera, 2016). Además, esta mayor productividad de las pasturas y de los animales, determina no sólo menores emisiones de gases de tipo invernadero, sino también disminuciones en los excesos de nitrógeno y fósforo (Lizarralde y Astigarraga, 2014).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la producción, composición botánica y la dinámica espacio temporal de dos mezclas forrajeras perennes de distinta composición desde la siembra hasta el final de su utilización (3.5 años).

Materiales y Métodos

Lugar y periodo experimental

Para el presente estudio se utilizó información del banco de datos de la Unidad de Pasturas de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni 32°23'27.1" de latitud sur y 58°03'41.76" de longitud oeste (Paysandú, Uruguay). Se evaluó la productividad de dos mezclas forrajeras, a) *Festuca arundinacea* (festuca) cv Tacuabe, *Trifolium repens* (trébol) cv Zapican y *Lotus corniculatus* (lotus) cv San Gabriel, (FBL) b) *Dactylis glomerata* (dactylis) cv INIA Perseo y *Medicago sativa* (alfalfa) cv Chaná, (DA), desde su siembra (15/5/2011) hasta el final de su vida útil (20/9/2015). Las mezclas fueron sembradas bajo forma de siembra directa, las gramíneas en línea y las leguminosas al voleo, siendo el cultivo antecesor sorgo forrajero pastoreado hasta abril del 2011. Los suelos son desarrollados sobre la formación geológica Fray Bentos, son Brunosoles Éutricos Típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de textura limo-arcillosos y Solonetz Solodizados Melánicos de textura franca (Altamirano, 1976). El suelo del área experimental presentó nivel inicial de P₂O₅ de 12 ppm, 3.2 % MO y 5.7 de pH. La fertilización en el primer año fue con 150 kg/ha de 07:40:00 a la siembra y dos aplicaciones de 75 kg/ha de urea (46:00:00), en invierno e inicios de

primavera. Las fertilizaciones en el segundo y tercer año fueron con 100 kg/ha de 07:40:00 en otoño y similar cantidad de urea a finales de otoño e invierno. Para controlar malezas de hoja ancha se aplicó a los 90 días postsiembra 1.2 l de 2.4 DB y 0.4 l de Flumetsulan.

Variables determinadas

Materia seca disponible y remanente (kg/ha): Se determinó mediante el método de doble muestreo de Haydock y Shaw (1975), antes de la entrada de los animales a las parcelas para determinar la materia seca presente prepastoreo y al salir de la misma para la materia seca remanente. La materia seca disponible fue calculada como la materia seca presente prepastoreo, más el crecimiento durante el periodo de pastoreo (Campbell, 1966).

Altura del disponible y del remanente en cm: Se registró la altura de la hoja verde más alta que contactó con la regla milimetrada (Barthram, 1986), realizando 60 observaciones por parcela antes y después al ingreso de animales.

Producción de Materia Seca: Se calculó mediante la diferencia entre la materia seca presente y el remanente del pastoreo anterior, ajustándose por los días de crecimiento durante el pastoreo (Campbell,



1966a). El manejo del pastoreo utilizado se basó en trabajos realizados anteriormente que referencian como adecuados para las mezclas evaluadas (Zanoniani, 2010). El mismo fue rotacional, siendo el criterio de ingreso de los animales cuando la pastura alcanzaba 20 cm y el retiro cuando el remanente alcanzaba 5 a 7 cm de remanente.

Composición botánica: Con rectángulos de 20*50 cm y 60 muestras por unidad experimental se estimó el porcentaje de contribución de cada componente a la biomasa total (gramíneas, leguminosas y malezas) a través del método de estimación de área de cobertura (Brown, 1954). Para ajustar la estimación visual de la composición botánica se realizó la separación manual en laboratorio de 60 muestras de las fracciones que componen las pasturas. Luego se procedió al análisis de regresión entre lo estimado por el método de cobertura de área y lo determinado en laboratorio para determinar

veracidad de la estimación. Con esto se calculó los kg/ha producidos por los tres componentes más importantes de las pasturas; gramíneas, leguminosas y malezas.

Estabilidad de los componentes de la mezcla:

Para su determinación se utilizó el índice de Torrsell (1973), que permitió comparar el comportamiento de las fracciones gramíneas, leguminosas y malezas, entre el primer y último año de vida. Además, se calculó la evolución de cada una de las fracciones a lo largo del año.

Condiciones climáticas:

Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática ubicada a 200 m del experimento, se utilizaron los datos de temperatura media, precipitación, evapotranspiración y radiación. En la Figura 1 se visualizan los datos de temperatura, precipitaciones y evapotranspiración para el periodo experimental y para el promedio de la serie del 2002 al 2014.

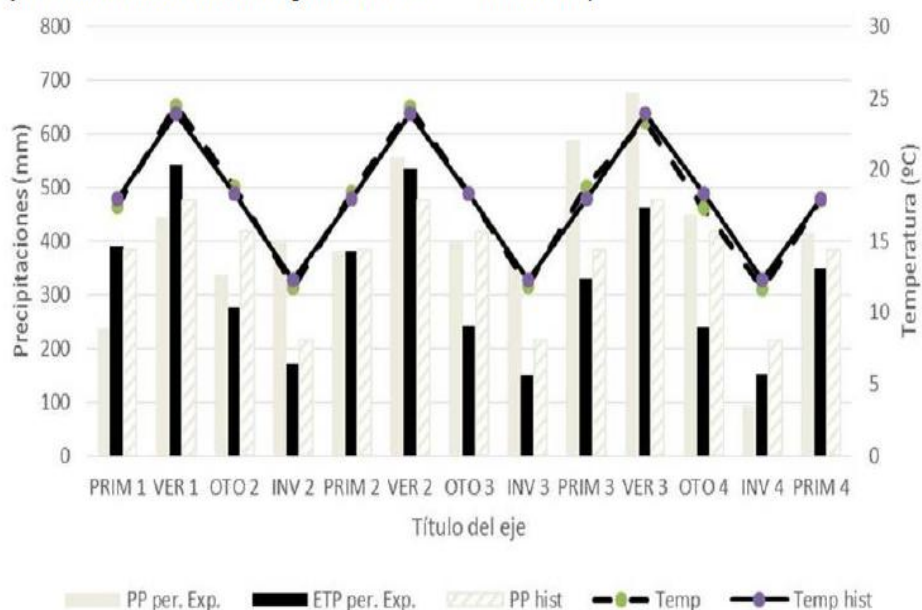


Figura 1. Condiciones climáticas para el periodo de experimental (15 de mayo 2011 al 20/9/2015) y para el promedio de la serie de años que abarca desde 2002 al 2015. Las barras grises de PP per. Exp. indican las precipitaciones del periodo experimental, las barras negras de ETP per. Exp. indica la evapotranspiración del periodo experimental, las barras con franjas inclinadas de PP hist indican las precipitaciones históricas. La línea entrecortada negra Temp indica la temperatura en el periodo experimental y la línea entera negra Temp hist la temperatura de la serie histórica.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La superficie total del experimento abarcó 6.4 ha, siendo el área de cada bloque 1.6 ha y de cada parcela o unidad experimental 0.4 ha. Se organizó la información clasificando las variables por

estación y por año y se realizaron descripciones uni y multivariadas. Se testearon diferentes modelos de análisis optándose por el modelo general lineal dado que presentó los menores valores de AIC y BIC.

Producción anual de materia seca

La producción anual de materia seca se presenta en la

Resultados y Discusión

Tabla 1, donde se puede visualizar la producción de biomasa aérea total (kg/ha MS Total) de las especies sembradas más las no sembradas y la correspondiente a

la fracción de las gramíneas más leguminosas sembradas (kg/ha MS Gram+Leg).

Tabla 1. Producción anual de materia seca total (kg/ha MS Total) y de especies sembradas (kg/ha Gram+Leg) según mezcla forrajera (DA, FBL) y edad de la pastura (Año).

MEZCLA	AÑO	kg/ha MS Total	kg/ha MS Gram+Leg
DA	2	11 077 ^A ± 1842	9 321 ^A ± 1 623
FBL	3	10 964 ^A ± 761	6 706 ^B ± 477
DA	3	9 719 ^A ± 1 013	6 854 ^B ± 1 068
FBL	2	7 647 ^B ± 645	6 206 ^B ± 500
FBL	4	5 382 ^C ± 276	3 505 ^{CD} ± 194
FBL	1	5 369 ^C ± 436	4 212 ^C ± 387
DA	4	4 416 ^C ± 357	2 312 ^D ± 305
DA	1	3 324 ^C ± 497	2 563 ^{CD} ± 649

Los valores son expresados como la media ± Error Estandar (ES). A, B, C, D: Las medias con misma letra dentro de una columna no son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

El total de producción de biomasa aérea acumulada en la de vida útil de la pastura (3.5 años) alcanzó un valor de 29 369 kg/ha MS para la mezcla FBL y 28 536 kg/ha MS para DA, sin diferencias significativas entre las mismas. La fracción sembrada en ambas mezclas superó el 70 %, lo cual es un valor elevado para praderas con más de tres años de vida; permitiendo cumplir el objetivo de finalizar la vida útil con más del 50 % de gramíneas y leguminosas posibilitando la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo Carámbula, 2010). En este sentido Sawchik (2001) menciona que la relación carbono/nitrógeno se incrementa al aumentar la sustitución de las especies sembradas por especies tropicales como *Cynodon dactylon*, perjudicando la productividad de los cultivos sucesores de la rotación. Las menores producciones de biomasa total y de las especies sembrada se corresponden con el primer y cuarto año de vida, lo que se debió en parte al menor período de producción considerado (menor número de estaciones evaluadas) en cada uno de ellos. En el primer año, la reducción del período de evaluación es debido al prolongado período de implantación de las especies perennes de lento desarrollo inicial (Carámbula, 2010) y a que el cultivo antecesor era sorgo forrajero, reconocido por generar condiciones limitantes para la implantación, dado la alta relación Carbono/Nitrógeno del rastrojo, su efecto alelopático y la liberación tardía de la chacra (García Favre et al., 2017). La menor producción en el

cuarto año se debió a que la evaluación incluye hasta la primavera, por la disminución de la producción de las especies sembradas que determinó el ingreso del área del experimento a la rotación forrajera establecida en dicho potrero (secuencia de cultivos/pasturas). Las mayores producciones se dieron en el segundo y tercer año, diferenciándose DA de FBL en la biomasa de especies sembradas. La mejor recuperación frente al stress hídrico del primer verano de DA fue determinante para lograr este mejor comportamiento (Figura 1).

Para cuantificar el grado de relación entre la producción de biomasa total y la de las especies sembradas se realizó la regresión entre ambas variables (Figura 2).

La producción de biomasa total de la pastura fue explicada en 86 % por la producción de la suma de las fracciones gramíneas y leguminosas sembradas (Figura 2). La mayor dispersión que se da por debajo de 1 500 kg MS/ha podría deberse a la menor capacidad de competencia de las especies sembradas a bajas disponibilidades, que permitió un mejor establecimiento de las malezas y por lo tanto más producción de éstas al total de biomasa. En este sentido Lee et al. (2008) encontraron una relación lineal entre las defoliaciones a cinco alturas diferentes (de 2 a 10 cm) y el contenido de carbohidratos de reserva, siendo menor estos últimos al disminuir la altura. Además al ser menor la altura de la pastura el rebrote se realiza a partir de tejidos menos

diferenciados y por lo tanto a menores tasas de crecimiento iniciales (Grant *et al.*, 1981), que determinan menor capacidad de competencia frente a otras especies.

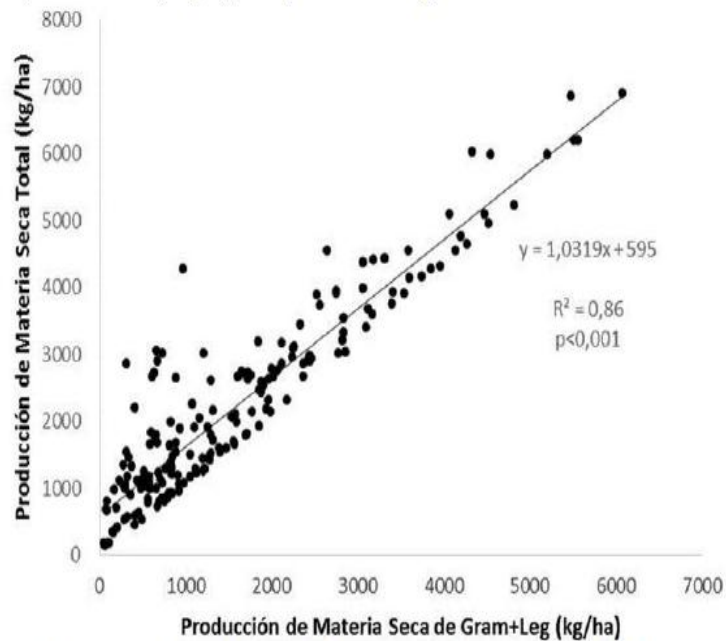


Figura 2. Relación entre la producción de las especies sembradas y el total de biomasa.

Evolución anual de la producción estacional de materia seca

En la figura 3 se visualiza la evolución de la biomasa estacional según el año para cada una de las mezclas, la

misma representa el comportamiento de la fracción pastura más las malezas, aunque se debe tener en cuenta que la suma de las fracciones gramíneas más leguminosas explican más del 85 % la producción de forraje total (Figura 2).

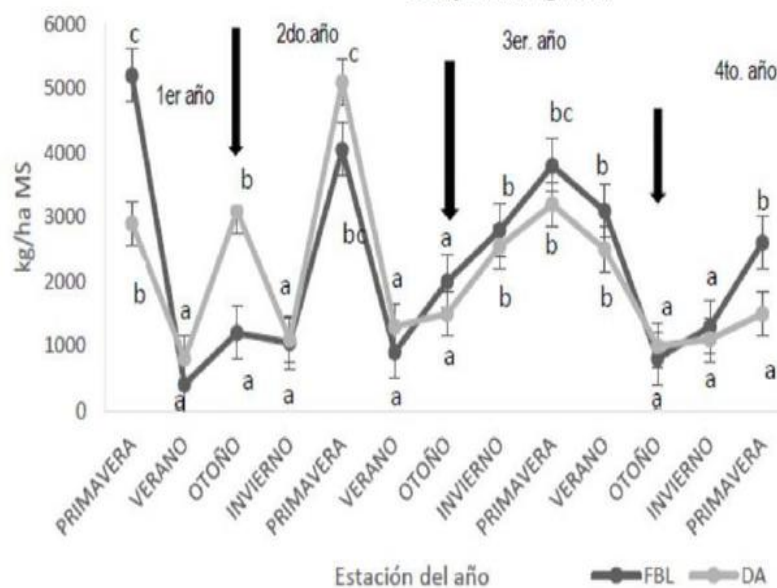


Figura 3. Evolución a través de los años de la producción estacional de materia seca.

Los valores son expresados como la media $\pm$ Error Estándar (ES). A, B, C, D: Las medias con misma letra de subíndice no son diferentes significativamente dentro de cada año ($P < 0.05$).

