

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 interactúan 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 (Háplicos), 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 (Venceweed) 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 (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 Califra, 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

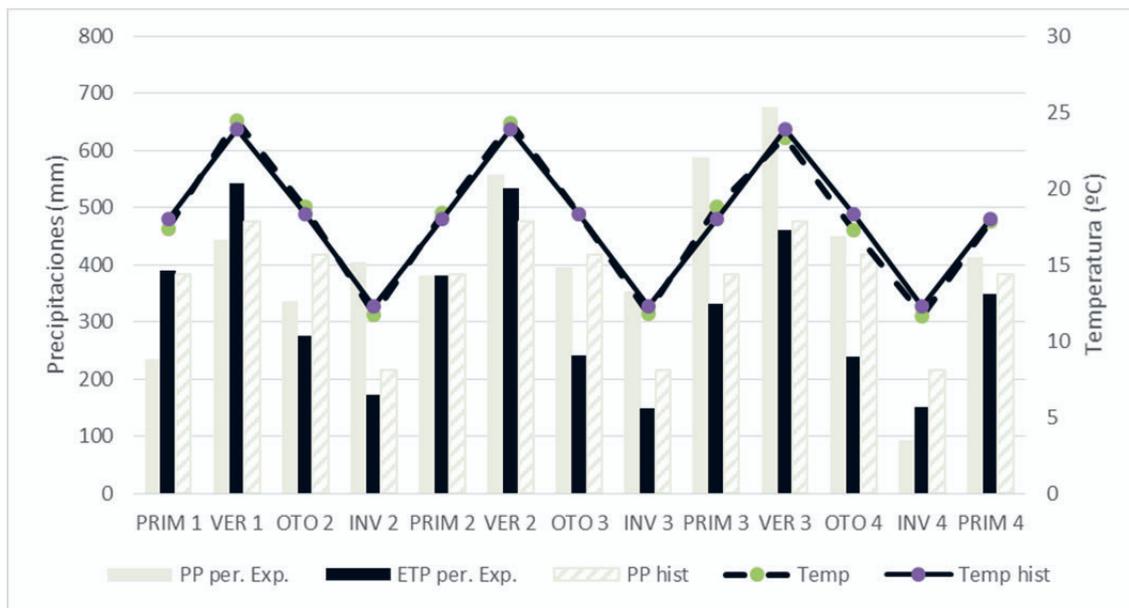


Figura 1. Condiciones climáticas para el periodo de experimental (15 de mayo 2011 al 20/9/2015) y para el promedio de la serie de años que abarca desde 2002 al 2015. Las barras grises de PP per. Exp. indican las precipitaciones del periodo experimental, las barras negras de ETP per. Exp. indica la evapotranspiración 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 ± 225 kg MS $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). 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-

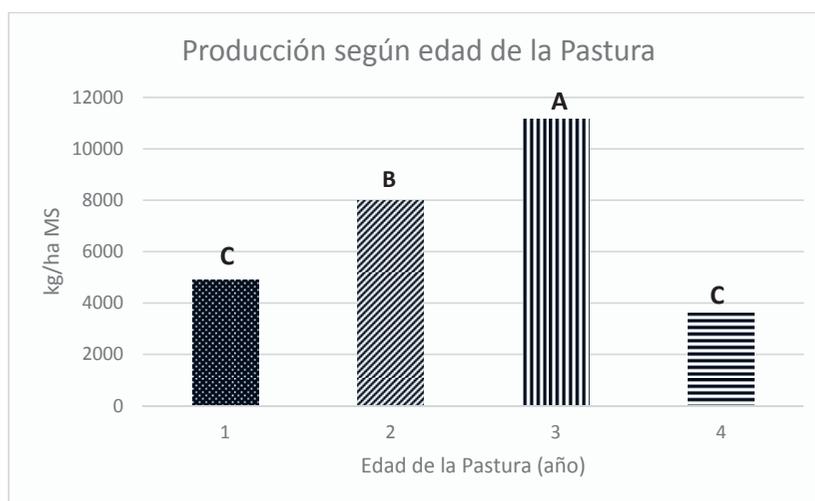


Figura 2. Producción anual de materia seca (kg/ha MS) según edad de la pastura.