Primer año. Para el primer año existieron diferencias significativas para la mezcla FBL en la primavera, adjudicable a la composición de la mezcla que incluye dos especies invernales de alta capacidad de crecimiento a bajas temperaturas, lo que permitió un mayor crecimiento durante la etapa de implantación en el invierno y llegar por lo tanto en mejores condiciones a la primavera, lo cual coincide con lo mencionado por Díaz Lago *et al.* (1996) y García (2003). Por otro lado al tratarse de una siembra tardía luego de sorgo forrajero, las bajas temperaturas y exceso hídrico, provocan generalmente infestaciones tempranas de *Pythium* y *Phytophthora*, que ocasionan la podredumbre de la semilla y de las raíces de las plántulas, particularmente en especies con menor capacidad de crecimiento como alfalfa (Altier, 2010); además de disminuir la tasa de implantación y el crecimiento inicial de dactylis, susceptible a bajas temperaturas (Jie Qiu *et al.*, 2007). No obstante, el porcentaje promedio de implantación de las mezclas fue del 23 %, sin diferencias significativas entre ellas, y similares a las mencionadas por García-Favre *et al.* (2017). Si consideramos a cada especie en particular,

se encontró una menor implantación ($p < 0.05$) de dactylis (16 %) que de festuca (23 %) y de alfalfa (19 %) que trébol blanco (29 %), siendo lotus la leguminosa con menor implantación (16 %). Esta mayor implantación y número de plantas de especies invernales como festuca y trébol blanco fueron determinantes en el desempeño de esa mezcla al llegar la primavera y duplicar la producción en relación a DA. Conjuntamente a lo anterior, las condiciones de stress hídrico (0 mm de agua disponible en el suelo) de mediados de primavera en adelante, tampoco permitió expresar el potencial de producción de la alfalfa, cuyas mayores tasas de crecimiento coinciden con dicho periodo. En este sentido Díaz Lago *et al.*, (1996), mencionan a la alfalfa como la especie con mayores tasas de crecimiento en primavera y verano. El prolongado periodo de estrés hídrico determinó que el verano del primer año sea la única estación en la que no se realizó pastoreo en ninguna de las dos mezclas dada la baja acumulación de biomasa; la foto presentada en la Figura 4 da una idea del estado crítico de las pasturas al final de la primavera.



Figura 4. Imagen de la mezcla de *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* DA (izquierda) y *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* FBL (derecha) al final de la primavera del primer año (diciembre 2010)

Al finalizar el verano, a partir del mes de febrero las condiciones climáticas comenzaron a mejorar (19°C temperatura promedio y 60 mm de agua almacenada en el suelo, Figura 1, lo que provocó la recuperación de ambas mezclas y en particular DA, provocado por la alfalfa que contribuyó con 34 % de la producción mientras que dactylis aportó 29 % y las malezas 37 %. En cambio, FBL presentó 60 % de malezas y sólo 16 % de leguminosas (fundamentalmente lotus) y 24 % de festuca. A pesar de esta mejor contribución de DA, no se diferenció de FBL en la cantidad de biomasa total producida en el verano (Figura 2), dado el aporte de las malezas anuales C4 (*Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa colona*) de esta última mezcla, que

ocuparon el suelo descubierto y se promovieron por la falta de competencia y el incremento de nitrógeno en el suelo (Enriquez-Hidalgo *et al.* 2016). Al considerar la producción de las especies sembradas, existió diferencia ($p < 0.05$) en favor de DA, lo que coincide con lo expresado por Zanoniani *et al.* (2015), dada la mayor productividad de *Medicago sativa*. Este comportamiento está determinado por su mayor desarrollo radical, junto a una mayor capacidad de extraer agua del suelo a potenciales osmóticos más bajos (Durand *et al.* 2000) y por la mayor recuperación de la actividad fotosintética, al presentar una apertura estomática más rápida que otros géneros de leguminosas al mejorar las condiciones climáticas (Aparicio-Tejo *et*

al, 1980). A esto, se suma la mayor capacidad de crecimiento y competencia estival de *Dactylis glomerata* frente a *Festuca arundinacea* (García, 1995) asociado a una mayor capacidad de extraer agua del suelo a menores potenciales osmóticos (Volaire y Lelièvre, 2001). Estas características de las especies que componen la mezcla de DA permiten una mejor comportamiento productivo limitando el avance de malezas, lo cual es coincidente con Zanoniani et al. (2015).

Segundo año. El mejor estado de DA a la salida del verano, le permitió diferenciarse durante el otoño y ser más productiva durante todo el año (Figura 1). Al disminuir la temperatura (18 °C) y acercarse al óptimo de crecimiento de las especies templadas sembradas de 15-20°C (Cooper y Tainton, 1968), el balance hídrico positivo (60 mm) y la todavía alta radiación solar, le permitió a la mezcla con mayor cantidad de individuos en crecimiento activo, como lo fue alfalfa y dactylis, capitalizar esas condiciones y diferenciarse de la mezcla FBL, que sufrió en mayor grado la competencia por espacio hasta mediados de otoño por parte de las gramíneas anuales C4. Este comportamiento de festuca es coincidente con trabajos de Boggiano et al. (2014), que encontraron un bajo aporte de esta especie en el verano frente a las gramíneas tropicales y subtropicales. Además este mayor enmalezamiento probablemente enlenteció el rebrote de festuca (Di Marco et al, 2013); y debió haber retrasado la resiembra de trébol blanco y lotus, por una menor penetración de la luz y baja relación Rojo/Rojo Lejano a nivel del suelo (Deregibus et al, 1994; Jankowska, 2007). En el invierno del segundo año no existieron diferencias entre las mezclas, siendo que se esperaba una mayor producción de la mezcla FBL, dada la presencia de especies invernales como trébol blanco más adaptado a condiciones de baja cantidad de luz dado su menor IAF y a la depresión de crecimiento al disminuir la temperatura que presenta la alfalfa (Castonguay et al, 2008, Colino et al, 2005). A eso se suma el mayor crecimiento de invierno temprano del cv Tacuabe de festuca que el Perseo de dactylis (Ayala, 2010). La similar producción de DA podría ser explicada por la capacidad de crecimiento invernal del cultivar de Dactylis (INIA Perseo), que se seleccionó por mayor calidad y floración temprana y por lo tanto mayor producción invernal (Ayala, 2010). Conjuntamente con ello, el cultivar Chaná de alfalfa no posee latencia invernal, lo que le permite producir cuando las condiciones de temperatura y humedad no son extremas, pero a costas de una disminución en su persistencia (Di

Nucci de Bedendo, 2011). Se debe tener en cuenta que en esta estación el exceso hídrico alcanzó los 400 mm, por lo que es de esperar un resentimiento futuro de su producción, dada su menor capacidad de tolerar excesos de humedad, más aún cuando se la utiliza bajo pastoreo (Humphries et al., 2006; Neal et al. 2009).

Al llegar la primavera no existieron diferencias significativas entre las mezclas, aunque si tendencia en favor de la mezcla DA ($P < 0.1$), lo que se corresponde con el mejor estado de la mezcla al comenzar el año, dado fundamentalmente por un mayor aporte de dactylis en la mezcla que se diferenció de festuca. El mayor aporte de trébol blanco y en menor medida el de lotus en la mezcla FBL, permitió que las diferencias no hayan sido mayores.

En el verano y contrariamente a lo esperado, la mezcla DA no se diferenció de FBL, debido a un perjuicio sobre las plantas de alfalfa por el pastoreo con exceso hídrico de invierno (Wang et al., 2016), determinando que sólo aporte el 17 % a la producción de forraje frente al 70 % de Dactylis. Además esta leguminosa presentó una menor proporción en la materia seca disponible que la suma de lotus más trébol blanco ($P < 0.05$), aunque a producciones de biomasa total significativamente inferiores a la de la primavera. Este comportamiento totalmente atípico para una pradera de segundo año compuesta por alfalfa, que concentra su pico de producción en el segundo verano, fue consecuencia de una disminución de la población de plantas, que provocó una mayor cantidad de nitrógeno en el ambiente y una mayor respuesta en primavera y verano por parte de Dactylis. Ambos aspectos son coincidentes con lo mencionado por Jankowska et al. (2007) que encontraron respuesta de esta gramínea cuando es asociada con alfalfa frente a monocultivos, dado por el aporte de nitrógeno a la gramínea por parte de la leguminosa al disminuir su población.

Tercer año. A partir del otoño del tercer año no hubo diferencias significativas entre las mezclas, las cuales se mantienen con altas producciones de forraje y con una proporción promedialmente del 70 % de las especies sembradas. De todas formas es de destacar el aumento en la productividad que se aprecia en la mezcla FBL, lo cual es consecuencia del aporte de festuca que se mostró como el componente que duplicó su proporción durante el invierno y la primavera, promovido por el incremento de fertilidad aportado tanto por el trébol blanco como lotus. Además, el manejo del pastoreo removió gran parte de la cobertura de malezas (gramíneas anuales estivales como *Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa*

colona) a finales del segundo verano y en otoño del tercer año, permitiendo un mayor macollaje e incremento en biomasa de festuca.

Cuarto año. El cuarto año no presentó diferencias entre las mezclas para el invierno; sin embargo, la producción otoñal de las especies sembradas fue significativamente superior en la DA dado el mayor aporte de alfalfa en la mezcla. En el invierno la menor producción de alfalfa determinó que se igualaran las producciones totales y de las especies sembradas, mostrando una disminución de la fracción leguminosa, lo que es coincidente con la menor persistencia que presenta esta fracción (Zuo et al., 2010). En la primavera existieron diferencias significativas entre las mezclas debido a una mayor proporción de especies sembradas en la mezcla de FBL, atribuibles fundamentalmente a festuca.

Composición botánica de la pastura

Variación de la composición botánica

Para analizar la evolución de la contribución de gramíneas, leguminosas y malezas se estudió la trayectoria temporal de los componentes en cada mezcla. Este análisis sigue la metodología descrita por Torsell (1973) en donde a través de triángulos se presentan en cada eje las contribuciones de las especies gramíneas,

leguminosas y maleza, sin considerar las áreas de suelo descubierto (Figura 5).

Del análisis de la figura se destaca el diferente comportamiento de las mezclas en el primer año, mientras que en la mezcla DA la fracción gramínea es la predominante, en la mezcla FBL se destaca la fracción maleza, aunque sin diferenciarse e. En la mezcla DA existió mayor cobertura de dactylis ($p < 0.05$), que es explicada por su mayor vigor inicial en etapas iniciales del establecimiento frente a la alfalfa, cuando crecen bajo condiciones de bajas temperaturas y excesos hídricos (Putnam, 2011). El bajo nivel de malezas ($p < 0.05$) se explica por la mayor competencia de la alfalfa al finalizar el verano frente a especies anuales de metabolismo fotosintético C_4 , como *Brachiaria platyphylla*, *Digitaria* spp., y *Echinochloa* spp (Zanoniani, 2015). En cambio en la mezcla FBL se obtuvo similares porcentajes de leguminosas (30 %) fundamentalmente trébol blanco y festuca (30 %), ambas especies capaces de crecer en condiciones de exceso hídrico y baja temperatura (Simova-Stoilova, 2012; Raeside, 2012). La baja proporción de lotus en la fracción leguminosas, consecuencia de su baja implantación, no pudo evitar el avance de esas malezas (gramíneas anuales C_4), que crecieron desde fin de primavera hasta finales de verano.

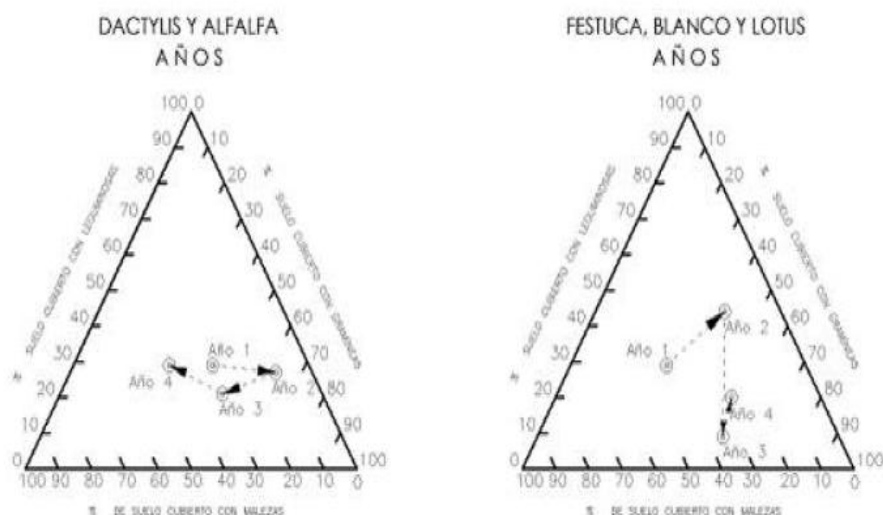


Figura 5. Evolución porcentual de la contribución de los componentes gramínea, leguminosas y malezas de las mezclas *Dactylis glomerata* + *Medicago sativa* (DA) y *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus* (FBL) a través de los años de edad de las pasturas.

El segundo año se caracteriza por la baja proporción de malezas ($P < 0.05$), menor al 15 % en promedio del año. Esto es consecuencia de que las especies ya establecidas, con sistemas aéreos y radicales capaces de utilizar los recursos disponibles y transformarlos en fitomasa son más competitivas frente a especies que todos los años deben reinstalarse, como las malezas anuales que predominan en los primeros años de vida de la pastura (Molitorio, 2000). El comportamiento de las fracciones presenta diferencias con el primer año, en FBL FBL la fracción leguminosa se equipara al aporte de las gramíneas no existiendo diferencias entre ambas ($P < 0.05$). El mayor aporte de trébol blanco con respecto al primer año es producto fundamentalmente de la resiembra natural y por condiciones climáticas favorables, fundamentalmente precipitaciones superiores al promedio en la primavera y verano (Figura 1), lo cual coincide con trabajos de Woodfield and Caradus (1987). Con el aumento de precipitaciones en primavera incrementa la participación dactylis diferenciándose de alfalfa y malezas ($P < 0.05$), producto del mayor tamaño de las plantas lo que permitió mayor capacidad de competencia frente a las malezas (Poirier *et al.*, 2012). En el caso de alfalfa su participación porcentual a la biomasa se mantuvo similar al año anterior diferenciándose de las malezas ($P < 0.05$), lo cual

determina para este segundo año un aumento en su producción de materia seca dado que la producción total se cuadruplicó (Figura 3).

El tercer y cuarto año se caracterizan por un incremento en el porcentaje de malezas sin diferencias significativas frente a las gramíneas pero sí con las leguminosas ($P < 0.05$), pero por razones diferentes según la mezcla forrajera. En FBL se da como consecuencia de una disminución marcada de la fracción leguminosa, mientras que en DA es producto de la disminución de la fracción gramínea. A pesar de ello, las gramíneas fueron las que presentaron mayor contribución hasta finalizar la vida útil de la pradera, pero con valores significativamente diferentes, donde Festuca casi duplicó el valor de Dactylis (60 vs 35 %), lo cual concuerda con Carambula (2010) y Formoso (2007), que mencionan la mayor persistencia de Festuca frente a Dactylis.

Evolución de la composición botánica dentro del año

De la misma forma que en el ítem anterior, en la figura se observa la evolución de la contribución de gramíneas, leguminosas y malezas en las diferentes estaciones, para el promedio de los años evaluados siguiendo la metodología descrita por Torsell (1973).

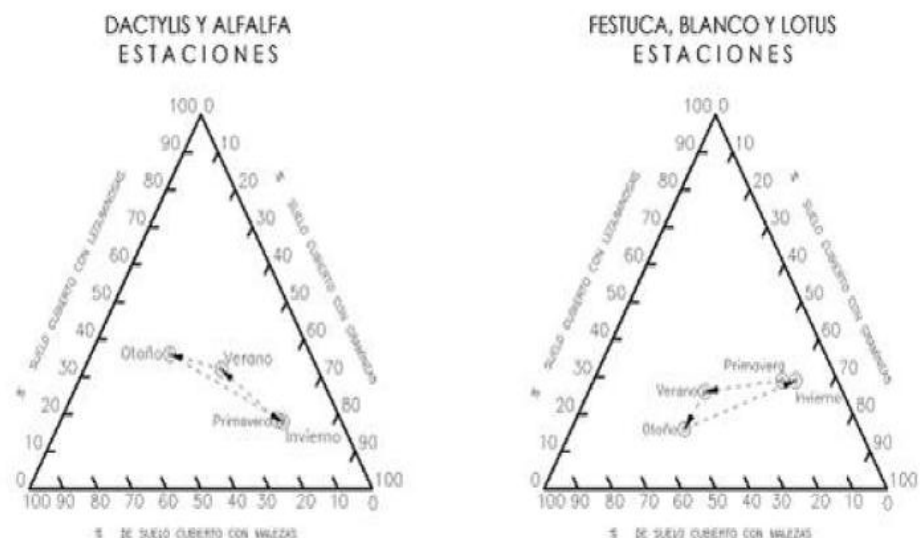


Figura 6. Evolución porcentual de la contribución de los componentes gramínea, leguminosas y malezas de las mezclas *Dactylis glomerata* + *Medicago sativa* (DA) y *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus* (FBL) a través de las estaciones.