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 platifila*, *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 erosionantes 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-

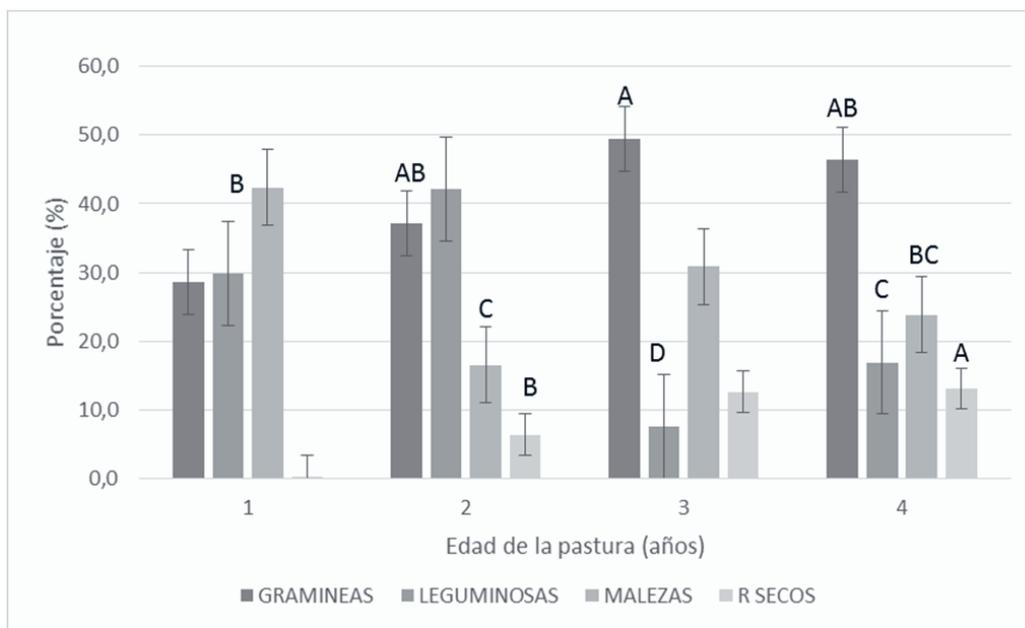


Figura 3. Composición botánica de la pastura a lo largo de su vida útil. Letras distintas indican diferencias entre años para una misma fracción de la composición botánica.

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 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.