El análisis de la figura muestra un comportamiento similar de ambas mezclas, una mayor contribución de las especies sembradas del orden del 85-90 % en las estaciones de invierno y primavera y una disminución de las mismas en verano y otoño, situándose las especies sembradas en torno del 45 % a 55 % para FBL y de 70 a 55 % para DA respectivamente. Esta dinámica de evolución intranual de los componentes determina tres características a destacar, primero que los patrones de crecimiento son reflejos de la composición de las mezclas, segundo que el principal tipo de enmalezamiento es estival y tercero que existe una clara capacidad de recuperación de los componentes sembrados en los inviernos y primaveras. Con respecto a la primera característica la mezcla DA es la que complementa en mayor medida sus ciclos de crecimientos: en invierno y primavera su mayor producción está explicada por el aporte de *dactylis* y en menor proporción por alfalfa, mientras que en verano/otoño se equiparan las proporciones de ambos componentes, consecuencia del ciclo estival de la alfalfa y a la capacidad de crecimiento estivo-otoñal de *dactylis*. En cambio la mezcla FBL mostró una alta cobertura de festuca en invierno y primavera en una relación con trébol blanco dentro de lo considerado óptimo (Phelan et al., 2015; Carámbula, 2010) y baja ocupación de malezas. Tanto festuca como trébol blanco al ser especies de ciclo invernal ocupan marcadamente el espacio en estas estaciones, pero presentan limitada capacidad de crecimiento en el verano y otoño dejando espacios descubiertos. Ese comportamiento permite el desarrollo de malezas que se promueven con el aumento de la temperatura, como gramíneas anuales estivales, que acumulan altos volúmenes de biomasa en verano/otoño en invierno y primavera su mayor producción está explicada por el aporte de *dactylis* y en menor proporción por alfalfa, mientras que en verano/otoño se equiparan las proporciones de ambos componentes, consecuencia del ciclo estival de la alfalfa y a la capacidad de crecimiento estivo-otoñal de *dactylis*. En cambio la mezcla FBL mostró una alta cobertura de festuca en invierno y primavera en una relación con trébol blanco dentro de lo considerado óptimo (Phelan et al., 2015; Carámbula, 2010) y baja ocupación de malezas. Tanto festuca como trébol blanco al ser especies de ciclo invernal ocupan marcadamente el espacio en estas estaciones, pero presentan limitada capacidad de crecimiento en el verano y otoño dejando

espacios descubiertos. Ese comportamiento permite el desarrollo de malezas que se promueven con el aumento de la temperatura, como gramíneas anuales estivales, que acumulan altos volúmenes de biomasa en verano/otoño y resienten el rebrote otoñal de las especies sembradas. Es destacable la capacidad de resiliencia de las especies perennes sembradas para recuperar el espacio cedido y dominar nuevamente cuando las malezas culminan su ciclo. Esto sugiere el posible beneficio de incorporar especies C4 en las mezclas forrajeras, dado que permitirían más complementariedad que competencia entre especies, especialmente en la mezcla FBL. Este comportamiento de aumento de enmalezamiento estival y ventaja de la incorporación de gramíneas estivales es similar a los reportados por Santiñaque y Carámbula (1978). Sin embargo existe una diferencia destacable en las malezas reportadas entre los trabajos, siendo que en el presente trabajo el enmalezamiento es fundamentalmente anual estival y en Santiñaque y Carámbula (1978) es perenne estival dado principalmente por *Cynodon dactylon*. Esta diferencia marca una dinámica distinta ya que las especies anuales, al igual que *Cynodon dactylon* (gramilla) son oportunistas al ocupar los espacios vacíos (Ríos, 2006), pero a diferencia de ésta liberan el espacio a fines de otoño que es nuevamente ocupado mediante el macollaje de las gramíneas sembradas y la resiembra de trébol blanco y lotus en la mezcla FBL. Otra diferencia con trabajos de la década del 90, es el peso del enmalezamiento con especies anuales invernales en la depresión del rendimiento de las pasturas (Molitorio, 2000). Aquí la utilización temprana de herbicidas selectivos permitió reducir este tipo de malezas, por lo que cada invierno las especies sembradas explican en promedio 90 % de la producción total de biomasa.

Estabilidad de los componentes gramíneas, leguminosas y malezas

Para analizar la estabilidad de los componentes gramíneas (GR), leguminosas (LE) y malezas (MA) a través de la vida útil de la pastura se utilizó el índice de estabilidad de Torsell, que evalúa el grado en que cada componente ha contribuido a esta estabilidad general, en donde la estabilidad de cada componente se expresa en relación con su área media en la pastura durante un período de tiempo y por definición asume valores entre 0 y 1.

Cuadro N° 2. Índice de estabilidad de Torsell de cada fracción en la mezcla (GR=gramíneas, LE=leguminosas y MA=malezas) de las dos pasturas evaluadas (dactylis alfalfa=DA y festuca blanco lotus=FBL) entre el primer y cuarto año. Las medias con misma letra de subíndice no son diferentes significativamente entre cada componentes de la mezcla, ni para el índice de estabilidad de la mezcla ($P < 0.05$).

Mezcla					Índice de estabilidad de la mezcla	Índice real de estabilidad del componente
		→GR	→LE	→MA		
DA	GR→	0.3	0	0	-	0.85 ^A
	LE→	0	0.28	0	-	0.98 ^A
	MA→	0.12	0.01	0.29	-	0.81 ^A
						0.87 ^A
FBL	GR→	0.29	0.13	0.15	-	0.71 ^A
	LE→	0	0.17	0	-	0.69 ^B
	MA→	0	0	0.27	-	0.78 ^B
						0.73 ^A

La mezcla DA presentó componentes más estables dado que tanto LE y MA se diferenciaron estadísticamente de los de FBL; siendo alfalfa (LE de DA) la de mayor índice de estabilidad. La fracción gramínea no se diferenció estadísticamente entre las mezclas, mientras que la evolución de la maleza se relacionó con el componente leguminosa de cada mezcla. Ese comportamiento muestra la necesidad de lograr densidades y distribuciones adecuadas de plantas desde el momento de la implantación, particularmente en alfalfa que es la especie que va a dar la estabilidad a la mezcla y porque posee mecanismos de compensación menos efectivos frente a la falta de plantas, que dactylis (macollaje) y las malezas (resiembra natural).

Para el caso de FBL los componentes resultaron más variables que la mezcla DA y la evolución de los mismos a lo largo del tiempo estuvo determinada por el aumento o disminución de una fracción sobre la otra. En la Figura 3, se visualiza que a medida que avanza la edad hay una disminución de la fracción leguminosa frente al aumento de la fracción gramínea y maleza, promocionadas éstas por el mayor espacio disponible y por el aumento en el contenido de nitrógeno del suelo aportado por las leguminosas. A pesar de esta menor estabilidad al finalizar la vida útil de la pastura el contenido de GR de esta mezcla (festuca) es casi el 60 %; duplicando el

primer año; que se puede decir alto y suficiente para cumplir su rol de mejorador de las propiedades físicas del suelo (Carambula, 2010). Este comportamiento de menor estabilidad no coincide con lo reportado por autores que mencionan que comunidades con mayor equitatividad en la abundancia de sus especies presentan mayor productividad primaria (Mattingly *et al.*, 2007) y mayor la resistencia a la invasión de otras especies (Wilsey y Polley, 2002), ya que no existieron diferencias en producción total de biomasa entre las mezclas, y contrariamente a lo esperado FBL presentó menor proporción de malezas al finalizar su vida útil, dada la menor persistencia de trébol blanco y lotus que alfalfa (Díaz Lago *et al.*, 1996; García, 2003; Zanoniani, 2010).

Finalmente es de destacar que existió una diferencia en el tipo de enmalezamiento con los trabajos de la década del 80 y 90 producto fundamentalmente de la incorporación de la siembra directa a partir de la década del 90. Posibilitando el control de la invasión de malezas, lo que redujo la importancia especialmente de la gramilla como causa/efecto de la baja persistencia de las pasturas (Ríos, 2006). En este sentido la mayor capacidad de colonización espacial subterránea y aérea de la gramilla a medida que avanzan los años (Horowitz, 1972 a y b), frente de las especies anuales estivales de comportamiento de tipo "ruderal" (Grime y Makey,

2002), determina un mayor grado de complementación de estas últimas con las especies perennes sembradas, surgiendo la interrogante si las mismas no podrían adaptarse mejor en estas mezclas que las gramíneas perennes C4 con gran capacidad de colonización por su presencia de rizomas o estolones. Surgiendo la interrogante si las mismas no podrían adaptarse mejor en estas mezclas que las gramíneas perennes C4 con gran capacidad de colonización por su presencia de rizomas o estolones.

Finalmente se puede concluir que ambas pasturas presentaron altas producciones cercanas a las 30 tt/ha MS a lo largo de 4 años lo cual permite contar con alternativas productivas amortizables a largo plazo y disminuir los costos de producción de forraje. La distribución estacional de las mezclas difirió fundamentalmente en los dos primeros años de producción. Se destaca DA por sus producciones primaverales/estivales/otoñales; en cambio FBL presentó una clara deficiencia de producción de las especies sembradas en el periodo estival/otoñal. Ambas mezclas mostraron una gran capacidad de resiliencia dado que todos los años recuperaron su contribución

cerca de 90 % en el periodo invernal/primaveral, producto fundamentalmente de que el enmalezamiento anual estival liberó el espacio ocupado en dicho periodo. *Festuca arundinacea* fue la especie que presentó mayor persistencia de las sembradas logrando una contribución del 60 % al cuarto año, si bien su estabilidad fue menor al resto de los componentes, la misma no puede considerarse como algo negativo dado que fue producto de un incremento en proporción a lo largo de la vida de la pradera. *Medicago sativa* fue la leguminosa con mayor estabilidad, permaneció prácticamente en los mismos valores desde el primer hasta el cuarto año, esto determina la importancia de lograr poblaciones objetivo de plantas desde la siembra dado su alta estabilidad pero con mecanismos de repoblación menos eficaces. Las gramíneas C4 anuales fueron las principales especies constituyentes del enmalezamiento estival, presentando un comportamiento estacional complementario a las especies sembradas, fundamentalmente en la mezcla FBL. Este comportamiento dinámico abre la interrogante de la evaluación de su incorporación como un componente más en las pasturas sembradas para incrementar su aporte estivo/otoñal sin disminuir la producción invernal/primaveral de las mezclas.

Literatura Citada

- Altamirano, A., H. Da Silva, A. Durán, A. Echeverría, D. Panario y R. Puentes. 1976. "Clasificación de suelos de Uruguay". Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- Altier, N. 2010. Enfermedades en pasturas. En *Enfermedades y Plagas en Pasturas*, Serie Técnica N° 183 INIA, pp. 19-36
- Aparicio-Tejo P., M. Sanchez-Diaz and I. Pena. 1980. Nitrogen fixation, stomatal response and transpiration in *Medicago sativa*, *Trifolium repens* and *T. subterraneum* under water stress and recovery. *Physiology Plant.* 48: 1-4.
- Ayala, W., M. Bemhaja, B. Cotro, J. Docanto, J. García, F. Olmos, D. Real, M. Rebuffo, R. Reyno, C. Rossi, J. Silva. 2010. *Forrajes: Catálogo de Cultivares 2010*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. ISBN 9 789974 382923. 131 p.
- 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
- Brown, D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berks (Bulletin N° 42) pp. 42-79.
- Boggiano, P., R. Zanoniani, J. C. Millot. 2005. Respuestas del Campo Natural a niveles crecientes de intervención. INIA, Serie Técnica N° 151. pp 105-114.
- Boggiano, P., R. Zanoniani, M. Cadenazzi, L. Giménez, D. Formoso, S. Aguirre, S. Riccetto. 2014. El clima del Uruguay se caracteriza por una alta variabilidad, con periodos de déficit hídrico a veces muy importantes durante los meses de verano debido a las altas evapotranspiraciones. SERIE FPTA-INIA N° 55, pp 29-45.
- Campbell, A. G. 1966. Grazed pasture parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. *J. Agric. Sci., Camb.* 67: 199-210
- Carámbula, M. 2010. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forrajes. Montevideo, Uruguay. Hemisferio Sur. 357 p.
- Castonguay, Y., R. Michaud, P. Nadeau and A. Bertrand. 2008. An Indoor Screening Method for Improvement of Freezing Tolerance in Alfalfa, 2008. *Crop Science* 49 (No. 3): 809-818
- Chilibroste, P., P. Soca, O. Betancur, D. Mattiauda. 2010. Estudio de la conducta en pastoreo de vacas Holando de alta producción: síntesis de 10 años de investigación sobre relación planta animal suplemento en la Facultad de Agronomía-EEMAC Agrociencia, Uruguay,



- 3:101-106.
- Chilibroste, P., P. Soca y D. Mattiauda. 2012. Estrategias de alimentación en Sistemas de Producción de Leche de base pastoril. En: Pasturas 2012: Hacia una ganadería competitiva y sustentable. Balcarce: INTA. Pp 91-100, 2012.
- Collino, D. J., J. L. Dardanelli, M. J. De Luca and R.W. Racca. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Aust. J. Exp. Agric. 45: 383-390.
- Cooper, J. P.; N. M. Tainton. 1968. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. Herbage Abstracts. 38: 167 - 176.
- Deregibus, V. A., J. J. Casal, E. J. Jacobo, D. Gibson, M. Kauffman y A. M. Rodriguez. 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, 536-542.
- Díaz Lago, J. E., J. García y M. Rebuffo. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. INIA Serie Técnica N° 71, pp. 18.
- DIEA. 2014. Estadísticas Agropecuarias 2014. Estadísticas del sector lácteo 2013. Serie de Trabajos Especiales N° 324. pp. 1-44.
- Di Marco, O. N., H. Harkes y M. Agnusdei. 2013. Calidad de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en estado vegetativo en relación con la edad y longitud de las hojas. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 39 (1):105-110.
- Di Nucci de Bedendo, E. 2011. Producción de forraje y persistencia de cultivares de alfalfa de diferente grado de reposo invernal en suelos molisoles de Entre Ríos (ciclos 2006 a 2010). http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-alfalfa_serie_2010-en_suelos_molisoles_entre_r.pdf
- Enriquez Hidalgo, D., T. J. Gilliland y D. Hennessy. 2016. Herbage and nitrogen yields, fixation and transfer by white clover to companion grasses in grazed swards under different rates of nitrogen fertilization. Grass and Forage Science, 71(4): 559-574.
- Formoso, F. 2007. Conceptos sobre implantación de pasturas. In: Jornada de Instalación y Manejo de Pasturas. Actividades de Difusión INIA no. 483 pp. 19-39.
- García, J. 1995. *Dactylis glomerata* L. INIA Oberon. Boletín Divulgación N° 49 INIA, pp. 11.
- García, J. 2003. Crecimiento y calidad de Gramíneas Forrajeras en la Estanzuela. Serie Técnica N° 133 INIA, pp: 40.
- García Favre, J., R. Zanoniani, M. Cadenazzi, P. Boggiano. 2017. "Incidencia de variables biológicas y edáficas en el establecimiento de mezclas forrajeras". En prensa en: AGROSUR, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.
- Grant, S. A.; G.T. Barthram and L. Torvell. 1981. Components of regrowth in grazed and cut *Lolium perennes*wards. Grass Forage Sci. 36: 155-168.
- Grime, J. P. and J. M. L. Mackey. 2002. The role of plasticity in resource capture by plants. Evolutionary Ecology 16: 299-307.
- INASE. 2014. Resultados de la Evaluación Nacional de Cultivares de especies forrajeras 2014.
- Horowitz, M. 1972a. Development of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Weed Research 12: 207-220.
- Horowitz, M. 1972b. Spatial growth of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Weed Research 12: 373-383.
- Humphries A. W., E. T. Kobelt, W. D. Bellotti, G. C. Auricht. 2006 Tolerance of Australian lucerne (*Medicago sativa*) germplasm to grazing by sheep. Australian Journal of Experimental Agriculture 46, 1263-1270.
- Jie Qiu, Y. B., Bruce Coulman and J. T. Romo. 2006. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. Seed Science Research, 16: 261-271
- Jankowska, J; G. Ciepiela, R. Kolczarek, K. Jankowski. 2007. The root creative role of the cultivation of orchard grass and its mixtures with legumes. Grassland Ecology. 7: 272- 274.
- Jankowska Blaszczyk, M., y M. I. Daws. 2007. Impact of red: far red ratios on germination of temperate forest herbs in relation to shade tolerance, seed mass and persistence in the soil. Functional Ecology, 21(6), 1055-1062.
- Lee, J.M.; D. J. Donaghy, and J. R. Roche. 2008. Effect of defoliation severity on regrowth and nutritive value of perennial ryegrass dominant swards. Agron. J. 100: 308-314.
- Lizarralde, C., L. Astigarraga. 2014. Sustentabilidad ambiental de sistemas de producción de leche. <http://www.researchgate.net/publication/281287216>
- Lucas, H. L. 1963. Determination of forage yield and quality from animal responses. Miscelánea USDA. no. 940: 43-54.
- Mattingly B. W., R. Hewlate, L. H. Reynolds. 2007. Species evenness and invasion resistance of experimental grassland communities. Oikos. 116(7): 1164-1170.