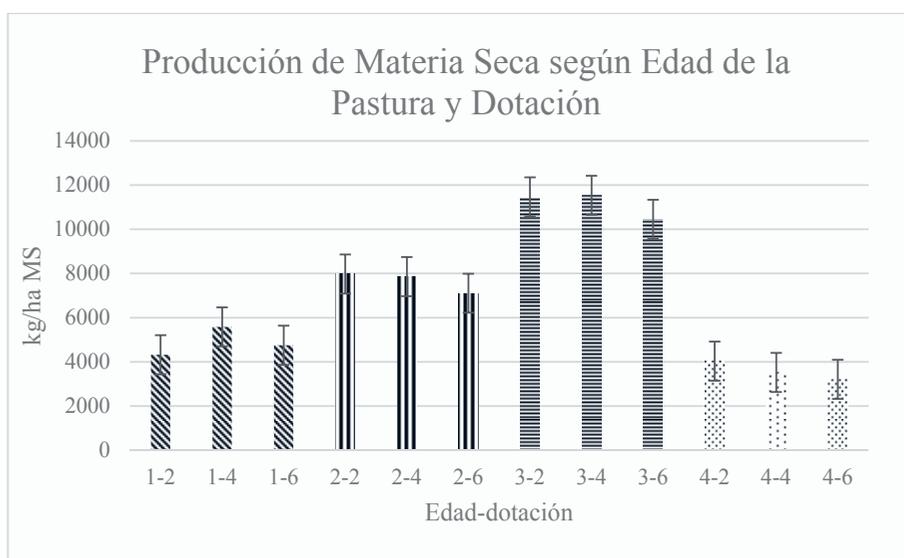
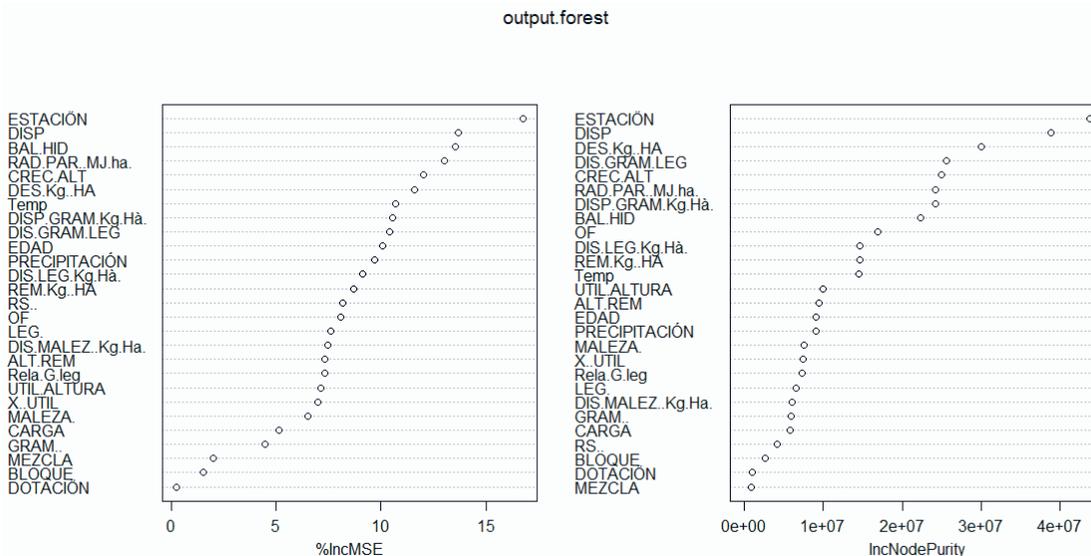


Figura 4. Producción de materia seca a lo largo del tiempo según la dotación animal utilizada.

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 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.

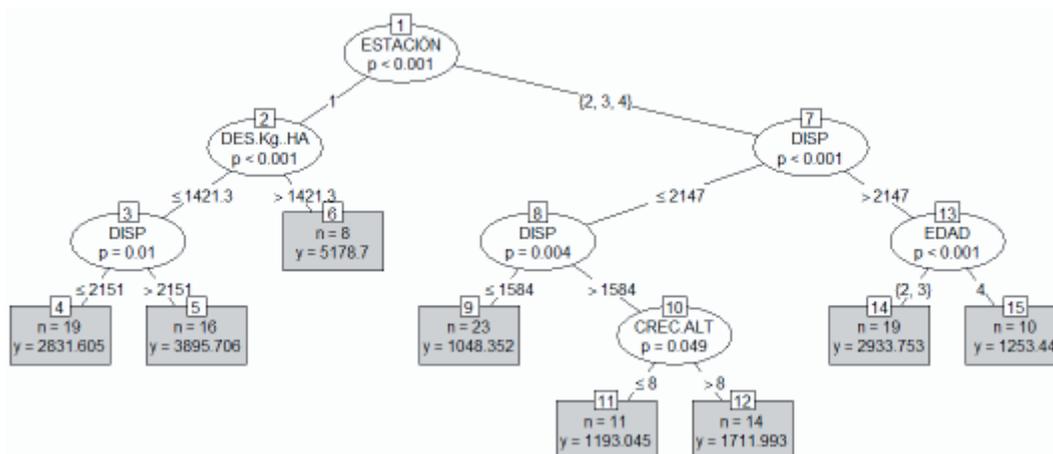


Figura 6. Árbol de clasificación y regresión para producción de forraje estacional

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 $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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

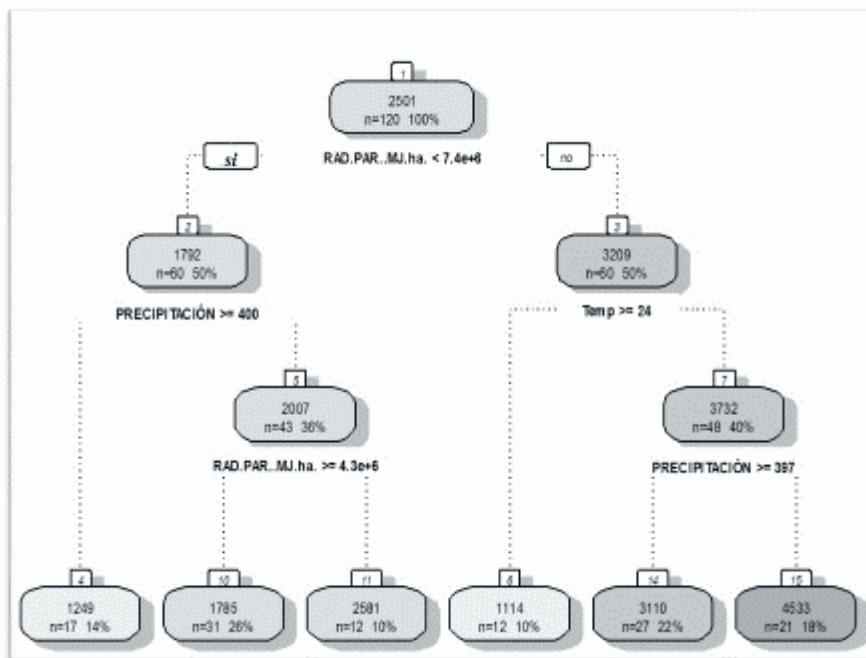


Figura 7. Árbol de clasificación y regresión para las variables climáticas y su efecto en la producción de forraje estacional.
Figure 7. Classification and regression tree for climatic variables and their effect on seasonal forage production.

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.

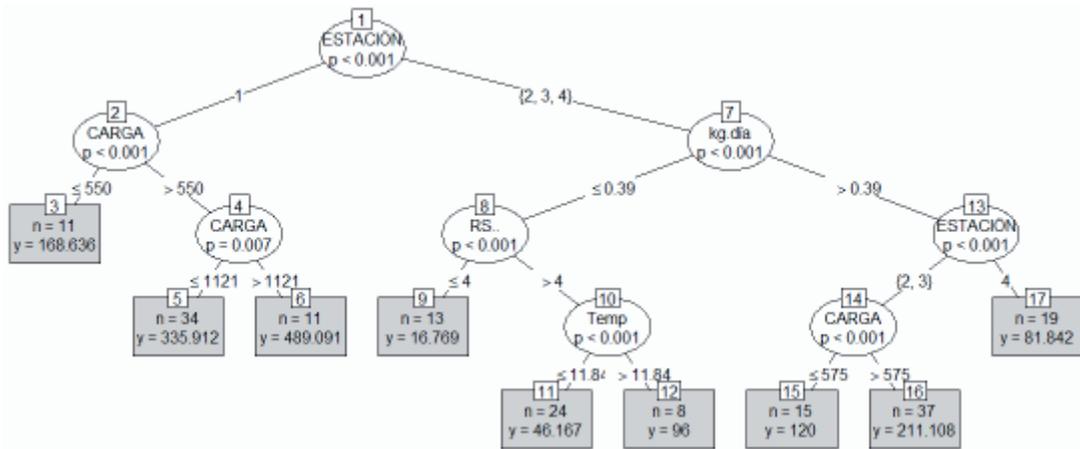


Figura 8. Árbol de clasificación y regresión para producción estacional de carne (kg/ha).

Figure 8. Classification and regression tree for seasonal meat production (kg/ha).