- M.G.A.P. 2012. Estadísticas Agropecuarias. Series históricas de datos.
- Moliterno E. 2000. Caracterización de la producción inicial de diversas mezclas forrajeras. *Agrociencia*. 4(1): 31-49.
- Neal J. S., W. J. Fulkerson, R. Lawrie, I. M. Barchia. 2009 Difference in yield and persistence among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Crop & Pasture Science* 60: 1071-1087.
- Phelan, P., A. Moloney, E. McGeough, J. Humphreys, J. Bertilsson, E. O'Riordan y P. O'Kiely. 2015. Forage Legumes for Grazing and Conserving in Ruminant Production Systems, Critical Reviews in Plant Sciences, 34:1-3, 281-326, DOI: 10.1080/07352689.2014.898455
- Poirier, M., Durand, J. L., & Volaire, F. (2012). Persistence and production of perennial grasses under water deficits and extreme temperatures: importance of intraspecific vs. interspecific variability. *Global Change Biology*, 18(12): 3632-3646.
- Putnam, D. H. 2011. Evaluating the Value of Field Crops - An Environmental Balance Sheet for Alfalfa. In: Proceedings, 2011 Western Alfalfa & Forage Conference, Las Vegas, NV, 11-13 December, 2011. UCCE, University of California, Davis, CA 95616.
- Raeside, M. C., M. A. Friend, R. Behrendt, A. R. Lawson, y S. G. Clark. (2012). A review of summer-active tall fescue use and management in Australia's high-rainfall zone. *New Zealand journal of agricultural research*, 55(4), 393-411.
- Ríos, A., 2006. Manejo integrado para el control de gramilla. En: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Malezas. Serie de Actividades de Difusión 465: 65-82.
- Santiñaque F, M. Carámbula. 1981. Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. *Investigaciones Agronómicas*. 2: 16-21.
- Sawchik, J. (2001). Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. *Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR*.
- Simova-Stoilova, L., K. Demirevska, A. Kingston-Smith y U. Feller. 2012. Involvement of the leaf antioxidant system in the response to soil flooding in two *Trifolium* genotypes differing in their tolerance to waterlogging. *Plant science*, 183: 43-49.
- Tejera, M., P. Speranza, L. Astigarraga, and V. Picasso. 2016. Forage biomass, soil cover, stability and competition in perennial grass-legume pastures with different *Paspalum* species. *Grass and Forage Science* 71(4): 575-583.
- Torrsell, B. W. R. (1973). Patterns and processes in the Townsville stylo-annual grass pasture ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 463-478.
- Volaire, F. y F. Lelièvre. 2001. *Plant and Soil* 229 (2): 225-234.
- Wang, J; Y. Zhao, I. Ray, M. Song. 2016. Transcriptome responses in alfalfa associated with tolerance to intensive animal grazing. Consultado: 2016/01/14/online VL 6 SP- 19438, UR Article <https://www.nature.com/articles/srep19438#supplementary-information>
- Wilsey B., H. Polley. 2002. Reductions in grassland species evenness increase dicot seedling invasion and spittle bug infestation. *Ecology Letters*. 5(5): 676-684.
- Woodfield, D. R. and J. R. Caradus. 1987. Adaptation of White clover to moisture stress. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 48:146-149
- Zanoniani, R. 2010. Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia*. 14(3): 26-30.
- Zanoniani, R., P. Boggiano, y M. Cadenazzi. 2015. Forage and meat production under two forage mixtures in winter-spring. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 23(5): 221-222.
- Zuo, Y., Z. Du., Y. Zhu., X. Zhou. 2010. Effects of mixture sowing on forage yield and interspecific competition of Alfalfa and Orchard Grass. *Animal Husbandry and Feed Science*.

2.2 Principales factores biológicos y de manejo que afectan la productividad primaria y secundaria de pasturas sembradas en un clima subtropical húmedo

Zanoniani, R^{*1}., García-Favre, J¹., Cadenazzi, M²., Boggiano, P.¹

1. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Udelar.

2. Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, Udelar.



Principales factores biológicos y de manejo que afectan la productividad primaria y secundaria de pasturas sembradas en un clima sub-tropical húmedo

Determination of the main variables that affect the primary and secondary productivity of sown pastures in a humid sub-tropical environment

Zanoniani, R^a., García-Favre, J^a., Cadenazzi, M^b., Boggiano, P^a.

^a Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, UdelAR.

^b Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, UdelAR.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20-04-2023

Accepted 28-11-2023

Keywords:

Decision tree

Production models

Forage and meat

Original Article,

Animal Science

*Corresponding author:

Zanoniani, R

E-mail address:

raztoto@gmail.com

ABSTRACT

The forage and meat production of sown pastures, a forage mixture of *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* and *Trifolium repens*, was evaluated for 4 years under three animal endowments (2, 4, 6 steers) to evaluate the forage and meat production of sown pastures. A DBCA was used with three blocks and the variables were analysed using Anava and classification and decision trees (CART) with the R statistical package. The results of the decision trees showed that regardless of age and animal load, the greatest plant and animal response was related to the season of the year. Spring presented the highest primary and secondary production, which can be explained by the initially high incident radiation, rainfall of 400 mm and temperatures up to 24 °C. Under these conditions, the management variable that determined the highest forage production was the forage that disappeared, indicating that it is highly related to the photosynthetic quality of the remaining forage. During the rest of the seasons (summer, autumn, winter) the highest forage production was reached with available forage reaching 2000 kg/ha DM while the lowest was 700 kg/ha DM under extreme situations. Meat production showed similar behaviour to forage production, with spring being the season of highest productivity, with loads close to 1150 kg/ha of DM allowing production of around 485 kg/ha of DM. This behaviour reinforces the maintenance of high loads in the seasons of high forage production (spring) to maintain photosynthetic efficiency and pasture quality to achieve high meat yields per surface area and the need to finish the animals before summer.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la producción animal y vegetal de pasturas sembradas se evaluó durante 4 años una mezcla de *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens*, manejadas a tres dotaciones animales (2, 4, 6 novillos ha⁻¹). Se utilizó un DBCA con tres bloques dispuestos según la pendiente, las variables fueron analizadas mediante Anava, y árboles de clasificación y decisión (CART) con el paquete estadístico R. Del análisis mediante árboles de decisión del comportamiento de la producción de forraje surge que independientemente de la edad y dotación animal la mayor respuesta vegetal y animal se relacionó con la estación del año. La primavera presentó la mayor producción primaria y secundaria, explicada por inicialmente una alta radiación incidente, precipitaciones de 400 mm y hasta 24 °C. Con dichas condiciones las variables de manejo que determinaron las mayores producciones fue el forraje desaparecido, indicando que el mismo se encuentra altamente relacionado a la calidad fotosintética del forraje remanente. En el resto de las estaciones (verano, otoño, invierno) las mayores producciones de forraje se alcanzaron con disponibles del orden de los 2000 kg/ha MS y los mínimos con situaciones extremas de 700 kg/ha MS. La producción de carne presentó similar comportamiento que la producción de forraje, siendo la primavera la estación de mayor productividad, cargas a cercanas a 1150 kg/ha de PV permitieron lograr producciones del orden de los 485 kg/ha de PV. Este comportamiento refuerza el mantenimiento de altas cargas en las estaciones de alta producción de forraje (primavera) para mantener la eficiencia fotosintética y calidad de las pasturas para lograr altas producciones de carne por superficie y la necesidad de terminar los animales antes del verano.

Palabras clave: Árbol de decisión, modelos de producción, producción forraje y carne.

INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria en Uruguay tiene desde el punto de vista económico una gran importancia,

ya que representa en promedio el 8,7% del PBI total, donde, la producción pecuaria corresponde al 50%, la agricultura al 43% y la silvicultura el 7% (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2014). El avance de la agricultura y de

la forestación en los últimos años se convirtió en un creciente competidor de la ganadería por el uso de la tierra. Esta situación no sólo es exclusiva de Uruguay, dado que Capdevilla (2006), pronosticó una disminución de 22 millones de hectáreas de Bosques y sabanas en América del Sur como consecuencia del incremento en el área de soja. Esta predicción fue corroborada por Pengue (2015) quien destaca la disminución del área de pasturas en toda América Latina. Frente a esta reducción de superficie de pastoreo, fue necesario la incorporación de alternativas que permitan una mayor producción de forraje, así como una mayor eficiencia en su utilización para mantener y/o aumentar los niveles de producción en el sector. La producción pecuaria del país tiene como base forrajera fundamental al campo natural y además otras alternativas forrajeras que pueden lograr mayores beneficios productivos y económicos (Álvarez, 2020). En estos sistemas más intensivos de recursos es muy común el uso de mezclas forrajeras tipo multiespecies formadas por tres o cuatro especies complementarias, mejorando la calidad y distribución estacional de forraje en comparación con pasturas puras y campo natural sin mejorar (Carámbula, 2010). Estas alternativas determinan la sustitución de la vegetación natural presente, el agregado de nutrientes al suelo y la siembra de especies de gramíneas y leguminosas introducidas mayoritariamente de otras regiones del mundo (Jaurena et al., 2021).

Sin embargo, la falta de persistencia de las pasturas sembradas se presenta como un serio problema en los países del Cono Sur, así como también en gran parte del mundo. Actualmente es poco común el uso de gramíneas perennes estivales e invernales nativas posiblemente debido a la escasa disponibilidad de semillas en el mercado uruguayo (INASE, 2019). Además, la mayor parte de las pasturas de larga duración que se siembran se componen por una o más especies anuales o bienales; afectando no sólo la producción secundaria (carne, lana, leche), sino que también impiden mejorar la persistencia y productividad de la pastura, ya que no se logra disminuir el establecimiento de las malezas en el verano (Zanoniani, 2010; Tejera et al., 2016). Esto trae como consecuencia una sustitución importante de praderas plurianuales por verdeos invernales y estivales (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2014) y el uso de engorde de ganado en *feed lot*, que no sólo encarecen el sistema, sino que determinan un uso más intensivo del suelo, mayores pérdidas por erosión e incremento en el uso de biocidas en el primer caso, y mayor contaminación ambiental (Frank, 2006) en el segundo. Las pasturas son la fuente de alimento disponible más económica para la alimentación de los rumiantes (Chilibroste et al., 2010; Leuscher et al., 2014). Por lo que es muy importante conocer cómo se maximiza la producción de forraje, su mejor utilización, y como se alcanzan buenas eficiencias de conversión en producto animal (Nabinger, 1998; Zanoniani, 2010).

El conocimiento de la producción de forraje y carne durante la vida útil de pasturas sembradas se vuelve indispensable para proyectar agroecosistemas, en donde el componente de praderas puede tener cada vez más importancia, dado la necesidad de viabilizar rotaciones cultivos- pasturas en el marco de leyes de Planes y Usos del Suelo sustentables (ej., Ley de uso del suelo en Uruguay). Si bien existe a nivel de investigación una gran cantidad de información disponible, la misma generalmente es aislada y de corto plazo, y no permite cuantificar el impacto sobre la producción cuando son aplicadas en conjunto. Tampoco permiten saber si dichas limitantes se mantienen a largo plazo o interaccionan con otras variables que incrementan o amortiguan las deficiencias. El tratamiento integral de las variables que determinan el comportamiento de una pastura es difícil de estudiar dada la gran cantidad de datos que se necesitan para comprender su funcionamiento (Prost et al., 2012). Los árboles de clasificación y regresión (CART) como modelos de predicción permiten manejar un gran número de datos y construir diagramas lógicos que representan y predicen el sistema. Han sido utilizados para la explicación de procesos biológicos y ecosistémicos por diferentes autores como una forma de orientar en la toma de decisiones acerca del manejo de las pasturas (Lambert et al., 1986; Zhang et al., 2006; Zhang et al., 2007; Wan et al., 2009; Duff et al., 2012; Flores et al., 2016; García-Favre et al., 2017; Caram et al., 2022).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la forma y magnitud en que se afectó la producción de forraje y peso vivo de animales alimentados con pasturas sembradas como consecuencia de los efectos ambientales y del uso de diferente carga animal; e integrar la información obtenida en modelos simples que permitan interpretar los efectos combinados de las variables estudiadas para que posibilite la toma de decisiones a nivel de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y periodo experimental

Para el presente estudio se utilizó información del banco de datos de la Unidad de Pasturas de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni 32°23'27,1" de latitud sur y 58°03'41,76" de longitud oeste (Paysandú, Uruguay). El experimento se desarrolló sobre suelos de la formación geológica Fray Bentos, clasificados como Brunosoles Éutricos Típicos (Hápllicos), y Solonetz Solodizados Melánicos (Altamirano, 1976), con un nivel inicial de P_2O_5 de 12 ppm, 3,2 % MO y 5,7 de pH. Se evaluó la productividad de una mezcla forrajera de *Festuca arundinacea* Schreb (festuca) cv Tacuabe, *Trifolium repens* Linnaeus (trébol) cv Zapican

y *Lotus corniculatus* Linnaeus (lotus) cv San Gabriel, (FBL), desde su siembra (15/5/2011) hasta el final de su vida útil (20/9/2015) con tres dotaciones de bovinos (2, 4 y 6 animales por hectárea). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones siguiendo el criterio de ubicación topográfica (ladera alta, ladera media, ladera baja y bajo). La superficie total del experimento abarcó 5 ha, siendo el área de cada bloque 1,25 ha y de cada parcela o unidad experimental 0,42 ha. Los novillos ingresaban en el verano o invierno de cada año con peso vivo promedio de 330 kg y se retiraban con un promedio de 530 kg con destino frigorífico; el largo del engorde nunca fue superior al año (6 a 9 meses) y fue dependiente de la producción de la pastura y dotación animal que determinaba la ganancia individual de los animales en cada tratamiento. Todos los tratamientos fueron manejados bajo pastoreo rotativo con ciclos de pastoreos de aproximadamente 40 días (10 de ocupación y 30 descanso), siendo el criterio de altura de ingreso cuando la pastura alcanzara entre 15 a 20 cm y de salida cuando el primer tratamiento alcanzara una altura entre 5 a 7 cm (Zanoniani, 2010), la cantidad de pastoreos promedio fueron tres para primavera, dos para invierno y otoño y uno en verano (0 en el primer año de la pastura y 2 en el segundo y tercer año de vida, a principios del cuarto verano se eliminó la pradera para realizar otra alternativa forrajera). La pastura fue sembrada con la graminea en línea (festuca 15 kg ha⁻¹) y las leguminosas al voleo (trébol 2 kg ha⁻¹ y lotus 8 kg ha⁻¹), siendo el cultivo antecesor sorgo forrajero pastoreado hasta mediados de abril de 2011. La fertilización en el primer año fue con 150 kg/ha de 07:40:00 (% N, P, K) a la siembra y una aplicación de 75 kg/ha de urea (46:00:00) (% N, P, K), a mediados de invierno. Las fertilizaciones en el segundo y tercer año fueron con 140 kg/ha de 07:40:00 en otoño y dos aplicaciones de 70 kg/ha de urea una en mayo y la segunda en agosto. Para controlar malezas de hoja ancha se aplicó a los 90 días postsiembra 1,2 l ha⁻¹ de 2,4 DB (Vencoweed) y 0,4 l ha⁻¹ de Flumetsulan (Flumetsulam).

Variables determinadas

Materia seca disponible y remanente (kg ha⁻¹): Se determinó al azar pre y postpastoreo mediante el método de doble muestreo de Haydock y Shaw (1975), antes de la entrada de los animales a las parcelas para determinar la materia seca presente prepastoreo y al salir de la misma para la materia seca remanente. Se utilizaron 15 rectángulos de 0.1 m² midiéndose la altura según Barthram 1986, en tres lugares de la diagonal, luego se cortó el forraje de la mezcla de especies, se identificó y embolsó individualmente. Posteriormente se secó cada muestra en forma individual en estufa 60°C por 48 h y llevado el peso seco a la cantidad de biomasa por hec-

tárea, con el conjunto de los puntos (15) de cada parcela se realizó la ecuación de regresión con su respectivo coeficiente de regresión ($r^2 > 0.80$) y probabilidad ($p < 0.05$); el factor x de la regresión se sustituyó por la altura promedio de toda la parcela que fue medida como se explica en el punto siguiente. La materia seca disponible fue calculada como la materia seca presente prepastoreo, más el crecimiento durante el periodo de pastoreo (Campbell, 1966a).

Altura disponible y remanente en cm: Se registró la altura desde el suelo hasta la hoja verde más alta que contactó con la regla milimetrada (Barthram, 1986), realizando 60 observaciones al azar por parcela antes y después al ingreso de animales.

Producción de Materia Seca acumulada: Se calculó mediante la diferencia entre la materia seca presente y el remanente del pastoreo anterior, ajustándose por los días de crecimiento durante el pastoreo (Campbell, 1966a). Se calculó estacionalmente y total de cada año de vida.

Forraje desaparecido: Corresponde al forraje cosechado por el animal más las pérdidas durante el proceso de pastoreo. Se calculó mediante la diferencia entre el forraje disponible ajustado por la tasa de crecimiento de los días que duró el pastoreo menos el forraje remanente dejado luego del mismo (Campbell, 1966 a). La tasa de crecimiento fue calculada mediante la diferencia de cantidad de forraje disponible menos la cantidad de remanente anterior de la misma parcela, dividido el número de días entre ambos pastoreos. Los valores se calcularon para cada pastoreo.

Composición botánica: Previo a cada pastoreo con rectángulos de 20×50 cm y 60 muestras por unidad experimental se estimó visualmente el porcentaje de contribución de cada componente a la biomasa total (gramíneas, leguminosas y malezas) a través del método de estimación de área de cobertura (Brown, 1954). Para ajustar la estimación visual de la composición botánica se realizó la separación manual en laboratorio de 60 muestras de las fracciones que componen las pasturas. Luego se procedió al análisis de regresión entre lo estimado por el método de cobertura de área y lo determinado en laboratorio para determinar veracidad de la estimación. Con esto se calculó los kg/ha producidos por los tres componentes más importantes de las pasturas; gramíneas, leguminosas y malezas.

Peso de los animales: Se realizó una pesada inicial, pesadas intermedias cada 45 días y al final de cada estación de los animales con una balanza electrónica Thunderbird T30 de 0,5 kg de precisión con los animales en ayunas y sin agua disponible durante 12 h.

Ganancia de peso media diaria: La ganancia de peso media diaria individual ($\text{kg animal día}^{-1}$) se calculó como la relación entre los kilogramos ganados en el periodo de estudio y el número de días comprendidos por este el cual fue de 45 días (peso vivo final menos peso vivo inicial) /total días).

Oferta de forraje: La oferta de forraje fue calculada teniendo en cuenta la cantidad de forraje disponible, el tamaño de la parcela, los días de pastoreo de esta, el número de animales y su peso vivo. De esta forma se cuantificó los kg de MS disponibles en la parcela dividido el número de días de pastoreo de esta, dividido el total de kg de PV animal presentes en ella, multiplicado por 100 para ser expresado en porcentaje.

Producción de peso vivo: Se calculó como los kilos de PV ha^{-1} producidos del periodo de pastoreo. Para esta situación se tomó la ganancia total de cada tratamiento por separado de los animales en el periodo y se lo dividió por la superficie de los mismos, obteniendo de esta forma la producción en kilos de carne por hectárea de cada tratamiento. Los datos se presentan estacionalmente.

Condiciones climáticas: Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática Vantage Pro 2TM, modelo 6510 (Davis Instruments, Hayward, CA), ubicada a 200 m del experimento, se utilizaron los datos de temperatura media, precipitación, evapotranspiración y radiación. En la Figura 1 se visualizan los datos de temperatura, precipitaciones y evapotranspiración para el periodo experimental y para el promedio de la serie del 2002 al 2014. El balance hídrico mensual y estacional se calculó como la diferencia entre las precipitaciones más el agua disponible en el suelo y la evapotranspiración real de las pasturas, asumiendo una capacidad de acumulación de agua de 117 mm determinado por Molino y Calífra, 2001 para los suelos donde se realizó el experimento.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones siguiendo el criterio de ubicación topográfica (ladera alta, ladera media, ladera baja y bajo). La superficie total del experimento abarcó 5 ha, siendo el área de cada bloque 1,25 ha y de cada parcela o unidad experimental 0,42 ha. Se organizó

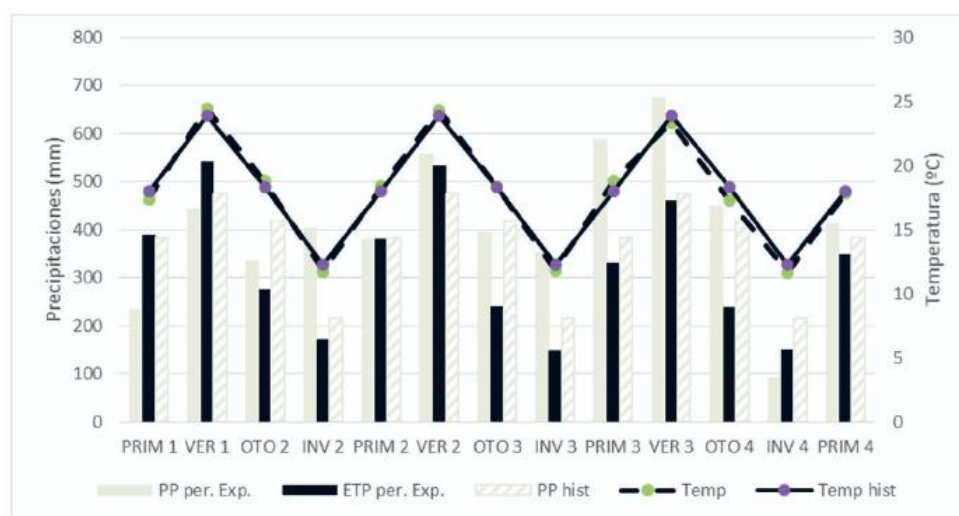


Figura 1. Condiciones climáticas para el periodo de experimental (15 de mayo 2011 al 20/9/2015) y para el promedio de la serie de años que abarca desde 2002 al 2015. Las barras grises de PP per. Exp. indican las precipitaciones del periodo experimental, las barras negras de ETP per. Exp. indica la evapotranspiración del periodo experimental, las barras con franjas inclinadas de PP hist indican las precipitaciones históricas. La línea entrecortada negra Temp indica la temperatura en el periodo experimental y la línea entera negra Temp hist la temperatura de la serie histórica.

Figure 1. Climatic conditions for the experimental period (May 15, 2011 to 9/20/2015) and for the average of the series of years from 2002 to 2015. The gray bars of PP per. Exp. indicate the precipitations of the experimental period, the black bars of ETP per. Exp. indicate the evapotranspiration of the experimental period, the bars with inclined stripes of PP hist indicate the historical precipitations. The dashed black line Temp indicates the temperature in the experimental period and the solid black line Temp hist the temperature of the historical series.

la información clasificando las variables por estación y por año y se realizaron análisis uni y multivariados. Se testearon diferentes modelos de análisis optándose por el modelo general lineal dado que presentó los menores valores de AIC y BIC. Se testeó el efecto de la dotación, el año y la interacción de los factores para las variables determinadas. Para el análisis integrado de las variables se organizaron base de datos que permitieran su análisis mediante métodos multivariados con el programa estadístico R (versión 3.3.0), realizándose inicialmente análisis mediante Random Forest (Breiman, 2001) y posteriormente árboles de clasificación y regresión (Flores *et al.*, 2016).

Evaluación del modelo

Para evaluar los tres modelos se utilizó la metodología propuesta por Piñeiro *et al.* (2008) denominada regresión entre los valores observados (eje Y) y predichos (eje X), utilizando el coeficiente de determinación como medida de la proporción de la varianza de los valores observados que fueron explicados por los predichos (Gauch *et al.*, 2003; Lobell *et al.*, 2005; Piñeiro *et al.*, 2008; Flores *et al.*, 2017). Se fraccionó la base de datos de manera aleatoria en dos, en donde el 70 % de los mismos fueron utilizados para modelar las respuestas y el 30 % para testear los mismos (Piñeiro, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción anual y estacional de materia seca según la dotación utilizada.

No existieron diferencias significativas para la producción total de biomasa aérea promedio por año en

la de vida útil para las distintas dotaciones utilizadas ($6818 \pm 225 \text{ kg MS ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). La producción total en los 4 años fue de 29369 kg/ha MS . Existieron diferencias significativas entre los años siendo el tercero significativamente diferente del segundo y ambos del primero y cuarto (Figura 2).

La menor producción del primer año se debió a que las especies pasan por lo menos tres meses del tiempo en etapa de establecimiento lo que determina una menor capacidad de utilización del ambiente dado que gran parte de la energía solar que llega a la superficie del suelo no es eficientemente interceptada por el bajo vigor de las semillas de las especies perennes sembradas y en consecuencia el escaso tamaño inicial de las hojas (Harper, 1977; Descalzi *et al.*, 2020). Los procesos de formación de estructuras vegetativas (folíolos y macollos) a partir de las semillas de especies perennes son lentos (Chapman y Lemaire, 1993) y generalmente, en el área donde se realizó el estudio, se producen condiciones de temperaturas más bajas que las ideales y excesos hídricos, dado que las pasturas se siembran en otoño/invierno, restringiendo y prolongando aún más la etapa de establecimiento (Harper and Benton, 1966; Zanoniani, 2010; García-Favre *et al.*, 2017). (). Sumado a esto, al final de primavera principios de verano se estableció un periodo de déficit hídrico significativo (Figura 1) que determinó la muerte de plantas de las especies sembradas y el no pastoreo en la misma ya que los tratamientos no alcanzaron los criterios de ingreso estipulados. La caída de producción del cuarto año es consecuencia de la mortalidad de gran parte de especies sembradas y en particular de la fracción leguminosa (ver debajo), dado que en general son menos tolerantes a enfermedades de raíces y corona y más susceptibles al pastoreo como *Lotus corniculatus* (Al-

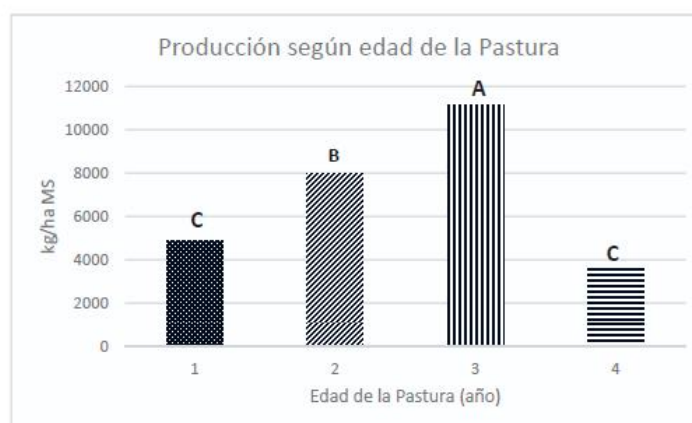


Figura 2. Producción anual de materia seca (kg/ha MS) según edad de la pastura.

Figure 2. Annual dry matter production (kg/ha DM) according to pasture age.

tier, 2010), o más dependientes del contenido de agua en el suelo por su escaso sistema radicular como en el caso de *Trifolium repens* cv Zapican (Formoso, 2007).

Composición botánica de la pastura a lo largo de su vida útil

El comportamiento promedio en el tiempo de las distintas fracciones de la composición botánica y en las distintas dotaciones fue similar, en cambio e independientemente de la dotación sí existieron diferencias entre las mismas al envejecer la pastura (Figura 3).

La evolución de la composición botánica distintas fracciones estudiadas de la pastura evidencian diferencias con los estudios clásicos de Carámbula y Santiñaque (1978), Ríos (1999) que reportan el incremento del enmalezamiento de especies subtropicales (*Cynodon dactylon*, *Paspalum dilatatum*) a medida que transcurren los años relacionado a la pérdida de las especies sembradas. En el presente estudio los mayores valores se dan en el primer año como consecuencia de la mayor importancia de las especies arvenses anuales invernales no sembradas (*Anthemis cotula*, *Echium plantagineum*, *Ammi sp*, *Veronica persica*, *Cerastium glomeratum*, *Anagallis arvensis*), que van perdiendo importancia a medida que transcurre el tiempo por mayor cubrimiento de espacio por parte de las especies sembradas, en especial *Festuca arundinacea* que aumenta el número de macollas a lo largo de su vida útil. Además,

el *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* incrementan su participación hasta finales del segundo año de vida, pasando a reducir su participación posteriormente debido que el sistema radicular superficial del primero (Formoso, 1996) y aumento de enfermedades de raíz y corona en el segundo limitan su persistencia (Altier, 2010) como fue expresado anteriormente. Ésta disminución de las leguminosas determinó un incremento del suelo descubierto y aumento momentáneo de la disponibilidad de nitrógeno que son capitalizados por el grupo de especies de gramíneas anuales estivales como *Digitaria sanguinalis*, *Brachiaria platifolia*, *Echinochloa colona*, *Cenchrus pauciflorus*, que se pueden caracterizar como oportunistas (Grime, 2002), que aprovechan la disponibilidad de recursos y disminución de competencia por los mismos del grupo de conforman las especies anuales invernales, siendo coincidente con lo mencionado por Dodd (1995) y López (2006). Es de destacar que ambos grupos de malezas juntamente con las especies sembradas aportan biomasa de forraje y protección del recurso suelo frente a factores erosivos como vientos y lluvias estivo/otoñales (Gaitan et al., 2021) y además muchas de ellas son clasificadas como tiernas/finas de adecuad de medio alto valor pastoral (Rossengurt, 1979) por lo que su condición de "malezas" puede ser relativizado según la función que cumpla en el sistema (Flores et al., 2017).