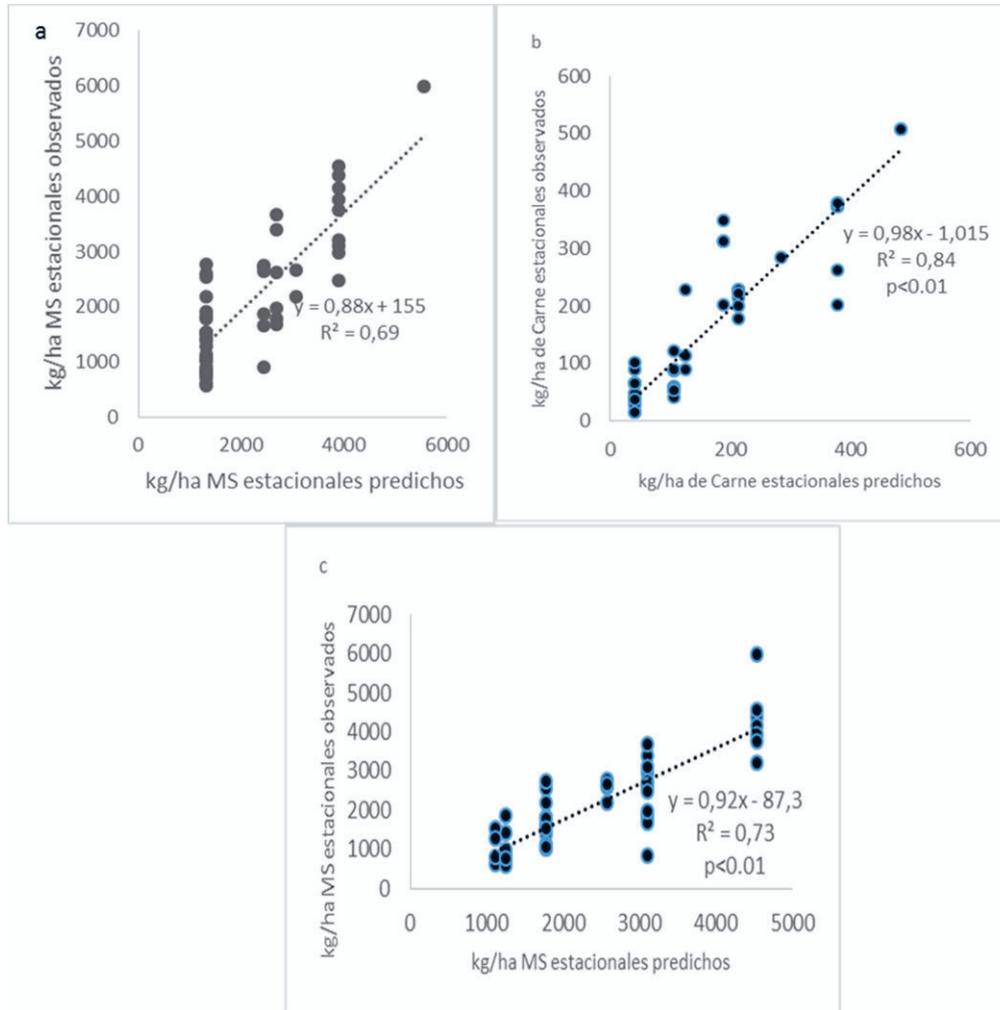


Figura 9. Regresión entre los valores observados (eje Y) y predichos (eje X) para la producción de MS estacional (a), producción de carne estacional (b) y variables climáticas.

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., Sacido, 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 *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. <https://books.google.com.uy/books?id=t1NFAQAIAAAJ> 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 cultivares y registro de propiedad de los cultivares. [En línea] Consultado 11 de mayo 2021. Disponible en: <https://www.inase.uy/Files/Docs/99DA1B3652570EE5.xlsx>
- 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., Micheline, D. F., Agnusdei, M. G., J. Baudracco, J., Sevilla, G. H., Chilobroste, 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 produtividade 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
- Rosengurtt, 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 ovido 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>