Sin embargo, a pesar de esta disminución en el porcentaje de especies sembradas, la misma, superó duran-

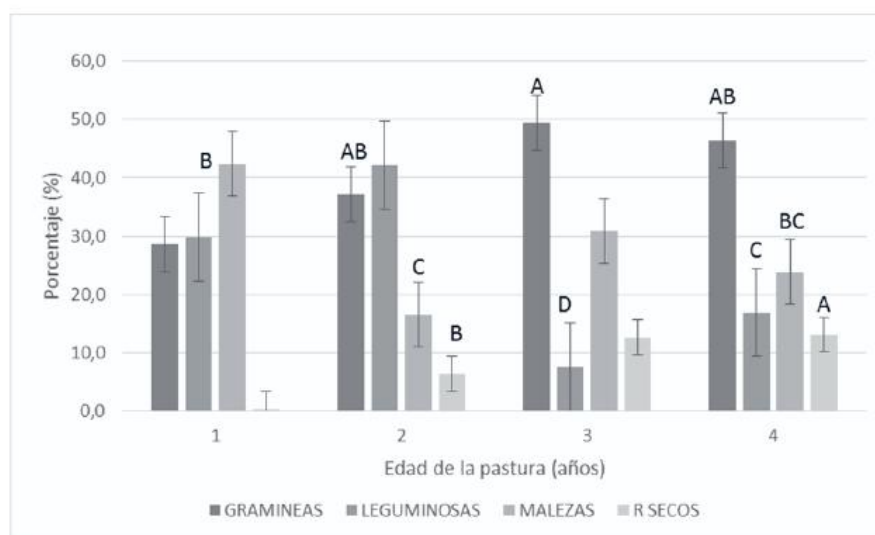


Figura 3. Composición botánica de la pastura a lo largo de su vida útil. Letras distintas indican diferencias entre años para una misma fracción de la composición botánica.

Figure 3. Botanical composition of the pasture throughout its useful life. Different letters indicate differences between years for the same fraction of the botanical composition.

te toda su vida el 55% lo cual es un valor adecuado para praderas con más de tres años de vida, además de finalizar la vida útil de la misma con aproximadamente el 60 % de gramíneas y leguminosas (mayoritariamente *Festuca arundinacea*) que posibilita la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo (Carámbula, 2010). En este sentido Sawchik (2001) menciona que una adecuada proporción de especies sembradas disminuye la proporción final de gramíneas tropicales, las que por su alta relación carbono/nitrógeno perjudican la productividad de los cultivos sucesores de la rotación.

Efecto de la dotación en la producción de materia seca

Se detectó una interacción significativa entre año y dotación para producción de forraje (Figura 4). Las diferencias en la producción de materia seca entre los tratamientos difícilmente pueden ser sólo explicadas por la variación de la carga manejada, dado que una baja o alta carga puede determinar respuestas diferentes en la capacidad fotosintética del forraje remanente o disponible y condicionar el rebrote de la pastura y/o el desempeño animal según sean las condiciones climáticas de las estaciones.

Por esta razón se decidió realizar un análisis de árboles de clasificación y regresión (CART) en el cual se cuantificó la importancia de las variables determinadas (Cuadro 1) en explicar la capacidad de producción estacional de forraje por un lado y de la producción animal por otro. Para realizar los árboles, e identificar que variables utilizar en los modelos, se realizó inicialmente un análisis de Random Forest (Breiman, 2001). Mediante este análisis se detectó cuáles fueron las principales

variables que explicaron en mayor medida el comportamiento de la productividad vegetal y animal. En este sentido la estación del año fue la variable que más explicó el comportamiento de la pastura y juntamente con el balance hídrico y radiación PAR se constituyeron en las más variables que produjeron mayor efecto en la variable respuesta, las cuales se caracterizan por ser escasamente controlables, mientras que el forraje disponible, desaparecido, crecimiento en altura las más importantes dentro de las manejables (Figura 5).

Con esta información se construyeron árboles de decisión para las variables climáticas, la producción de forraje, la producción de carne visualizándose en la Figura 6 el correspondiente a la producción de forraje.

La primavera se diferencia ($p < 0.001$) del resto de las estaciones dado que en promedio presentó temperaturas medias de 19 °C (Figura 1) las que son consideradas óptimas (Cooper y Tainton, 1975, Carámbula, 2010) para el crecimiento de las especies templadas que componen la pradera evaluada. Además, es en esta estación donde se dan condiciones de precipitaciones mayores a la evapotranspiración (a excepción del primer año) y coincide con el pasaje a estado reproductivo que determina una mayor redistribución de asimilatos a la parte aérea y mayor eficiencia fotosintética por una mejora en la distribución de la luz a través del canopeo (Parson, 1988). Dentro de esta estación la primera discriminación estuvo dada por la cantidad de forraje desaparecido, el cuál marca en gran medida la cantidad de forraje utilizado durante el proceso de pastoreo. Los valores de producción que se pueden lograr se encuentran entre 2831 y 5179 kg/ha MS siendo los factores de manejo los que determinan el logro de estos altos crecimientos.

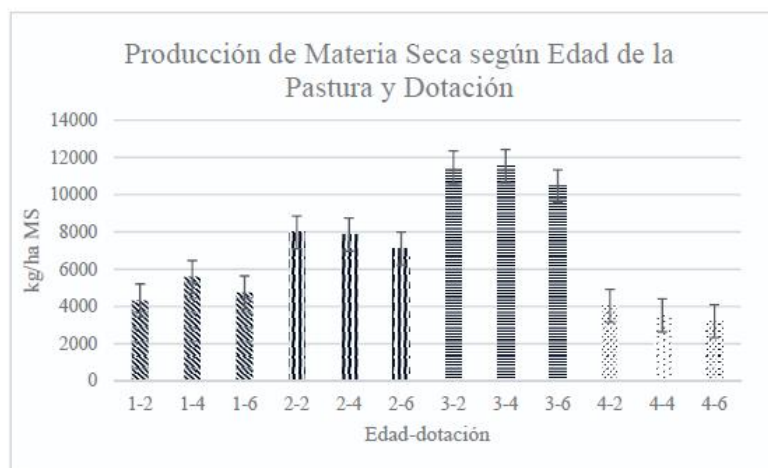
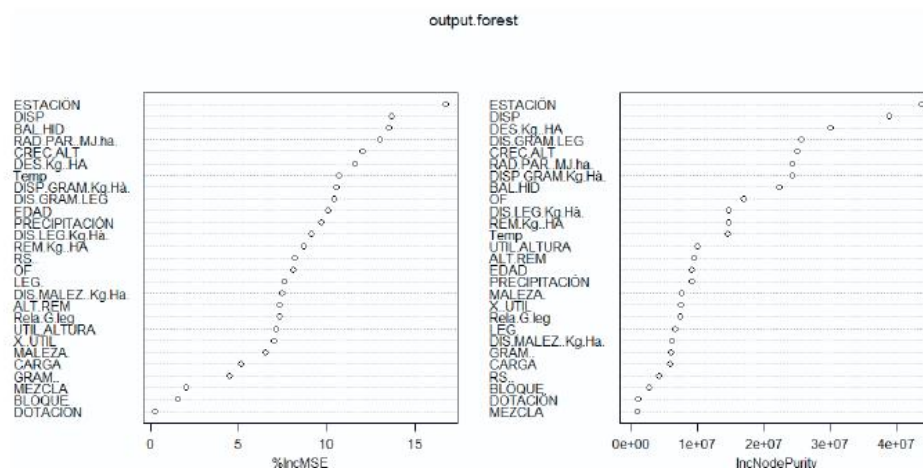


Figura 4. Producción de materia seca a lo largo del tiempo según la dotación animal utilizada.

Figure 4. Production of dry matter over time according to the number of animals used.

Con las temperaturas y precipitaciones mencionadas en el párrafo anterior la pastura logra producir la mitad de biomasa de todo el año y condiciona la posterior la utilización del manejo de pastoreo para alcanzar altos potenciales de intercepción de la radiación, uso

del agua, que permiten elevados niveles de cosecha de forraje por parte del animal y preparación de las especies sembradas para el verano que es la estación más crítica para su sobrevivencia (Zanoniani y Lattanzi, 2017). Por otro lado, deja en manifiesto el alto impacto



DISP: Disponible de forraje; BAL HID: Balance hídrico; RAD PAR MJ/ha: Radiación PAR en megajoule/hectárea; CREC ALT: Crecimiento en altura del forraje; DES kg/ HA: Desaparecido por ha de forraje; Temp: Temperatura; DISP GRAM kg ha: Disponible de gramínea kg/ha, Disp GRAM LEG: disponible suma gramínea más leguminosa; EDAD: años de vida de la pastura; DIS LEG kg Há: Disponible de leguminosa kg/há; REM kg.HÁ: remanente hg/ha; RS.: Resto Secos; OF: Oferta de Forraje; LEG: % de leguminosa; DIS MALEZ. Kg Ha: disponible maleza kg/ha; ALT REM: Altura forraje remanente; Rela. G. leg: relación gramínea/leguminosa; UTIL ALTURA: Utilización animal en altura; % UTIL: porcentaje de utilización de forraje; MALEZA: % Maleza; CARGA: Carga animal kg PV/ha; GRAM: % Gramínea; Dotación: número de animales por hectárea.

Figura 5. Análisis multivariado Random Forest, % Variable explicada: 82,8 para toda la base de datos de Producción de forraje. Árbol de clasificación y regresión.

Figure 5. Random Forest multivariate analysis, % Variable explained: 82.8 for the entire Forage Production database. Classification and regression tree.

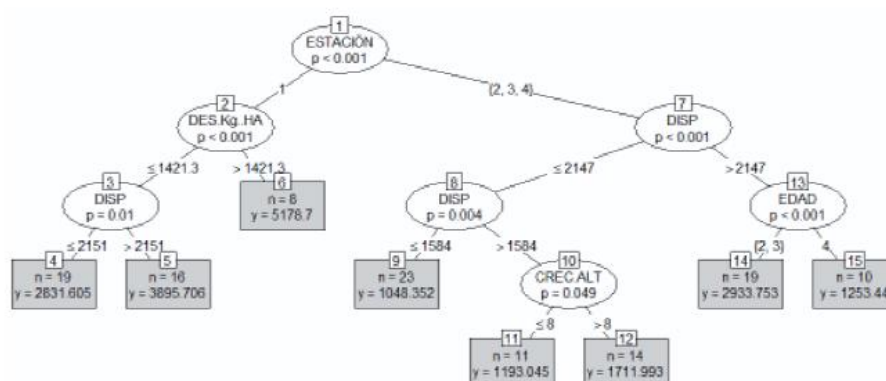


Figura 6. Árbol de clasificación y regresión para producción de forraje estacional

Figure 6. Classification and regression tree for seasonal forage production.

que tienen en los sistemas productivos que no se den dichas condiciones climáticas (primaveras secas) dado que condicionan no sólo la producción sino la sustentabilidad de este en el corto plazo. Estas condiciones óptimas de crecimiento determinaron que la cantidad de cosecha de este sea en gran medida responsable de la capacidad fotosintética del forraje remanente luego del pastoreo. Los desaparecidos por pastoreo mayores a $1421 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$ permiten en esta estación mantener un tapiz con mayor proporción de material verde fotosintéticamente muy activo determinando una mayor transformación de condiciones de luz, temperatura y precipitaciones de dicha estación en biomasa vegetal (Chapman y Lemaire, 1993). Además, ésta mayor desaparición remoción de biomasa disminuye desde etapas tempranas de la primavera la inhibición del pasaje al estado reproductivo de las especies templadas sobre la formación de hojas y macollas mayor fue la producción de forraje. Por el contrario, con desaparecidos menores a $1421 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$ por pastoreo (e.i., con pastoreos con mayor disponibilidad) se favorece una mayor acumulación de material senescente y tallos florales determinando una pastura de estructura más alta. Limitándose consecuentemente el crecimiento posterior a los pastoreos en esta estación, en donde la cantidad de estos se hacen máximos dado que las alturas objetivas (20 cm) se alcanzaban aproximadamente a los 30 días de rebrote post pastoreo. Con esta estructura de la pastura mayoritariamente formada de hojas los pastoreos más aliviados permiten un mayor crecimiento de una mayor proporción de tallos y vainas frente a láminas lo que marca una disminución de la calidad de la pastura, una priorización de los metabolitos a la biomasa aérea y una posible limitación en su futuro rebrote (Formoso, 1996).

En el resto de las estaciones (verano, otoño e invierno) la variable de mayor importancia en determinar la producción de forraje de la pastura fue el forraje disponible, obteniéndose los mayores valores con disponibles del orden de los $2000 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$ y los mínimos con situaciones extremas de $700 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$, este último es más similar a un remanente que a un disponible. Por otro lado, estas menores productividades se acentúan más cuando las pasturas llegan a su 4to año y van perdiendo gran parte de las especies sembradas en especial la componente leguminosa. Bajo estas estaciones más críticas de producción de forraje en donde la temperatura ambiente, radiación y precipitaciones puede ser limitantes, trabajar con disponibles del orden de los $2100 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$ que se relacionan con frecuencias de defoliación bajas, permitió una mayor capacidad de la planta para extraer agua del suelo (Ordoñez et al., 2018) posiblemente por un mayor desarrollo radical un mejor contenido de reservas orgánicas y una mayor cobertura. Además, si bien pudo existir una menor eficiencia fotosintética por unidad de hoja, es posible

que trabajar a mayores coberturas de suelo por mayor disponibilidad haya permitido lograr mayores eficiencias por unidad de superficie, siendo coincidente por estudios realizados por García-Favre et al., 2021 y por Cullen et al., 2006.

El árbol de regresión utilizando como variable respuesta la producción de materia seca permite apreciar que la estación del año (EST) como conjunto de factores climáticos es la primera variable clasificatoria ($p < 0,001$), por esa razón se estudió cuáles fueron las variables climáticas que estaban definiendo el comportamiento de dicha producción (Figura 7).

Del análisis del comportamiento de las diferentes variables climáticas se logra detectar la alta relación existente entre producción de forraje y radiación PAR, cuando la misma es mayor la potencialidad de producción también lo es y, por lo tanto, el modelo discrimina las estaciones de primavera y verano del resto. Sin embargo, la segunda jerarquía de clasificación la marca la temperatura, determinando que cuando incrementa hasta ser igual o menor a 24°C la producción se aumenta lo cual es coincidente con los valores de máxima elongación foliar de gramíneas templadas (Peacock, 1976) y coincide con los rangos de temperaturas que se dan en la primavera (Figura 1). Si la temperatura promedio supera los 24°C , marcando que se encuentra en verano, la producción disminuye alcanzando los valores mínimos de $1114 \text{ kg ha}^{-1}\text{MS}$ en la estación, indicando que la temperatura es más importante en limitar la producción en estas especies templadas que las precipitaciones, lo que es coincidente con la menor capacidad de desarrollo de macollos de festuca en esta estación (Jauregui et al., 2017). El mayor valor de producción de forraje se alcanzó cuando a estos altos valores de radiación y temperaturas iguales o menores de 24°C se combinan precipitaciones menores o iguales a 387 mm por estación, lo que permite una eficiente transformación de la mayor cantidad luz y del nitrógeno liberado desde la biomasa microbiana del suelo en biomasa vegetal con una alta tasa de elongación foliar; alta tasa fotosintética y de asimilación neta (Chapman y Lemaire, 1993). Estas condiciones determinan al pasaje al estado reproductivo de las especies sembradas y las implicancias en una mejor distribución de la luz a estratos inferiores, hojas de mayor elongación y distribución de asimilatos en favor a la parte aérea (Parson 1988). La disminución en la biomasa producida a mayores precipitaciones se explica por una mayor cantidad de días con lluvias y por lo tanto menor cantidad de radiación efectivamente recibida que limita la eficiencia de transformación de luz y en biomasa aérea (Ventura Ríos et al., 2020). La menor producción del lado izquierdo del árbol de clasificación está determinada por una menor radiación incidente y precipitaciones mayores a 400 mm , que son características que indican condiciones desfavorables para la fotosíntesis y liberación de nutrientes por

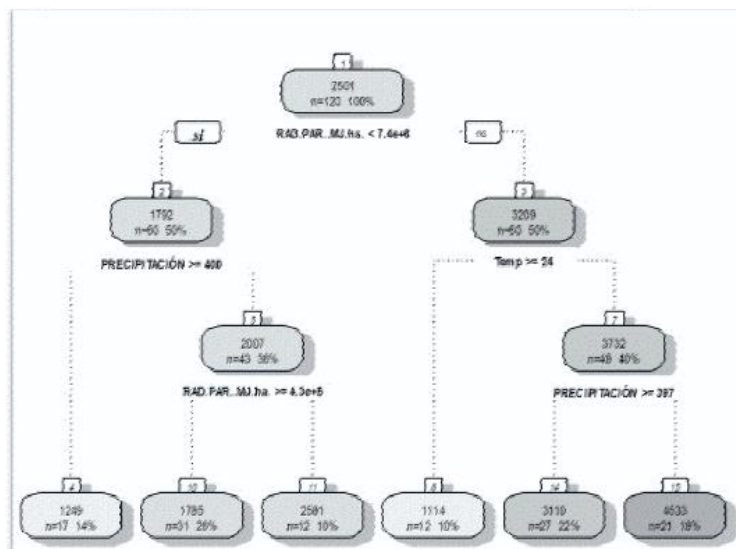


Figura 7. Árbol de clasificación y regresión para las variables climáticas y su efecto en la producción de forraje estacional.
Figure 7. Classification and regression tree for climatic variables and their effect on seasonal forage production.

parte de la biomasa microbiana del suelo y por lo tanto limitantes importantes para la fotosíntesis (Nabinger, 1998). La menor producción a radiaciones mayores a 4.3×10^6 mJ pero menores a 7.4×10^6 mJ, permite suponer que se encontraría en la estación de otoño, que se caracteriza al comenzar la misma por una menor productividad dados los efectos climáticos del verano (temperaturas altas, balances de agua negativo) sobre las especies templadas que demoran su rebrote otoñal ya que deben reconstruir la mayor parte de su aparato foliar, adaptar sus hojas a las nuevas condiciones de temperatura y luz y reiniciar los procesos de macollaje (Jauregui *et al.*, 2017, García-Favre *et al.*, 2022).

Producción de peso vivo (kg/ha PV).

La producción de carne presentó similar comportamiento que la producción de forraje, siendo la primavera la estación de mayor productividad, relacionándose la misma con la carga que es la que determinó la utilización de la biomasa disponible (Figura 8).

El manejo de cargas mayores a 1121 kg ha^{-1} de PV permitieron lograr producciones del orden de los 489 kg ha^{-1} de PV. Las cargas anteriormente mencionadas suponen una dotación de por lo menos 4 animales por ha dado el peso promedio de ingreso fue de 300 kg por animal para las producciones máximas y de 2 animales para las producciones mínimas. Si se considera un consumo potencial del 3 % PV (Lyons *et al.*, 2001), el consumo de forraje en la estación (91 días) alcanzaría a 3276

kg ha^{-1} MS con 4 novillos ha^{-1} y 1638 kg ha^{-1} MS en 2 novillos ha^{-1} , con las producciones máximas en esta estaciones del orden de 5100 kg ha^{-1} MS esto determina una utilización del 64 % para la dotación más alta y 32 % para la más baja. Este comportamiento refuerza la necesidad del mantenimiento de dotaciones (4 novillos/ha) o cargas de al menos 1121 kg ha^{-1} PV en las estaciones de alta producción de forraje (primavera) para mantener una alta proporción de hojas nuevas con adecuada relación lámina/vaina, con alta eficiencia fotosintética y además un alto contenido de carbohidratos solubles y proteína que determina una elevada calidad de las pasturas que se traducen en altas ganancias individuales y producciones de carne por superficie (Zanoniani, 2014; García-Favre *et al.*, 2021). Las cargas entre 550 y 1121 kg ha^{-1} de PV permitieron producciones del orden de los 385 kg ha^{-1} de PV, menores a las anteriores pero funcionales ante escenarios de primaveras con precipitaciones menores a los promedios históricos como consecuencia del fenómeno Niña en el área de Sudamérica como los ocurridos en los últimos 3 años (2020, 2021 y 2022) o a medida que envejece la pastura.

Evaluación del modelo

Como fue descripto en materiales y métodos se evaluó la confiabilidad de los modelos mediante la metodología propuesta por Piñeiro *et al.* (2008). La figura 9 muestra los principales resultados obtenidos para los tres modelos testeados.

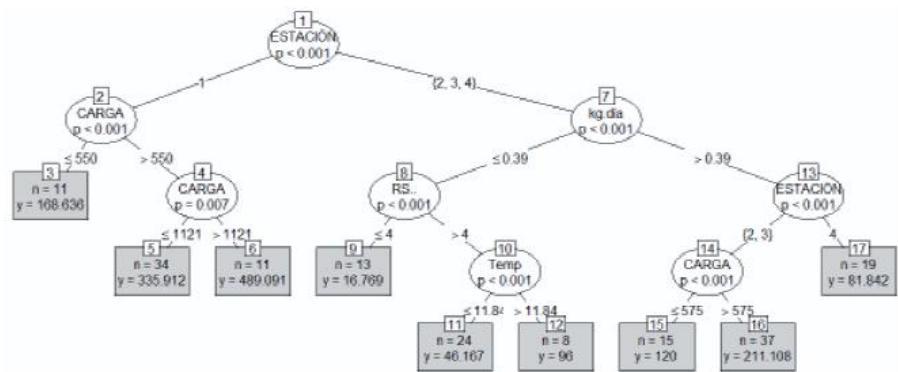


Figura 8. Árbol de clasificación y regresión para producción estacional de carne (kg/ha).
Figure 8. Classification and regression tree for seasonal meat production (kg/ha).

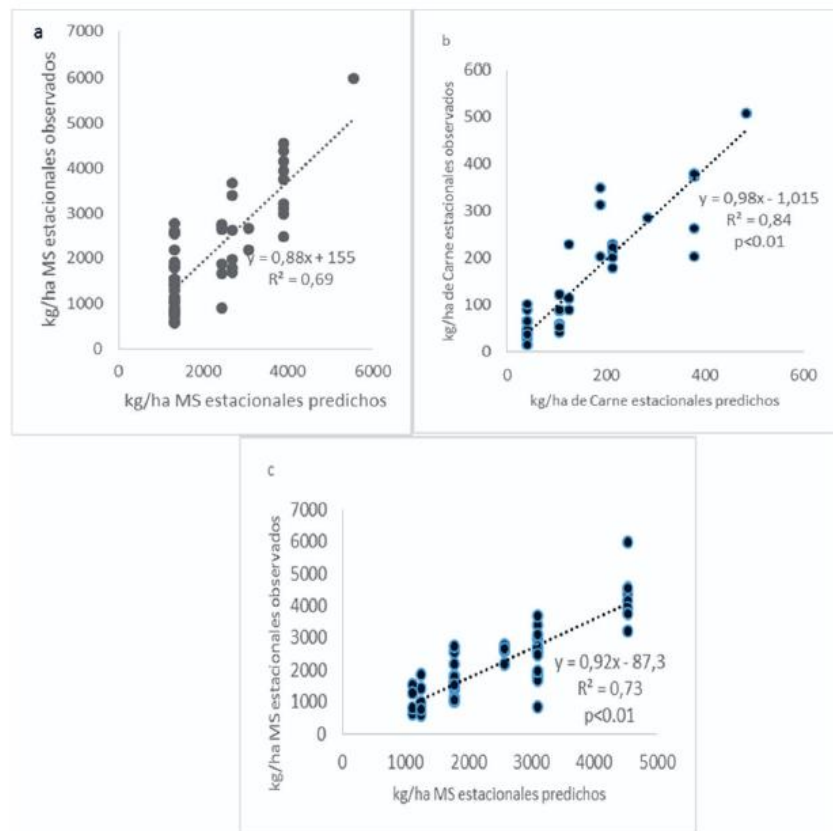


Figura 9. Regresión entre los valores observados (eje Y) y predichos (eje X) para la producción de MS estacional (a), producción de carne estacional (b) y variables climáticas.
Figure 9. Regression between observed (Y axis) and predicted (X axis) values for seasonal DM production (a), seasonal meat production (b) and climatic variables.

Los valores de R^2 de 0,69 ($P < 0,01$) para la producción de forraje, de 0,84 ($P < 0,01$) para la producción de carne y 0,73 ($P < 0,01$) para las variables climáticas, indicaron que la precisión de los modelos de árbol de decisión es confiable en sus predicciones (Flores, 2016, Caram et al., 2021). Además, dejan en evidencia que, si bien las variables climáticas en especial radiación, temperatura y precipitación son extremadamente importantes en determinar la producción, las mismas deben ser correctamente aprovechadas con un adecuado manejo del pastoreo de la biomasa disponible y cosechada (desaparecida) para poder alcanzar altas producciones de forraje y carne, manteniendo una adecuada composición botánica de la pastura.

CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas surgen como las determinantes de la producción de forraje y carne, sin embargo, dentro de una estación o grupo de ellas, el manejo de la pastura se vuelve fundamental para lograr la obtención de adecuados desempeños de la pastura y de los animales. Las condiciones climáticas primaverales determinaron la mayor producción primaria y secundaria; siendo el manejo del forraje disponible mediante su consumo por parte animal con cargas del orden de los 1200 kg ha⁻¹ de PV lo que posibilitó alcanzar valores de producción de carne. En las estaciones más limitantes como verano, otoño e invierno, el manejo de 2150 kg ha⁻¹ de MS disponible permitió lograr altas producciones estacionales para el segundo y tercer año y mantener la pastura en condiciones productivas hasta la llegada del periodo primaveral. Finalmente, la ocurrencia de por lo menos un verano de los evaluados con marcada deficiencia hídrica relativizaría el manejo de las altas cargas primaverales, siendo aconsejable el manejo de menores y realizar reservas de forraje para utilizar en periodos potencialmente críticos. La disminución de la productividad en el cuarto año indica que no sería conveniente mantener las pasturas más allá del otoño/invierno.

REFERENCIAS

- Altamirano, A., Da Silva, H., Duran, A., Echevarría, A., Panario, D. y Puentes, R. 1976. "Clasificación de suelos de Uruguay". Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- Altier, N. 2010. Enfermedades en pasturas. En *Enfermedades y Plagas en Pasturas*, Serie Técnica N° 183 INIA, pp. 19-36
- Álvarez, J. 2020. Crecimiento de la productividad agraria en Nueva Zelanda y Uruguay, (1930-1966). <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26288/1/DT%20PHES%2062.pdf>
- 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
- Breiman, L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Brown, D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berks (Bulletin N° 42) pp. 42-79.
- Carámbula, M., Santiñaque, F. 1979. Comparación de mezclas invernales estivales y complementarias Montevideo (Uruguay): Facultad de Agronomía, 1979. p14
- Carámbula M. 2010. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 2. 371 p.
- Capdevilla, G. 2006. "El lado oscuro de la soja". www.avizora.com/publicaciones/agricultura/textos [Diciembre, 2006].
- Caram N., Casalás F., Soca P., Anfuso V., García-Favre J., Wallau M., Zanoniani R., Cadenazzi M., Boggiano P. 2021. Configuration of daily grazing and searching of growing beef cattle in grassland: observational study. *Animal*, Volume 15, Issue 9, 2021, 100336, ISSN 1751-7311. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100336>
- Campbell, A. G. 1966a. Grazed pasture parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. *J. Agric. Sci., Camb.* 67, 199-210
- Campbell, A. G. 1966b. Grazed pasture parameters. II. Pasture dry matter use in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. *J. Agric. Sci., Camb.* 67, 211-216
- Chapman D. F., Lemaire G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. En: Baker MJ. (Eds.). *Grassland of our World*. Wellington, SIR. 95-104.
- Chilibroste, P., Soca, P., Betancur, O., Mattiauda, D. 2010. Estudio de la conducta en pastoreo de vacas Holando de alta producción: síntesis de 10 años de investigación sobre relación planta animal suplemento en la Facultad de Agronomía-EEMAC Agrociencia, Uruguay, 3:101-106.
- Cooper, J.P.; Tainton, N. M. 1968. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 38: 167 - 176.
- Cullen, B.R., Chapman, D.F., Quigley, P. E. 2006. Comparative defoliation tolerance of temperate perennial grasses. *Grass and Forage Science* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00548.x>
- Descalzi, C. A., López, I. F., Kemp, P. D., Dörner, J., & Ordóñez, I. (2020). Pasture restoration improvement methods for temperate degraded pastures and consequences of the climatic seasonality on soil-pasture complex. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(1), 130-147.
- Dodd M., Silvertown J., McConway K., Potts J., Crawley M. 1995. Community Stability: A 60-Year Record of Trends and Outbreaks in the Occurrence of Species in the Park Grass Experiment. *Journal of Ecology*, Vol. 83, No. 2 (Apr, 1995), pp. 277-285 (9 pages). <https://doi.org/10.2307/2261566>
- Duff, T. J., Bell, T. L., York, A. 2012. Patterns of plant abundances in natural systems: is there value in modelling both species abundance and distribution?. *Australian Journal of Botany* 59, 719-733. <http://dx.doi.org/10.1071/BT11017>
- Everitt, B., Hothorn, T., 2011a. Cluster Analysis, in: Everitt, B., Hothorn, T. (Eds), *An introduction to Applied Multivariate Analysis with R*. Springer, New York, pp. 162-200.

- Flores, P.G., López, I.F., Kemp, P.D., Dörner, J., Zhang, B. 2016. Modelo de Árbol de Decisión: una herramienta para el manejo de la pradera. *Agro Sur* 44(2), 3-10. DOI:10.4206/agrosur.2016.v44n2-02
- Flores, P., López, I., Kemp, P., Dörner, J., Zhang, B. 2017. Prediction by decision tree modelling of the relative magnitude of functional group abundance in a pasture ecosystem in the south of Chile. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 239 (2017) 38-50.
- Formoso, F. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. In: RISSO, D.; BERRETTA, E.J.; MORON, A. (Eds.). Producción y manejo de pasturas. Seminario técnico, 17-19 octubre 1995, INIA Tacuarembó. Montevideo (Uruguay): INIA, 1996. p 1-19 (INIA Serie Técnica; 80).
- Formoso, F. 2007. Jornada instalación y manejo de pasturas. Serie actividades de difusión N° 483, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA La Estanzuela, Uruguay, pp. 19-39. http://www.urf.com.uy/IMG/pdf/Jornada_INIA_Manejo_2007_Pasturas.pdf
- Frank, C. 2006. Impacto agroecológico de la expansión y la intensificación agrícola. Evaluación en la región pampeana de Argentina y su aplicabilidad al Bioma Campos. En: XXI Reunión del Grupo Técnico en Forrajes del Cono Sur Grupo Campos, Pelotas, RS, pp 31-48
- 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-Favre, J., Zanoniani, R., Lopez, I. F., Cadenazzi, M., Sacedo, M., Mailhos, M. E., & 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. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 47(3), 344-353.
- García-Favre, J., López, I., Cranston, L., Donaghy, D. and Kemp, P. 2022. The Growth Response of Pasture Brome (*Bromus valdivianus* Phil.) to Defoliation Frequency under Two Soil-Water Restriction Levels by *Agronomy* 2021, 11(2), 300; <https://doi.org/10.3390/agronomy11020300>
- Gaitan, J., Ciano, N., Oliva, G., Bran, D., Butti, L., Cariac, G., Caruso, C., Opazo, W., Ferrante, D., Echevarria, D., Buono, G., Fantozzi, A., Guirado, E., & Maestre, F. 2021. La variación temporal del índice NDVI predice los cambios temporales de la cobertura vegetal en las tierras secas de la Patagonia argentina: *Ecosistemas*, 30(3), 2229. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2229>
- Gauch, H. G., Hwang, J. T., Fick, G. W. 2003. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal* 95, 1442-1446.
- Grime, J. P. and Mackey, J. M. L. 2002. The role of plasticity in resource capture by plants. *Evolutionary Ecology* 16: 299-307.
- Harper, J., Benton, R. 1966. The behaviour of seeds in soil. II. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate. *Journal of Ecology* 54(1), 151-166.
- Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. Population biology of plants. SN - 9781932846249 <https://books.google.com.uy/books?id=t1NFAQAIAAJ> Y1 - 2010 PB - Blackburn Press
- Haydock, K.P. and Shaw, N.H. 1975. The Comparative Yield Method for Estimating Dry Matter Yield of Pasture. *Australian Journal of Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 663-670. <http://dx.doi.org/10.1071/EA9750663>
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). 2019. Registro nacional de cultivos y registro de propiedad de los cultivos. [En línea] Consultado 11 de mayo 2021. Disponible en: <https://www.inase.uy/Files/Docs/99DA1B3652570EE5.xlsx>
- Jaurena, M., Durante, M., Devincenzi, T., Savian, J. V., Bendersky, D., Moojen, F. G., & Lattanzi, F. A. 2021. Native grasslands at the core: A new paradigm of intensification for the Campos of Southern South America to increase economic and environmental sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 11. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834>
- Jáuregui, J. M., Michelini, D. F., Agnusdei, M. G., J. Baudracco, J., Sevilla, G. H., Chilbroste, P., Lattanzi, F. A. 2017. Persistence of tall fescue in a subtropical environment: tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. <https://doi.org/10.1111/gfs.12252>
- Lyons, R. K., Machen, R., & Forbes, T. D. A. 2001. Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. *Cooperativa de Texas "Extensión" E-100s* (6), 6.
- Lobell, D. B., Ortiz-Monasterio, J. I., Asner, G. P., Naylor, R. L., Falcon, W. P. 2005. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. *Agronomy Journal* 97, 241-249.
- López, I.F., Valentine, I., Lambert, M.G., Hedderley, D.I., Kemp, P.D. 2006. Plant functional groups in a heterogeneous environment. *N. Z. J. Agric. Res.* 49, 439- 450.
- Luscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M. and Peyraud, J.L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69, 206-228.
- Molfino J. H., Calífra A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay. Segunda aproximación División Suelos y Aguas, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, http://www.cebra.com.uy/renare/wp-content/files/mf/1376398534Agua_disponible.pdf.
- Nabinger, C. 1998. Principios de manejo e productividad de pastagens. In: Gottschall, C.S.; da Silva, J.L.S.; Rodriguez, N. C. eds. Ciclo de palestras em producao e manejo de bovinos de corte. Canoas, ULBRA. pp. 54-107.
- Ordóñez, I., López, I., Kemp, P., Descalzi, C., Horn, R., Zúñiga, F., Dec, D., Dörner, J. 2018. Effect of pasture improvement managements on physical properties and water content dynamics of a volcanic ash soil in southern Chile. *Soil and Tillage Research*, Volume 178, 2018, Pages 55-64, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.013>.
- Parsons, A. J. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. The grass crop: the physiological basis of production, 129-177.
- Peacock JM. 1976. Temperature and leaf growth in four grass species. *Journal of Applied Ecology* 13: 225-232.
- Pengue, W. 2015. Dinámicas y Perspectivas de la Agricultura Actual en Latinoamérica. Primera Edición ISBN Licencia

- Creative Commons, Fundación Heinrich Böll Cono Sur, pp 1-215
- Piñeiro, G., Perelman, S., Guerschman, J. P., & Paruelo, J. M. 2008. How to evaluate models: observed vs. predicted or predicted vs. observed?. *Ecological modelling*, 216(3-4), 316-322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.006>
- Prost, L., Cerf, M., Jeuffroy, M. H. 2012. Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for sustainable development* 32, 581-594.
- Ríos, A. 1999. Dinámica y control de *Cynodon dactylon* L. en sistemas pastoriles. *Revista de la Facultad de Agronomía, UBA*, 19(1): 59-67
- Rosengurt, B. 1979. Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Dirección General Extensión Universitaria. Facultad de Agronomía. Montevideo. 86 p
- Tejera, M., Speranza, P., Astigarraga, L. and Picasso, V. 2016. Forage biomass, soil cover, stability and competition in perennial grass-legume pastures with different *Paspalum* species. *Grass and Forage Science* 71(4):575-583. <https://doi.org/10.1111/gfs.12208>. URUGUAY.MGAP.DIEA.2014. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Documentos%20compartidos/Anuario2014/Diea-Anuario%202014-Digital01.pdf>
- Ventura Ríos, J., Hernández Moreno, E., Santiago Ortega, M., Wilson García, C., Maldonado Peralta, M. y Rojas García, A. 2020. Rendimiento de trébol blanco asociado con pasto ovillo a diferentes frecuencias de pastoreo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(spe24), 1-12. Epub 07 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2353>
- Wan, L., Zhang, B., Kemp, P., Li, X. 2009. Modelling the abundance of three key plant species in New Zealand hill-pasture using a decision tree approach. *Ecological Modelling* 220, 1819-1825. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.031>
- Zanoniani, R., 2010. Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia* 14(3), 26-30.
- Zanoniani, R. 2014. Productividad de pasturas sembradas pastoreadas con novillos Holando, 2014. XLII Jornadas de Buiatría, Paysandú, 2014., ISBN: 1688-6674
- 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.
- Zhang, B., Valentine, I., Kemp, P., Lambert, G. 2006. Predictive modelling of hill-pasture productivity: integration of a decision tree and a geographical information system. *Agricultural Systems* 87,117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2004.10.003>
- Zhang, B., Tillman, R. 2007. A decision tree approach to modelling nitrogen fertiliser use efficiency in New Zealand pastures. *Plant and Soil* 301, 267-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2005.04.017>

3. Discusión y conclusiones

A pesar de una baja implantación ambas pasturas alcanzaron producciones cercanas a 30 ttha^{-1} MS en cuatro años, con diferencias de distribución estacional en los dos primeros, relacionado a la mayor contribución de las especies sembradas. DA se destacó por producciones primaverales/estivales/otoñales; en cambio FBL presentó deficiencias estivo/otoñales. Ambas mezclas mostraron gran capacidad de resiliencia invierno/primaveral recuperando anualmente contribuciones cercanas al 90%, al ocupar el espacio liberado por el enmalezamiento estival. *Festuca arundinacea* presentó mayor persistencia con contribuciones del 60% al cuarto año; su menor estabilidad se relacionó al aumento de proporción a largo plazo. *Medicago sativa* fue la leguminosa con mayor estabilidad determinando la importancia de lograr adecuadas poblaciones iniciales. Las gramíneas C4 anuales/bienales fueron las principales especies del enmalezamiento estival, presentando un comportamiento estacional complementario a las especies sembradas. Este comportamiento plantea la interrogante de evaluar su incorporación en las mezclas para incrementar el aporte estival. Con referencia a los factores condicionantes de la productividad, se destacan las condiciones climáticas como determinantes de la producción de forraje y carne. Dentro de una estación el manejo de la pastura fue fundamental para lograr desempeños adecuados de la pastura y animales. Las condiciones primaverales determinaron una mayor producción; el manejo del forraje disponible mediante pastoreo presentó que cargas del orden de los $1200 \text{ kg ha}^{-1} \text{PV}$ (4 nov/ha) posibilitaron las mayores producciones de carne. En el resto de las estaciones el manejo de 2150 kg ha^{-1} MS disponible permitió lograr altas producciones estacionales en el segundo y tercer año y mantener la pastura en condiciones productivas hasta la llegada del período primaveral. Finalmente, la ocurrencia de al menos un verano de los evaluados con deficiencia hídrica relativizaría el manejo de las altas cargas primaverales (6 nov/ha) o la necesidad de su terminación antes de que comience el verano. De lo contrario sería aconsejable manejar cargas menores y realizar reservas forrajeras para utilizar en períodos críticos. La disminución productiva del cuarto año indica la inconveniencia de mantener las pasturas más allá de dicha primavera.

4. Bibliografía

- Bardgett, R. D., Mommer, L. y De Vriests, F. T. (2014). Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. In: *Ecology and Evolution*, 29: 692-699.
- Barthram, G.T. (1996). Strategies of plant survival in grazed systems: a functional interpretation. En J. Hodgson, J. y A. W. Illius (eds.), *The ecology and management of grazing systems*, pp. 37-67. CABI International.
- Boggiano, P., Zanoniani, R. y Millot, J. C. (2005). Respuestas del campo natural a niveles crecientes de intervención. En R. Gómez Miller y M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de Actualización Técnica en manejo de campo natural*, Serie Técnica N° 151, pp. 105-114. INIA.
- Conant, R., Paustin, K. y Elliott, E. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Society of America*, 11(2): 343-355.
- Carámbula, M. (2010). *Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forrajes*. Hemisferio Sur.
- Carvalho, P. C. F., Nabinger, C., Lemaire, G. y Genro, T. C. M. (2011). Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. En S. R. Feldman, G. E. Oliva y M. B. Sacido (eds.), *IX International Rangeland Congress*, pp. 9-15. Universidad de Rosario.
- Chen, S., Lin, S., Loges, R., Reinsch, T., Hasler, M. y Taube, F. (2016). Independence of seasonal patterns of root functional traits and rooting strategy of a grassclover sward from sward age and slurry application. *Grass and Forage Science*, 71(4): 607-621.
- Chilibroste, P., Soca, P., Betancur, O. y Mattiauda, D. (2010). Estudio de la conducta en pastoreo de vacas Holando de alta producción: síntesis de 10 años de investigación sobre relación planta animal suplemento en la Facultad de Agronomía-EEMAC. *Agrociencia Uruguay*, 3: 101-106.
- Cooper, J. P. y Tainton, N. M. (1968). Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. *Herbage Abstracts*, 38, 167-176.

- Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA). (2014). *Estadísticas Agropecuarias (2014). Estadísticas del sector lácteo 2013*.
- Elizalde, J. (1999). Suplementación con granos en la producción de carne en animales en pastoreo. En *Congreso Nacional para Productores y Profesionales* (2o., 1999, Palermo). Forrajes y granos. s.n.t. pp. 67– 93.
- Formoso, F. (2007). Conceptos sobre implantación de pasturas. En: Jornada de Instalación y Manejo de Pasturas. Actividades de Difusión INIA 483: 19-39.
- Frank, C. (2006). Impacto agroecológico de la expansión y la intensificación agrícola. Evaluación en la región pampeana de Argentina y su aplicabilidad al Bioma Campos. En *XXI Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur Grupo Campos*, Pelotas, Embrapa, RS, pp. 31-48.
- Fulkerson, W. J. y Slack, K. (1995). Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*; 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and Forage Science* 50 (1): 16-20.
- Gastal, F. y Lemaire, G. (2015). Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*, 5(4), 1146-1171.
- Gatti, M., Ayala Torales, A., Cipriotti, A. y Golluscio, R. (2016). Effects of defoliation frequency and nitrogen fertilization on the production and potential for persistence of *Dactylis glomerata* sown in multispecies swards. *Grass and Forage Science*, 71 (3): 1-13.
- Hodgson, J. (1990). *Grazing management: science into practice*. Longman Scientific & Technical. Whittemore. C.; Simpson. K. (ed). 203 p.
- Instituto Nacional de Semillas (Inase). (2014). Resultados de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras 2014.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, Ngara, Tanabe K. (Eds.). IGES.
- García-Favre, J., López, I. F., Cranston, L. M., Donaghy, D. J., Kemp, P. D. y Ordóñez, I. P. (2023). Functional contribution of two perennial grasses to

- enhance pasture production and drought resistance under a leaf regrowth stage defoliation criterion. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(1): 144-160. <https://doi.org/10.1111/jac.12602>
- Gomez, P. (1988). Engorde de novillos en pastoreo, uso estratégico de la suplementación. En *Crecimiento*. Paysandú, Fagro, 73-101.
- Jankowsca, J; Ciepiela, G; Kolczarek, R; Jankowski, K. (2007). The root creative role of the cultivation of orchard grass and its mixtures with legumes. *Grassland Ecology*, 7: 272-274.
- Koelsch, R. y Lesoing, G. (1999). Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *Journal of Animal Science*, 77: 63-71.
- Lizarralde, C. y Astigarraga, L. (2014). Sustentabilidad ambiental de sistemas de producción de leche. <http://www.researchgate.net/publication/281287216>
- Lucas, H. L. (1963). Determination of forage yield and quality from animal responses. *Miscelánea*, 940: 43-54.
- Luscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M. y Peyraud, J. L. (2014). Potential of legumebased grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69: 206-228.
- Llovet, A., Llurba, R., Aljazairi, S., Mattana, S., Plaixats, J., Nogués, S., Sebastià, M. y Ribas, A. (2024). Nitrogen facilitation was maintained in sown Mediterranean forage mixtures despite drought stress conditions with concurrent general benefits upon plant aboveground water status and yield, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 375:109-187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109-187>.
- Mott, G. O. (1960). Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: *International Grassland Congress (8th., 1960, Oxford).Proceedings* s.n.t. pp. 606–611
- Nabinger, C. (1998). Principios de manejo e produtividade de pastagens. En C. S. Gottschall, J. L. S. Da Silva y N. C. Rodriguez (eds.), *Ciclo de palestras em producao e manejo de bovinos de corte*. Canoas (pp. 54-107). ULBRA Canoas.

- Nabinger, C., Dall'Agnoll, M. E. y De Faccio Carvalho, P. (2007). Biodiversidade e produtividade em Pastagens. En: *Manejo Conservacionista de Pastagem: um Balance de 21 anos de pesquisa, Porto Alegre, Brasil*, CD-Rom.
- Ordóñez, I. P., López, I. F., Kemp, P. D., Donaghy, D. J., Dörner, J., García-Favre, J. y Zhang, Y. (2024). A Short-Term Effect of Multi-Species Pastures and the Plant's Physiological Response on Pasture Growth. *European Journal of Agronomy*, 159: 127-232.
- Parga, J. y Nolberto, T. (2006). Manejo del pastoreo con vacas lecheras en praderas permanentes. *INIA Remehue. Boletín INIA* 148, cap. 6, 12 p.
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J. y Lewis, S. (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2021: 1513–1766.
- Schneider, O. (2005). *Mezclas de especies forrajeras templadas*. Jornada de Actualización Técnica en Pasturas Implantadas 2005, Buenos Aires.
- Tejera, M., Speranza, P., Astigarraga, L. y Picasso V. (2016). Forage biomass, soil cover, stability and competition in perennial grass-legume pastures with different *Paspalum* species. *Grass and Forage Science*, 71(4): 575-583.
- Viglizzo, E. F. (1995). El rol de la alfalfa en los sistemas de producción. En *La alfalfa en Argentina* (pp. 259-272). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Wade, M. H. y Carvalho, P. D. F. (2000). Defoliation patterns and herbage intake on pastures. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI Publishing, 233-248.
- Zanoniani, R. (2010). Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia*, 14(3): 26-30.

- Zhang, Y., García-Favre, J., Hu, H., López, I. F., Ordóñez, I. P., Cartmill, A. D. y Kemp, P. D. (2023). Aboveground Structural Attributes and Morpho-Anatomical Response Strategies of *Bromus valdivianus* Phil. and *Lolium perenne* L. to Severe Soil Water Restriction. *Agronomy* 2023: 13: 2964. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122964>
- Zuo, Y., Du, Z., Zhu, Y. y Zhou, X. (2010). Effects of mixture sowing on forage yield and interespecific competition of Alfalfa and Orchard Grass. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2: 39-41.